

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
РАБОТА №1 РАСЧЕТ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ	5
РАБОТА №2 РАСЧЕТ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	13
РАБОТА №3 РАСЧЕТ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	22
РАБОТА №4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА	29
РАБОТА №5 РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛА ВОДОТОКА ДЛЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ	39
РАБОТА №6 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ БИОГАЗОГЕНЕРАТОРА И ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54
ПРИЛОЖЕНИЯ	55

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня как никогда остро стоит задача экономии энергетических и топливных ресурсов, а также защиты окружающей среды. Поэтому следует уметь правильно рассчитывать и оценивать условия и последствия (в том числе экологические) использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, в том числе и для обеспечения высокоточных технологий производства сельскохозяйственной продукции.

Нетрадиционные возобновляемые источники энергии – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. К источникам такого рода относятся ветер, солнце, движущиеся водные массы, геотермальные воды и др.

В настоящее время становится актуальным применение возобновляемых источников электрической и тепловой энергии как в производстве, так и в быту. Это связано с проблемами доставки и экономии топлива, электрообеспечения районов с неразвитой централизованной сетью и необходимостью улучшения общей экологической обстановки. Существуют и более простые проблемы – обеспечение питания базовых сотовых станций в горных, пустынных и северных регионах, электропитание домов и поселков, удаленных от ЛЭП, геологических экспедиций, пастбищ и других сельскохозяйственных объектов, отдаленных объектов военного и гражданского назначения и многих других. Эти вопросы в ряде случаев можно успешно решить с помощью нетрадиционных источников малой мощности.

Практикум разработан на основе обработки и использования материалов, опубликованных в отечественных и зарубежных источниках.

Цель практикума – показать, какие фундаментальные физические законы лежат в основе использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

В издании содержится материал для проведения практических занятий по курсу «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», изучаемого студентами очной формы обучения по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и профилю «Электроснабжение». Этот материал включает как описание расчетов и исходных данных для проведения практикума, так и необходимые теоретические сведения для его успешного выполнения и защиты. В теоретических разделах пособия приводятся методики анализа и расчета. Также практикум содержит необходимые справочные данные и аналитические зависимости для расчетов. К работам составлены контрольные вопросы для подготовки к их защите.

РАБОТА №1

РАСЧЕТ СИСТЕМ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

1. Оборудование рабочего места

- 1.1. Компьютер с выходом в INTERNET, калькулятор.
- 1.2. Рекомендуемая литература [1],[2],[3].

2. Задание

2.1. Определить основные параметры гелиостатов электростанции башенного типа в соответствии с заданием:

На солнечной электростанции башенного типа установлено n гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность $F_z, \text{ м}^2$.

Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность $H_{np}=2,5 \text{ МВт/м}^2$.

Коэффициент отражения гелиостата $R_z=0,8$.

Коэффициент поглощения приемника $A_{np}=0,95$.

Максимальная облученность зеркала гелиостата $H_z=600 \text{ Вт/м}^2$.

Степень черноты приемника $\varepsilon_{np}=0,95$.

Рабочая температура теплоносителя составляет $t \text{ }^\circ\text{С}$.

Конвективные потери вдвое меньше потерь от излучения.

Определить площадь поверхности приемника F_{np} и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией.

2.2. Рассчитать автономную фотоэлектрическую систему (ФЭС) (структура на рисунке 1.1) по заданию.

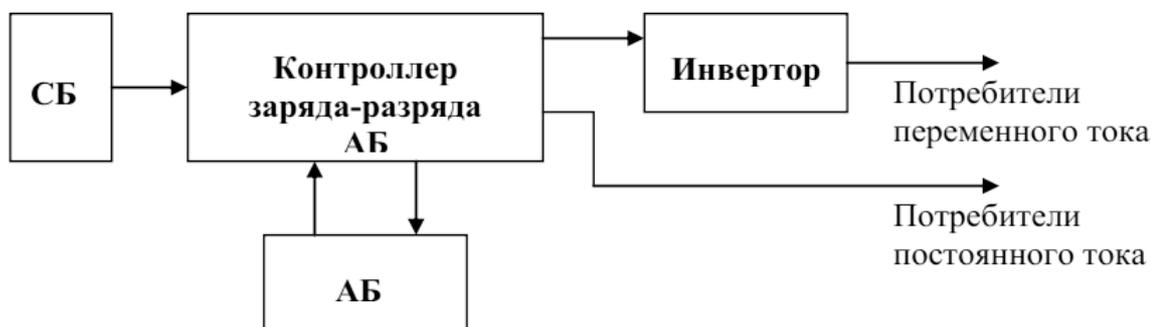


Рисунок 1.1 – Структурная схема автономной ФЭС

2.2.1. Определить нагрузку и потребляемую энергию для заданного объекта.

2.2.2. Определить значение необходимой мощности инвертора и емкости аккумуляторной батареи.

2.2.3. Выбрать сечение соединительных проводов.

2.2.4. Рассчитать необходимое количество фотоэлектрических модулей, исходя из данных по приходу солнечной радиации в месте установки системы.

2.2.5. Рассчитать стоимость системы и срок окупаемости.

3. Отчет по проделанной работе

По п.2.1

Задача посвящена использованию солнечной энергии на электростанции башенного типа с использованием гелиостатов, отправляющих солнечные лучи на приемник, в котором, в конечном счете, получают перегретый водяной пар для работы в паровой турбине.

Энергия, полученная приемником от солнца через гелиостаты (Вт), может быть определена по уравнению:

$$Q = R_z \cdot A_{np} \cdot F_z \cdot H_z \cdot n, \quad (1.1)$$

где H_z – облученность зеркала гелиостата, Вт/м² (для типичных условий $H_z=600$ Вт/м²);

$F_z=64$ м² – площадь поверхности гелиостата;

$n=243$ – количество гелиостатов;

$R_z=0,8$ – коэффициент отражения зеркала концентратора, $R_z=0,7 \div 0,8$;

$A_{np}=0,95$ – коэффициент поглощения приемника, $A_{np}<1$.

Энергия, полученная приемником от солнца через гелиостаты:

$$Q = \underline{\hspace{10em}}.$$

Площадь поверхности приемника может быть определена, если известна энергетическая освещенность на нем, H_{np} , Вт/м²:

$$F_{np} = Q/H_{np} \quad (1.2)$$
$$H_{np} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$$

$$F_{np} = \underline{\hspace{10em}}.$$

В общем случае температура на поверхности приемника может достигать $t_{nos}=1160$ К, что позволяет нагреть теплоноситель до 700°C.

Потери тепла за счет излучения в теплоприемнике можно вычислить по закону Стефана-Больцмана:

$$q_{луч} = \varepsilon_{np} C_0 (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2, \quad (1.3)$$

где $T = t + 273 = 700 + 273 = 973$ К – абсолютная температура теплоносителя;

$\varepsilon_{np}=0,95$ – степень черноты серого тела приемника;

$C_0 = 5,67$ Вт/(м²·К⁴) – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

$$q_{луч} = \underline{\hspace{10em}}.$$

Потери тепла за счет конвекции в теплоприемнике:

$$q_{\text{конв}} = q_{\text{луч}}/2;$$

$$q_{\text{конв}} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

По п. 2.2

1. Определить суммарную (расчетную) мощность всех потребителей, подключаемых одновременно. Эта мощность указана в паспортах изделий, данные для расчетов (по заданию преподавателя) выбрать из таблицы П.1.1 (мощность, количество, число часов работы в сутки, недели).

Построить суточный график нагрузок (рисунок 1.2).

Суточный график строится по суммарным нагрузкам на (утро, день, вечер, ночь) по данным таблицы П.1.2.

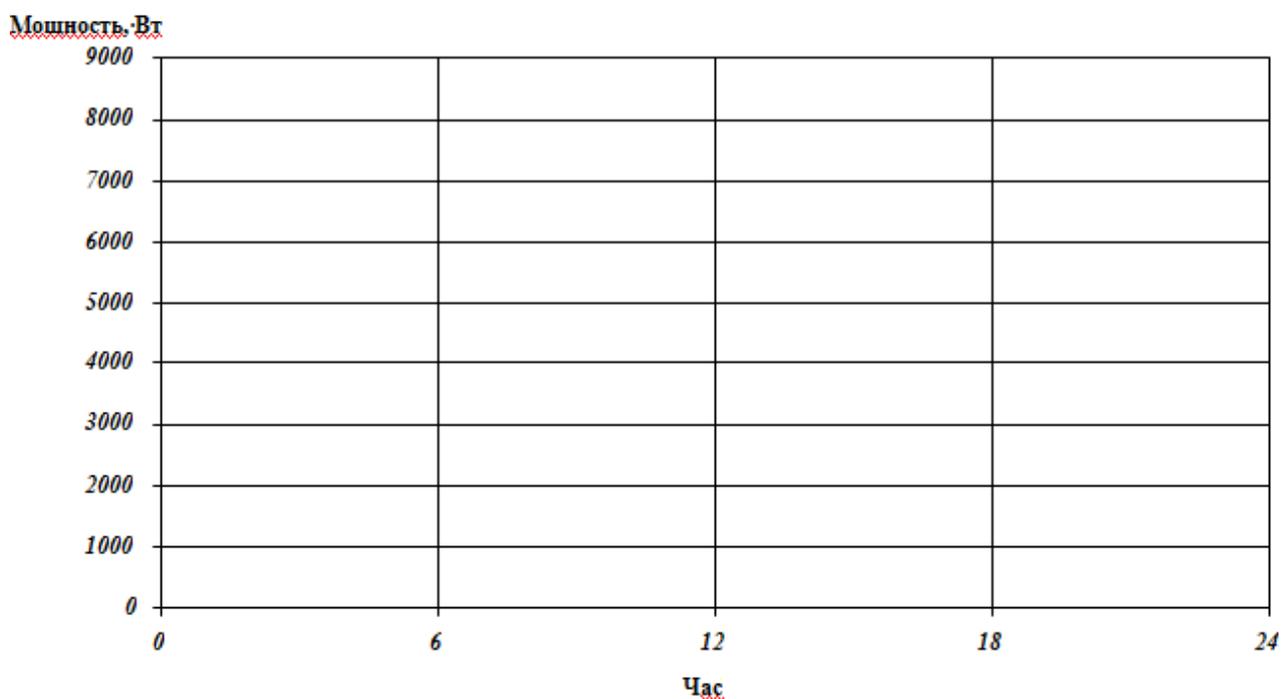


Рисунок 1.2. График нагрузки

Расчетная мощность определяется различными методами. В задании для определения расчетной мощности используется статистический метод. По этому методу расчетную нагрузку группы приемников определяют двумя интегральными показателями: генеральной средней нагрузкой P_c , кВт и генеральным среднеквадратичным отклонением σ :

$$P_{\text{расч}} = P_c + \beta\sigma,$$

где β – статический коэффициент, зависящий от закона распределения и принятой вероятности превышения по графику нагрузки $P(t)$ от уровня P_c . В практических расчетах вероятность превышения расчетной нагрузки от средней 0,5%, что соответствует $\beta=2,5$;

σ – среднеквадратичное отклонение для принятого интервала осреднения.

$$P_{инв} \geq 1,25 P_{расч.}$$

Номинальный ряд мощностей инверторов: 150, 300, 500, 800, 1500, 2500, 5000 Вт. Для мощных станций (более 1 кВт) напряжение станции выбирается не менее 48 В, т.к. на больших мощностях инверторы лучше работают с более высоких исходных напряжений.

Средняя нагрузка P_c определяется по формуле:

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{m},$$

где P_i – номинальная нагрузка электроприемника из таблицы П.1.1;
 m – число участков по графику нагрузки.

$$P_c = \underline{\hspace{10em}}.$$

Среднеквадратичное отклонение для группового графика определяют по формуле

$$\sigma = \sqrt{D_p} = \sqrt{P_{ср.кв.}^2 - P_c^2},$$

где $P_{ср.кв.}$ – активная среднеквадратичная мощность, кВт.

Среднеквадратичное значение активной мощности отдельного электроприемника (ЭП) за рассматриваемый промежуток времени определяется по формуле:

$$P_{ср.кв.} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}},$$

где P_i – активная мощность, потребляемая ЭП за рассматриваемый промежуток времени t_i (определяется из графика нагрузки по активной мощности), кВт;
 t_i – интервал времени, за который определяется P_i , мин., ч.

$$P_{ср.кв.} = \underline{\hspace{10em}}.$$

$$\sigma = \underline{\hspace{10em}}.$$

$$P_{расч} = P_c + 2,5\sigma.$$

По известной мощности нагрузки выбирается мощность инвертора, которая, с учетом потерь в инверторе, должна быть не менее чем на 25% больше расчетной мощности, т.е.:

$$P_{инв} \geq 1,25 P_{расч.}$$

$$P_{инв} = \underline{\hspace{10em}}.$$

Номинальный ряд мощностей инверторов 150, 300, 500, 800, 1500, 2500, 5000 Вт (таблица П.1.3). Для мощных станций (более 1 кВт) напряжение станции выбирается не менее 48 В, т.к. на больших мощностях инверторы лучше работают с более высоких исходных напряжений.

Таблица 1.1 – Расчет нагрузки переменного тока

Наименование	Кол-во	Мощность, $P_{НОМ}$, кВт	$T_{СУТ}$, час	$T_{НЕД}$, час	$W_{СУТ}$, кВт·час	$W_{НЕД}$, кВт·час
Утро			6	42		
День			6	42		
Вечер			6	42		
Ночь			6	42		
Итого						

Нагрузка постоянного тока отсутствует.

Выбираем (таблица П.1.3):

модель инвертора _____;

мощность _____ Вт.

2. Число Ампер-часов, требуемое для обеспечения нагрузки переменного тока, определяется по формулам:

$$C_{СУТ} = \frac{W_{СУТ}}{U_{И}}; \quad C_{НЕД} = \frac{W_{НЕД}}{U_{И}}; \quad U_{И}=220 \text{ В.}$$

$$C_{СУТ} = \text{_____}; \quad C_{НЕД} = \text{_____}.$$

Суммарную суточную емкость АБ следует умножить на количество дней N , в течение которых АБ будет питать нагрузку самостоятельно без подзаряда.

Далее задаётся величина глубины допустимого разряда ($\delta = 0,2 \dots 0,3$), и по графику (см. рисунок 1.3) определяется температурный коэффициент K_C .

По формуле

$$C_{АБ} = \frac{C_{СУТ} N}{\delta} K_C$$

определяется общая требуемая емкость аккумуляторной батареи, А·час.

$$C_{АБ} = \text{_____}.$$

Разделив это значение на номинальную емкость аккумулятора, получим количество аккумуляторов, соединенных параллельно:

$$m = \frac{C_{АБ}}{C_{НОМ}}.$$

Значение m округляется до ближайшего большего целого.

Примем число дней в неделю без солнца – 1,5.

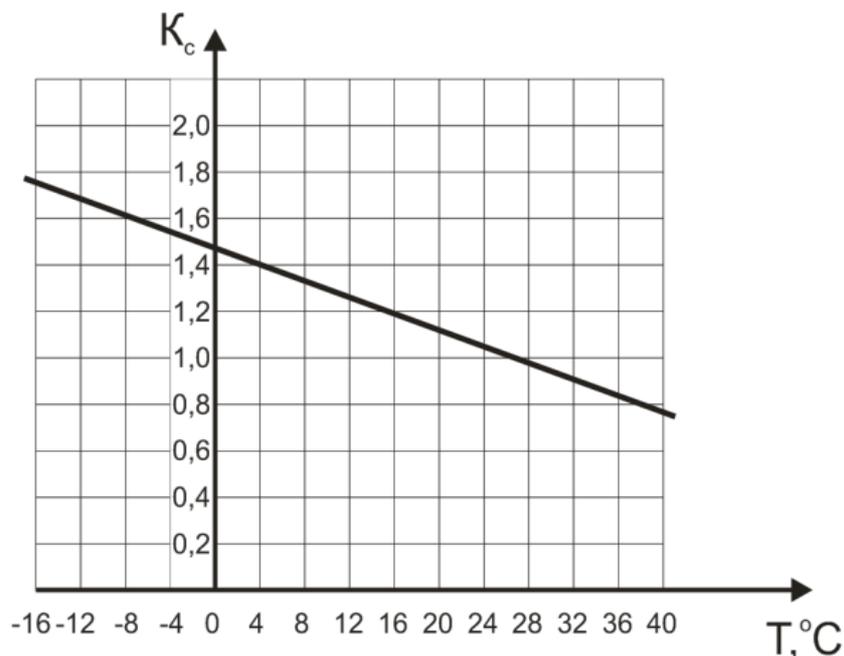


Рисунок 1.3 Значение температурного коэффициента

Напряжение U_{AB} выбираем из таблицы П.1.5: $U_{AB}=48$ В;

δ принимаем равным 0,2;

K_C примем равным 1,0.

$C_{AB} =$ _____ (А·час) сутки.

Емкость аккумулятора из таблицы П.1.3: _____ А·час.

$m =$ _____.

Выбираем _____ аккумуляторов, соединенных параллельно.

Чтобы получить количество последовательно соединенных аккумуляторов, необходимо найти соотношение номинального напряжения постоянного тока системы и номинального напряжения выбранного аккумулятора:

$$n = \frac{U_{AB}}{U_{НОМ}}$$

Общее число аккумуляторов в батарее равно произведению m и n .

Номинальное напряжение инвертора по постоянному току лежит в пределах 170...270 В. Число последовательно соединенных аккумуляторов будет _____, принимаем _____.

Итого: общее число аккумуляторов _____ шт.

3. Выбор сечения соединительных проводов.

Зная расчетную мощность нагрузки и напряжение аккумуляторной батареи, рассчитаем ток провода, А по формуле:

$$I = P/U.$$

$$I = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Удельное сопротивление провода r , Ом/м определяется по формуле для известного расстояния от нагрузки до АБ (таблица П.1.7) при максимально допустимом падении напряжения 2% (таблица П.1.6):

$$r = \frac{\Delta U}{I \cdot L},$$

где ΔU – максимально допустимое падение напряжения в проводе, В;

I – пропускаемый ток, А;

L – общая длина кабеля в системе (умножить на 2 для положительного и отрицательного проводов), м.

Значение удельного сопротивления не должно быть меньше 0,0024 Ом/м. По таблице П.1.7 определяется минимальное сечение провода. Чем толще провод, тем меньше будут потери при передаче энергии от АБ к нагрузке.

$$r = \underline{\hspace{2cm}}.$$

4. По таблице П.1.4 выбирается мощность одного солнечного модуля.

Количество энергии, выработанной модулем в течение выбранного периода времени, определяется по формуле:

$$W_m = \frac{P_m E \eta}{1000},$$

где 1000 – максимальное значение солнечной радиации, Вт/м²;

η – коэффициент производительности системы (0,5 – летом и 0,7 – зимой);

E – значение инсоляции за выбранный период для заданной широты, кВт·ч/м².

Таблица 1.2 – Поступление солнечной энергии, кВт·ч/м²·день

Декада	Месяц							
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь
1	4,10	4,69	2,93	6,00	3,84	3,34	1,18	0,68
2	4,512	3,35	4,71	3,99	3,97	2,41	0,91	0,57
3	4,32	4,02	4,66	5,86	1,76	1,85	1,25	0,37
Среднее за декаду	4,31	4,02	4,10	5,28	3,19	2,53	1,11	0,54
Среднее за месяц	129,4	120,6	123,0	158,5	95,7	76,0	33,4	16,2

$$W_m = \underline{\hspace{10em}}.$$

Разделив энергию, потребляемую нагрузкой в течение выбранного периода, на энергию, выработанную одним модулем за этот же период, определим необходимое количество модулей фотоэлектрической системы:

$$n_m = \frac{W}{W_m}.$$

$$n_m = \underline{\hspace{10em}}.$$

5. Расчет стоимости фотоэлектрической системы.

Стоимость ФЭС для автономной системы электроснабжения складывается из стоимости солнечных модулей, аккумуляторной батареи, инвертора, контроллера заряда АБ и соединительной арматуры (провода, выключатели, предохранители и т.п.).

Данные для расчета стоимости фотоэлектрической системы берутся из таблицы П.1.4.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой фотоэлектрическая система?
2. Каков состав необходимого оборудования для ФЭС?
3. По каким параметрам выбирается мощность фотоэлектрических модулей?
4. Дать определение понятию «мощность солнечного излучения».
5. Как рассчитать и выбрать емкость аккумуляторной батареи?
6. От чего зависит стоимость фотоэлектрической системы?

РАБОТА №2

РАСЧЕТ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

1. Оборудование рабочего места

1.1. Компьютер с выходом в INTERNET, калькулятор.

1.2. Рекомендуемая литература: [1], [2].

2. Задание

2.1. Рассчитать суммарную солнечную радиацию в среднем за день данного месяца.

2.2. Рассчитать дневную удельную теплопроизводительность гелиоустановки в i -м месяце.

2.3. Рассчитать удельную месячную теплопроизводительность гелиоустановки.

2.4. Определить потребное количество энергии для нагрева воды в месяц.

2.5. Определить необходимую площадь гелиоустановки в i -м месяце и выбрать дублирующее оборудование.

2.6. Произвести оценку энергетических показателей системы горячего водоснабжения.

2.6.1. Коэффициент использования потенциальной энергии.

2.6.2. Коэффициент использования энергии, вырабатываемой гелиоустановкой.

2.6.3. Коэффициент обеспеченности потребителя солнечной энергией.

2.6.4. Коэффициент замещения потребной энергии.

2.7. Оценить экономическую эффективность использования гелиоустановок.

2.7.1. Количество полезно вырабатываемой энергии при различной площади коллекторов гелиоэнергетической установки (ГЭУ).

2.7.2. Количество сэкономленного топлива при различной площади.

2.7.3. Эффективность гелиоустановки по энергетическим затратам.

3. Отчет по проделанной работе

1. Суммарная солнечная радиация в среднем за день данного месяца, МДж/м²:

а) на горизонтальную поверхность

$$H = H_0 \left(a + v \frac{S}{S_0} \right),$$

где H_0 , a и v – коэффициенты;

S – действительная длительность солнечного сияния, ч;

S_0 – возможная продолжительность солнечного сияния, ч.

Значения коэффициентов a , b и продолжительности S_0 берутся из таблицы П.2.1. Среднее значение S – по таблице П.2.2.

$$H_0 = H_{\text{э}} S,$$

где $H_{\text{э}}$ – эталонное (условное) значение суммарной энергии, принимается равным атмосферному ($1360 \text{ Вт/м}^2 = 1,36 \text{ кВт/м}^2$).

Учитывая, что $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \text{ МДж}$, для каждого месяца H_0 , МДж/м² будет:
 $H_0 = 1,36 \cdot S \cdot 3,6$.

б) на наклонную поверхность:

$$H_T = HR,$$

где R – отношение среднемесячных дневных приходов суммарной энергии и наклонной и горизонтальной поверхностей. Расчет следует проводить для углов наклона, когда ожидается максимум солнечной энергии в рассматриваемые месяцы. Такими углами являются углы от 10 до 30°. Данные для них приведены в таблице П.2.3.

Результаты расчетов свести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Расчет суммарной солнечной радиации

Месяцы	май	июнь	июль	август	сентябрь
H_0					
H					

φ , град/месяц	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
10							
15							
20							
25							
30							

2. Рассчитывается дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки в i -м месяце, МДж/м²:

$$Q_{\text{уд.}i}^{\text{дн}} = F_R H_{Ti} \tau \bar{\alpha} - U_L \bar{S} (T_{\text{ex}} - T_0) 3,6 \cdot 10^{-3},$$

где $F_R = 0,89$ – коэффициент переноса тепла от коллектора к жидкости;

τ – коэффициент проникновения солнечной радиации;

α – коэффициент поглощения солнечной радиации (в расчетах принимается $\tau\alpha = 0,7$);

$U_L = 6 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ – коэффициент тепловых потерь;

T_0 – температура окружающего воздуха (в расчетах принимается среднее значение: в мае, сентябре $T_0 = 15^\circ\text{C}$, в июне, июле, августе $T_0 = 20^\circ\text{C}$);

T_{ex} – температура на входе в коллектор, которая определяется по формуле

$$T_{ex} = \frac{T_0 + T_6}{2},$$

где T_6 – температура воды в баке-аккумуляторе к концу дня (принимается равной 85°C).

Дневная удельная теплопроизводительность рассчитывается для каждого солнечного месяца для углов наклона 10, 15, 20, 25 и 30 градусов, рекомендованных как наиболее оптимальные для Челябинской области.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 2.2, по данным которой определяется значение дневной выработки за сезон для каждого угла наклона. Угол наклона, при котором значение будет максимальным, принимается за оптимальный, и дальнейшие расчеты ведутся для этого угла.

Таблица 2.2. - Расчет дневной теплопроизводительности гелиоустановки

Угол наклона, град	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
10							
15							
20							
25							
30							

3. Удельная месячная теплопроизводительность гелиоустановки, МДж:

$$Q_{уд.i}^m = Q_{уд.i}^{дн} N \rho(S),$$

где N – число дней в месяце;

$\rho(S)$ – вероятность продолжительности солнечного сияния для $S \geq 9$ ч, (рис. П.2.1).

Таблица 2.3 – Расчет удельной месячной теплопроизводительности

Показатель	май	июнь	июль	август	сентябрь
$Q_{уд.i}^{дн}$					
N					
$\rho(S)$					
$Q_{уд.i}^m$					

4. Определяется потребное количество энергии для нагрева воды в месяц, МДж:

$$Q_{II}^m = N n m C (T_2 - T_0),$$

где n – количество людей;

m – суточная норма расхода воды на 1 человека, кг;

$C=4,19$ кДж/кг·град·К – теплоемкость воды;

T_2 – температура нагретой воды;

T_0 – температура окружающего воздуха.

Результаты заносятся в таблицу 2.4 и далее определяется потребное количество энергии за сезон:

Таблица 2.4 – Определение потребного количества энергии для нагрева воды

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь	за сезон
Потребное количество энергии Q_{II}^M , МДж						

5. Необходимая площадь гелиоустановки в i -м месяце, m^2 :

$$A_i = \frac{Q_{n.i}^{\partial n}}{Q_{уд.i}^{\partial n}}$$

где $Q_{n.i}^{\partial n} = \frac{Q_n^M}{N}$ – дневная потребность в энергии.

Таблица 2.5 – Расчет площади гелиоустановки и количества коллекторов

Месяцы	май	июнь	июль	август	сентябрь
Площадь гелиоустановки, m^2					
Кол-во коллекторов					

По потребной площади гелиоустановки определяется количество солнечных коллекторов. Число коллекторов необходимо выбирать четным для их соединения по параллельно-последовательной схеме. Площадь серийно выпускаемых Братским заводом отопительного оборудования солнечных коллекторов составляет $0,8 m^2$. Исходя из этого, рассчитывается количество коллекторов для каждого месяца. Для восполнения энергии необходимо дополнительное оборудование. Мощность дублирующего источника выбирается из условия полного отсутствия нагрева за счет солнечной энергии.

6. Оценка энергетических показателей системы горячего водоснабжения.

Для каждой площади коллекторов, рассчитанных в п.5, рассматриваются их энергетические показатели с целью определения оптимальной площади.

6.1. Коэффициент использования потенциальной энергии

$$K_{исп}^{П.Э.} = \frac{\sum_{i=1}^5 H_{Ti}}{\sum_{i=1}^5 H_{T(\max)i}}$$

Числитель представляет собой суммарное значение солнечной радиации за все месяцы для угла наклона, при котором это значение будет максимальным. В знаменателе стоит суммарная солнечная энергия в эти же месяцы под углом наклона, обеспечивающим максимальный приход солнечной радиации (по данным п.1б).

Коэффициент использования солнечной энергии показывает, насколько эффективно используется гелиоустановкой солнечный потенциал при определенном угле наклона.

6.2. Коэффициент использования энергии, вырабатываемой гелиоустановкой:

$$K_{ИС.i}^{ГУ} = \frac{Q_{пол.i}}{Q_{в.i}},$$

где $Q_{пол.i}$ – полезная энергия, вырабатываемая гелиоустановкой в i -м месяце (энергия, которая используется потребителем);

$Q_{в.i}$ – энергия, вырабатываемая гелиоустановкой в i -м месяце, которая определяется, МДж:

$$Q_{в.i} = Q_{уд.i}^{дн} A,$$

где A – площадь стандартных коллекторов, m^2 , выбранная в п.5.

Коэффициент использования энергии рассчитывается для каждого месяца и для каждой площади (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Коэффициент использования энергии

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
A, m^2	$Q_{уд.i}^{дн}$				
	$Q_{н.i}$				
	$Q_{в.i}$				
	$K_{ИС}$				
	$Q_{в.i}$				
	$K_{ИС}$				
	$Q_{в.i}$				
	$K_{ИС}$				

Полезная энергия равна:

$$Q_{пол} = \begin{cases} Q_{в.i}, & \text{если } Q_{н.i}^{дн} \geq Q_{в.i} \\ Q_{н.i}, & \text{если } Q_{н.i}^{дн} \leq Q_{в.i} \end{cases},$$

При $Q_{н.i}^{дн} \geq Q_{в.i}$ коэффициент использования равен 1.

6.3. Коэффициент обеспеченности потребителя солнечной энергией

$$K_{об.i} = \frac{Q_{пол.i}}{Q_{н.i}^{дн}}.$$

Расчеты ведутся для каждого месяца при различной площади гелиоустановки.

Результаты расчетов коэффициентов использования и обеспеченности за каждый месяц и за сезон сводятся в таблицу 2.7:

Таблица 2.7 – Расчет коэффициентов использования и обеспеченности

Площадь, м ²	май		июнь		июль		август		сентябрь		за сезон	
	$K_{исп}$	$K_{об}$										

Проводится анализ таблицы с целью определения эффективности работы гелиоустановки.

6.4. Коэффициент замещения потребной энергии:

$$f_i^{ГУ} = K_{об.i} \rho_i(S).$$

Коэффициент замещения рассчитывается с учетом вероятности солнечного сияния $\rho(S)$ (рис. П.1.1) для каждого месяца при различной площади гелиоустановки. Вероятность солнечного сияния рассматривается для продолжительности $S \geq 9$ ч. Данные заносятся в таблицу 2.8 и суммируются за сезон.

Таблица 2.8 – Коэффициент замещения энергии

Месяц	май		июнь		июль		август		сентябрь		за сезон	
$\rho(S)$												
$A, м^2$	$K_{об}$	$f^{ГУ}$										

7. Оценка экономической эффективности использования гелиоустановок

7.1. Определяется количество полезно вырабатываемой энергии при различной площади коллекторов ГЭУ:

$$Q_{пол.выр.}^c = Q_n^c f_i^c.$$

Данные для расчета берутся за сезон. Результаты расчетов для разных площадей сводятся в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Количество полезно вырабатываемой энергии

Площадь, м ²			
$Q_{пол.выр.}^c$, МДж			

7.2. Определяется количество сэкономленного топлива при различной площади, т.у.т.:

$$\Delta B_T = \frac{Q_{пол}^c}{Q_p^H \eta_{эк}},$$

где Q_p^H – теплотворная способность условного топлива, принимается равной 29330 МДж/т.;

$\eta_{эк}$ – экономический к.п.д. гелиоустановки, который определяется произведением:

$$\eta_{эк} = \eta_{тх} \eta_{тГУ} \eta_{тс} \eta_{рег},$$

где $\eta_{тх} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий потери при транспортировке и хранении;

$\eta_{тГУ}$ – коэффициент полезного использования теплогенерирующих установок (0,48 – для электрической энергии, 0,55...0,80 – для жидкого топлива; 0,45...0,65 – для каменного угля; 0,4...0,5 – для бурого угля; 0,5...0,7 – для газа);

$\eta_{тс} = 0,85$ – коэффициент, учитывающий потери теплоты в тепловых сетях;

$\eta_{рег} = 0,85...0,90$ – коэффициент, характеризующий неточность регулирования подачи теплоты.

Расчеты сводятся в таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Количество сэкономленного топлива

	Электро- энергия	Жидкое топливо	Каменный уголь	Бурый уголь	Газ
$\eta_{эк} \eta_{эк}$					
ΔB , т.у.т.					

7.3. Оценивается эффективность гелиоустановки по энергетическим затратам.

- Количество энергии на создание ГЭУ:

$$\mathcal{E}_{ГЭУ} = \mathcal{E}_{уд}^{ГЭУ} A.$$

Энергетические затраты на единицу площади солнечного коллектора составляют примерно: $\mathcal{E}_{уд}^{ГЭУ} = 5700$ МДж/м², тогда

$$\mathcal{E}_{ГЭУ} = 5700 A \text{ МДж/м}^2.$$

- Эффективность энергозатрат:

$$r = \frac{Q_{пол}^c}{Q_{ГУ}} = \frac{Q_{пол}^c}{5700A}$$

Расчет ведется для каждой из площадей гелиоустановки.

- Срок окупаемости различных вариантов гелиоустановки T , лет:

$$T = \frac{\mathcal{E}_{ГУ}}{Q_{пол}^c} = \frac{5700A}{Q_{пол}^c}$$

Расчеты сводятся в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Оценка эффективности гелиоустановки

Площадь, м ²			
$\mathcal{E}_{ГУ}$, МДж			
r			
T , лет			

Для стоимостной оценки гелиоустановки определяется сравнительная эффективность:

$$\mathcal{E}_{cp} = \beta_T \Delta B_T - \alpha K_{уд} A,$$

где β_T – стоимость органического топлива (4000 руб./т.у.т.);

ΔB_T – количество сэкономленного топлива, т.у.т.;

α – коэффициент, учитывающий долю отчислений от капиталовложений K на амортизацию, текущий ремонт и др. (в расчетах принимается равным 0,1);

$K_{уд}$ – капиталовложения на одну гелиоустановку, равные 1200 руб./м².

Результаты расчетов сводятся в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Оценка гелиоустановки для разных видов топлива

Вид топлива	ΔB_T , т.у.т.	Площадь, м ²		
Электроэнергия				
Жидкое топливо				
Каменный уголь				
Бурый уголь				
Газ				

Себестоимость тепловой энергии:

$$C_{ГЭУ} = \frac{I_{ГЭУ}}{Q_{пол}}$$

где $I_{ГЭУ}$ – годовые издержки для каждой площади: $I_{ГЭУ} = \alpha K_{уд} A$.

Результаты расчетов сводятся в табл. 2.13.

Таблица 2.13 – Расчет себестоимости произведенной тепловой энергии

Площадь, м ²			
$I_{ГЭУ}$, руб.			
$C_{ГЭУ}$, руб./МДж			
$C_{ГЭУ} \cdot 3,6$, руб./кВт·ч			

По проведенным расчетам определяется наиболее выгодный вариант.

Выводы _____

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия гелиоэнергетической установки.
2. Как рассчитать теплопроизводительность гелиоустановки? От чего она зависит?
3. Влияние угла наклона плоскости солнечного коллектора на теплопроизводительность гелиоустановки.
4. Какие коэффициенты используются для оценки энергетических показателей системы горячего водоснабжения?
5. Что такое условное топливо?
6. Какими показателями можно оценить экономическую эффективность ГЭУ?

РАБОТА №3

РАСЧЕТ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

1. Оборудование рабочего места

- 1.1. Компьютер с выходом в INTERNET, калькулятор.
- 1.2. Рекомендуемая литература: [1], [2].

2. Задание

- 2.1. Изучить методику определения ветроэнергетического потенциала местности.
- 2.2. Рассчитать энергетические параметры ветра и определить ветровой потенциал заданного района.
- 2.3. Сравнить результаты метеорологических наблюдений с распределением Рэля.
- 2.4. Рассчитать производительность ветроэнергетической установки.

3. Порядок расчета

3.1. Определение ветроэнергетического потенциала местности

Для проведения анализа ветроэнергетического потенциала требуется предварительно проводить в течение года ежедневные пятикратные измерения скорости ветра с равными промежутками времени: в 9 ч, 12 ч, 15 ч, 18 ч и в 21 ч. В данной работе используется база данных, полученная на метеостанции. Измерения проводились ежедневно в течение одного года с интервалом 3 часа.

Порядок обработки результатов измерений следующий.

1. Результаты измерений скорости ветра v_1 , м/с объединяются в группы с интервалом $\Delta\theta$. Общее число измерений $N=2912$.

2. Поскольку измерения скорости проводятся на высоте установки флюгера $h_\phi=10$ м, а для оценки энергетического потенциала нужна скорость ветра v_1 на высоте предполагаемой установки ветротурбин h_1 , определение скорости ветра на этой высоте выполняется с помощью известной аппроксимационной зависимости

$$v_1 = v_\phi \left(\frac{h_1}{h_\phi} \right)^m, \quad (3.1)$$

где h_1 принимается равной 20...100 м. Коэффициент возрастания средней скорости ветра с высотой и значения показателя степени m для различных сезонов берутся из таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Коэффициент возрастания средней скорости ветра с высотой $v(h_1)/v(h_0)$ и показатель степени m

Сезон	Высота, м						m
	10	20	40	60	80	100	
Зима	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
Весна	1	1,17	1,36	1,50	1,59	1,66	0,22
Лето	1	1,18	1,40	1,55	1,67	1,76	0,24
Осень	1	1,12	1,26	1,35	1,43	1,50	0,17
Год	1	1,15	1,32	1,44	1,53	1,60	0,20

3. Определяется величина вероятностного распределения скорости ветра

$$\Phi_v = \frac{N_{vi}}{N} \quad (3.2)$$

где N_{vi} – число измерений в i -м скоростном интервале.

Строится зависимость $\Phi_v = f(v)$. Произведение $\Phi_v \cdot \Delta v$ может быть интерпретировано как часть времени года, в течение которого скорость ветра имеет значения, заключенные в интервале от v до $v + \Delta v$.

4. Среднее значение скорости ветра v_c определяется соотношением

$$v_c = \frac{\sum vi}{N}, \quad (3.3)$$

где $\sum vi$ – сумма всех измеренных значений скорости.

5. Определяется вероятность $\Phi_{v>v'}$ появления ветра со скоростью v , большей некоторой заданной скорости v' , для чего складываются вероятности всех скоростных интервалов, в которых $v > v'$.

Вероятность $\Phi_{v>v'}$ может быть интерпретирована как часть времени года, в течение которого ветры дуют со скоростью, большей v' .

Строится зависимость $\Phi_{v>v'} = f(v)$.

6. Мощность ветрового потока единичного сечения P_v , Вт определяется:

$$P_v = \frac{\rho v^3}{2}, \quad (3.4)$$

где ρ – плотность воздуха; принимается равной $1,226 \text{ кг/м}^3$.

Произведение $P\Phi_v$ представляет собой функцию распределения энергии ветра.

Строится зависимость $P\Phi_v = f(v)$.

7. Строится зависимость $P_v = f(\Phi_{v>v'})$, позволяющая определить вероятность ожидания ветрового потока заданной мощности. В таблице 3.2 заданы значения скоростей ветра и соответствующее число измерений.

После выполнения обработки измерений и расчетов на основании формул (3.1-3.4) и построенных зависимостей необходимо провести анализ полученных результатов.

8. Анализ полученных результатов.

8.1. Пользуясь построенной зависимостью $\Phi_v=f(v)$, сравнить среднее значение скорости ветра с наиболее вероятным значением скорости ветра в данной местности, а также с расчетной скоростью, принимаемой для проектирования ВЭУ ($v=10\dots 12$ м/с).

8.2. Пользуясь построенной зависимостью $P\Phi_v=f(v)$, определить значение скорости, при которой функция распределения энергии ветра имеет максимум, и сравнить его с наиболее вероятным значением скорости ветра в данной местности.

8.3. Пользуясь построенной зависимостью $P_v=f(\Phi_{v>v'})$, определить вероятность ожидания ветрового потока мощностью 0,5; 1 и 2 кВт.

8.4. По результатам проведенного анализа сделать выводы.

Выводы. _____

Таблица 3.2 – Статистический анализ результатов измерений скорости ветра

$v, \text{м/с}$	N	Φ_v	$\Phi_{v>v'}$	$P_v, \text{Вт/м}^2$	$P_v \cdot \Phi_v$
34,9	1				
32,8	1				
28,4	2				
26,2	15				
24,05	9				
21,9	33				
19,7	61				
17,5	97				
15,3	145				
13,1	212				
10,9	348				
8,7	407				
6,5	548				
4,3	604				
2,1	66				
0	363				
Всего	2912				

3.2. Определение ветрового потенциала заданного района

По таблице П.3.1 определить среднегодовые значения скорости ветра для района. Для этого

1. Построить график среднемесячных скоростей, определить месяцы с наибольшей скоростью ветра.

2. По формуле 3.1 и таблице 3.1 определить скорость ветра на высоте h_1 через скорость ветра на высоте флюгера h_ϕ для различной высоты установки. Для приблизительных расчетов можно воспользоваться значением коэффициента K_H , который для заданного района (таблица П.3.2) приведен в таблице 3.3

$$K_H = \left(\frac{h_1}{h_\phi} \right)^m \quad (3.5)$$

Таблица 3.3 - Значения коэффициента K_H

Высота измерения	Район
10	1,0
20	1,05
30	1,08
50	1,12
100	1,18

3. Определить удельную мощность потока ветровой энергии (формула 3.4).

4. Определить удельный валовой потенциал ветровой энергии зоны по средней удельной мощности ветрового потока:

$$W_{yg} = \langle P \rangle T / 20, \quad (3.6)$$

где $T=8760$ ч/год.

5. Валовой потенциал территории определяется по формуле:

$$W_g = W_{yg} S, \quad (3.7)$$

где $S, \text{ м}^2$ – площадь территории.

Общая площадь территории заданного района – 1,54 тыс. км².

6. Определить технический потенциал, который зависит от параметров ветроэнергетической установки, среднегодовой скорости ветра на высоте установки, а также площади зоны, пригодной для сооружения установки.

Приближенное соотношение между валовым и техническим потенциалом:

$$\frac{W_m}{W_g} = 0,02. \quad (3.8)$$

7. Определяется экономический потенциал ветровой энергии

$$W_\Delta = 0,005 W_m. \quad (3.9)$$

Результаты расчетов для заданного района и высоты сводятся в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Расчет потенциала ветровой энергии района

Высота измерения	v , м/с	v^3 , м ³ /с ³	P , кВт	$W_{уд}$, кВтч/м ² год	$W_в$, кВтч/год	W_m , ГВтч/год	$W_э$, ГВтч/год
10							
20							
30							
50							
100							

3.3. Сравнение результатов метеорологических наблюдений с распределением Рэля

Проведенный анализ характеристик ветра состоял в математической обработке массива экспериментальных данных с использованием методов математической статистики. Этот анализ существенно бы упростился, если бы для функции распределения вероятности скорости ветра имелось аналитическое выражение, соответствующее экспериментальным данным. В этом случае, во-первых, резко сократилось бы необходимое количество измерений скорости ветра, во-вторых, появилась бы возможность аналитического расчета характеристик ветроустановок.

Для проведения анализа функции распределения скорости ветра, основанной на экспериментальных метеорологических данных, требуется сравнить экспериментальные зависимости, полученные в п. 1, с теоретическим распределением Рэля.

Порядок анализа следующий.

1. Для распределения Рэля справедливо равенство

$$\Phi_{v>v'} = (v'/v)^2, \quad (3.10)$$

где $\Phi_{v>v'}$ – вероятность появления ветра со скоростью v , м/с, большей некоторой заданной скорости v' , м/с;

v – среднее значение скорости, м/с.

Следует, задаваясь значениями скорости v' , м/с из диапазона реальных скоростей ветра и используя среднее значение скорости v , м/с, полученное в п. 3.1, построить теоретическую зависимость по формуле (3.10).

Результаты занести в таблицу 3.5.

Относительная погрешность определяется как

$$\delta = \frac{\Phi_{v>v'_{теор}} - \Phi_{v>v'_{эсп}}}{\Phi_{v>v'}} 100\%. \quad (3.11)$$

2. Для распределения Рэля справедливо равенство:

$$v_{\max} = 1,24\bar{v}. \quad (3.12)$$

Следует проверить его, подставив среднее значение скорости ветра, полученное в п.3.1 в формулу (3.12)

3. Для распределения Рэля справедливо утверждение, что вероятность скорости Φ_v максимальна при значении скорости

$$v = 0,8\bar{v} \quad (3.13)$$

Следует определить скорость, при которой вероятность максимальна, подставив среднее значение скорости ветра, полученное в предыдущей работе в формулу (3.13). Погрешность определяется аналогично (3.11).

4. Для распределения Рэлея справедливо утверждение, что функция Φ_{v3} максимальна при значении скорости

$$v = 1,6\bar{v} \quad (3.14)$$

Следует построить зависимость $\Phi_{v3}=f(v)$, используя значения скорости ветра в диапазоне реальных значений и проверить это утверждение, подставив среднее значение скорости ветра в формулу (3.14), полученное в предыдущей работе. Погрешность определяется аналогично (3.11).

Результаты расчетов занести в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Протокол измерений и расчетов

$V, \text{ м/с}$	$\Phi_{v>v'}_{\text{эксн}}$	$\Phi_{v>v'}_{\text{теор}}$	$\delta, \% \text{ для } \Phi_{v>v'}$	$\delta, \% \text{ для } \Phi_v$	$\delta, \% \text{ для } \Phi_{v3}$

5. Анализ полученных результатов.

5.1. Построенную в предыдущей работе зависимость $\Phi_{v>v'}=f(v)$ необходимо сравнить с теоретической зависимостью $\Phi_{v>v'}$, рассчитанной по формуле (3.10).

5.2. Пользуясь построенной зависимостью $\Phi_v=f(v)$, экспериментально полученное значение наиболее вероятной скорости, при которой функция распределения скорости ветра имеет максимум, сравнить с теоретическим значением, рассчитанным по формуле (3.13).

5.3. По построенной зависимости $\Phi_{v3}=f(v)$ определить максимальное значение функции и сравнить его с теоретически определенным значением скорости по формуле (3.14).

5.4. По результатам проведенного анализа сделать выводы.

Выводы. _____

3.4. Расчет средней годовой производительности ветроагрегата ВЭУ-3

Технические характеристики ветроагрегата: $P_e=3$ кВт; $h=20$ м; $v_0=4$ м/с; $v_{ном}=10,4$ м/с; $v_{макс}=30$ м/с, ометаемая площадь $S=14,28$ м².

Расчеты вести для средней скорости ветра 7 м/с; 9 м/с; 11 м/с.

Средняя производительность ветроагрегата (\bar{A}) с номинальной мощностью P_e (кВт), начальной скоростью ветроколеса v_0 (м/с), скоростью регулирования $v_{ном}$ (м/с) и максимальной скоростью $v_{макс}$ (м/с) будет равна:

$$\bar{A} = \frac{\bar{v}_p^3}{v_{ном}^3} PT, \quad (3.15)$$

где $\bar{v}_p^3 = \bar{v}_n^3 [I(x_{ном}, m) - I(x_0, m) + I(x_0, m)]$

$I(x, m) = \frac{1}{\Gamma(m)} \int_0^x e^{-t} t^{m-1} dt$ – неполная гамма-функция;

$x = \left(\frac{v}{\beta}\right)$, $m = \frac{3}{\gamma} + 1$, β, γ – параметры функций Вейбулла;

$\Gamma(m)$ – полная гамма-функция;

$x_{ном} = v_{ном}/v_{cp}$; $x_0 = v_0/v_{cp}$; $x' = \frac{v_{ном}^3}{v^3}$; $m = c_{20}$.

Пользуясь данными таблицы П.3.2, найдем v_h и c_v для заданной ветровой зоны:

$$v_{20} = v_{10} \left(\frac{\bar{v}_h}{\bar{v}_{10}} \right); \quad (3.16)$$

$$c_{20} = c_{10} \left(\frac{c_{v(h)}}{c_{v10}} \right), \quad (3.17)$$

где $c_{10} = 0,578$ – коэффициент вариации, характеризующийся изменчивостью ветра во времени.

Далее по этим данным определяется средний куб скорости (табл. П.3.3) (при необходимости используется простая интерполяция). По таблице П.3.4 находим значения неполной гамма-функции $I(x_{ном}, m)$, $I(x_0, m)$ и $I(x', m)$.

Подставив найденные значения в формулу (3.15), вычислить среднюю производительность ветроустановки.

Определить среднегодовой коэффициент полезного действия ветроустановки по формуле

$$\eta = \frac{A}{8760P_g} 100\%$$

Сделать выводы о целесообразности использования ветроустановки при заданном диапазоне скоростей ветра в регионе.

Выводы _____

Контрольные вопросы

1. Дать определения понятиям «валовой», «технический» и «экономический» потенциалы ветровой энергии.
2. Какие функции распределения случайной величины вы знаете?
3. Какая функция распределения наиболее точно описывает распределение скорости ветра?
4. Как определяется вероятностное распределение скорости ветрового потока?
5. От чего зависят мощность ветрового потока и производительность ветроэнергетической установки?

РАБОТА №4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

1. Оборудование рабочего места

- 1.1. Компьютер с выходом в INTERNET, калькулятор.
- 1.2. Рекомендуемая литература: [1], [2].

2. Задание

Исходные данные для выбора источника низкопотенциального тепла.

Источниками низкопотенциального тепла могут быть:

- наружный воздух температурой от -15 до $+15$ °С;
- отводимый из помещения воздух ($15...25$ °С);
- подпочвенные ($4...10$ °С) и грунтовые (более 10 °С) воды;
- озерная и речная вода ($0...10$ °С);
- поверхностный ($0...10$ °С) и глубинный (более 20 м) грунты (10 °С).

Согласно имеющимся данным, артезианские воды имеют в течение года примерно одинаковую температуру: $+7...+12$ °С. При использовании грунтовой воды в качестве источника тепла ее подают из скважины с помощью насоса в теплообменник насоса, работающего по схеме «вода-вода» и либо закачивают в другую скважину, либо сбрасывают в водоем.

Если в качестве источника тепла выбран атмосферный или вентиляционный воздух, то применяются тепловые насосы, работающие по схеме «воздух-вода». Насос может быть расположен внутри или снаружи помещения. Воздух подается в его теплообменник с помощью вентилятора.

Если источник – водоем, то на его дно укладывается петля из металлопластиковой или пластиковой трубы. По трубопроводу циркулирует раствор гликоля (антифриз), который через теплообменник теплового насоса передает тепло фреону.

Получение низкопотенциального тепла из грунта можно осуществлять двумя способами укладки металлопластиковых труб: в траншее глубиной $1,2...1,5$ м либо в вертикальные скважины глубиной $20...100$ м. Иногда трубы укладывают в виде спиралей в траншее глубиной $2...4$ м. Это значительно уменьшает общую длину траншей. Максимальная теплоотдача поверхностного грунта составляет $50...70$ кВт·ч/м² в год.

2.1 Рассчитать мощность теплового насоса

1. Определение тепловой мощности

Для расчета основной мощности теплового насоса особенно важно точное определение размеров, т.к. выбор аппаратов слишком большой величины связан с несоразмерно высокими затратами на установку. Прежде всего, следует определить стандартное теплотребление здания.

Ориентировочный расчет теплотребления (кВт) на основе отапливаемой площади можно произвести по формуле

$$N = N_{уд} F, \quad (4.1)$$

где $N_{уд}$ – удельное теплотребление (таблица 4.1);

F – площадь помещения.

$$N = \underline{\hspace{10em}}.$$

С учетом возможных перебоев в электроэнергии мощность устанавливаемого теплового насоса увеличивается на коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$f = 24 / (24 - t_{откл}), \quad (4.2)$$

где $t_{откл}$ – продолжительность перерыва в электроснабжении.

$$f = \underline{\hspace{10em}}.$$

Таблица 4.1 – Значения удельного теплотребления

Характеристика здания	Удельное теплотребление, Вт/м ²
Дом с улучшенными показателями энергосбережения, в которых реализованы высокие технологии	10
Здание с низким потреблением энергии	40
Новостройка, хорошая изоляция	50
Здание со стандартной изоляцией	80
Более старые постройки без особой теплоизоляции	120

Тогда $N = f N_{уд} F$. (4.3)

$$N = \underline{\hspace{10em}}.$$

Если необходима дополнительная тепловая мощность для приготовления горячей воды, то для обычного жилого здания исходят из максимального теплотребления около 50 л на человека в сутки с температурой воды около 45 °С. Это соответствует дополнительной тепловой мощности около 0,25 кВт на человека при восьмичасовом периоде нагрева. Эта дополнительная мощность учитывается только в том случае, если суммарная дополнительная тепловая мощность составляет более 20% теплотребления (таблица 4.2).

Суммарная тепловая мощность (кВт) будет равна:

$$N = 1,2 f N_{уд} F. \quad (4.4)$$

Таблица 4.2 – Прибавка на горячее водоснабжение

Условия потребления	Расход горячей воды при температуре горячей воды 45°C, л/сут. на человека	Удельное полезное тепло, Вт·ч/сут. на человека	Рекомендуемая прибавка на приготовление горячей воды, кВт/чел
Низкое потребление	15...30	600...1200	0,08...0,15
Нормальное потребление	30...60	1200...2400	0,15...0,30

$N =$ _____.

2. Расчет водопотребления на нужды теплового насоса

Чтобы определить необходимое количество воды для обеспечения требуемой мощности, вычисляется вначале теплоотдача воды при расходе 1 м³/час, кВт·ч/м³:

$$Q = \frac{C(t_n - t_k)}{3,6} \quad (4.5)$$

где $C=4,190$ мДж/м³·К – теплоемкость воды;

t_n, t_k – соответственно: начальная и конечная температура воды, К;

m – массовый расход воды, м³/час;

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

$Q =$ _____.

Расход воды для получения тепловой мощности (м³/ч) определяется:

$$M = \frac{N}{Q} \quad (4.6)$$

$M =$ _____.

Для поддержания постоянного давления и управления тепловым насосом устанавливаются расширительные баки, емкость которых выбирается с учетом необходимого запаса воды.

3. Выбор теплового насоса

Основными параметрами циркуляционного насоса являются напор H , измеряющийся в метрах водяного столба, и подача (M), или производительность, измеряемая в м³/ч.

Максимальный напор – это наибольшее гидравлическое сопротивление системы, которое способен преодолеть насос. При этом его подача равняется нулю.

Максимальная подача – наибольшее количество теплоносителя, которое может перекачать за 1 час насос при гидравлическом сопротивлении системы, стремящемся к нулю. Зависимость напора от производительности системы называется *характеристикой насоса* $H = f(M)$.

При подборе насоса, прежде всего, необходимо учесть объем теплоносителя, который будет перекачиваться с преодолением гидравлического сопротивления системы Q .

Гидравлическое сопротивление элементов отопительной системы определяется по таблице П.4.1 в зависимости от длины и материала труб системы отопления. По известным параметрам M и H из каталога выбирается насос (табл. П.4.2, П.4.3).

Гидравлический расчет трубопроводов систем водяного отопления

Гидравлический расчет систем водяного отопления предназначен для обоснования выбора таких диаметров всех участков труб, при которых в каждом циркуляционном кольце давления для перемещения расчетных количеств теплоносителя в единицу времени будут превышать на 10% потери давления от гидравлического сопротивления.

Потери давления в контуре циркуляции подразделяют на потери, возникающие от сопротивления трения, и потери от местных сопротивлений.

Потери давления Δp_T , Па на преодоление водой сопротивления трения определяют по формуле

$$\Delta p_T = R_l l = \frac{\lambda v^2}{2d_p} l, \quad (4.7)$$

где R_l – удельная потеря давления по длине трубопровода при средней расчетной температуре теплоносителя;

l – длина участка трубопровода;

λ^2 – коэффициент сопротивления по длине, зависящий от шероховатости стенок трубы и режима движения теплоносителя;

v – скорость теплоносителя;

d_p – расчетный диаметр трубы.

$$\Delta p_T = \underline{\hspace{10em}}.$$

Коэффициент сопротивления λ по длине трассы отопления следует определять по формуле

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5 \left[\frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b) \lg\left(\frac{3,7d_p}{K_{\text{э}}}\right)}{\lg\left(\frac{3,7d_p}{K_{\text{э}}}\right)} \right]}{3,7d_p K_{\text{э}}}, \quad (4.8)$$

где b – число подобия режимов течения теплоносителя;

$K_{\text{э}}$ – коэффициент эквивалентной шероховатости, равный $1 \cdot 10^{-6}$ м;

d_p – расчетный внутренний диаметр, который подсчитывают по формуле:

$$d_p = 0,5(2d_n + \Delta d_n - 4S - 2\Delta S), \quad (4.9)$$

где d_n – наружный диаметр трубы, м;

Δd_n – допуск на наружный диаметр трубы, м;

S – толщина стенки трубы, м;

ΔS – допуск на толщину стенки трубы, м.

$d_p =$ _____.

$\sqrt{\lambda} =$ _____.

Фактическое число Рейнольдса определяют по формуле:

$$\text{Re}_{\phi} = \frac{d_p v}{\nu_t}, \quad (4.10)$$

где ν_t – коэффициент кинематической вязкости теплоносителя (воды), $\text{м}^2/\text{с}$, принимаемый по таблице 4.3.

$\text{Re}_{\phi} =$ _____.

Таблица 4.3 – Коэффициент кинематической вязкости воды

Температура воды, °С	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90
$\nu_t \cdot 10^{-6}$, $\text{м}^2/\text{с}$	0,73	0,66	0,6	0,55	0,51	0,47	0,43	0,41	0,36	0,32

Число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений при турбулентном движении воды, определяют по формуле:

$$\text{Re} = \frac{500d_p}{K_{\text{э}}}. \quad (4.11)$$

Re=_____

Число подобия режимов течения воды определяют по формуле:

$$b = 1 + \frac{\lg Re_{\phi}}{\lg Re_{KB}} \quad (4.12)$$

b=_____.

При средней температуре теплоносителя, отличной от 80°C, следует учитывать поправочный коэффициент α к значениям удельной потери давления, приведенным в СНиП:

$$R_t = R\alpha,$$

где R – удельная потеря давления при температуре 80°C и том же расходе теплоносителя.

R_t =_____.

При средней температуре теплоносителя 90°C коэффициент α принимают равным 0,98; при 70°C – 1,02; при 60°C – 1,05; при 50°C – 1,08; при 40°C – 1,11.

Для гидравлического расчета трубопроводов систем водяного отопления в практике проектирования используют специальные номограммы (рисунок 4.1), учитывающие шероховатость трубопроводов и расчетные параметры воды. Потери давления Z , Па на преодоление местных сопротивлений могут быть определены по формуле:

$$Z = \sum \xi \frac{v^2}{2} \rho, \quad (4.14)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на рассчитываемом участке трубопровода;

v – скорость теплоносителя в трубопроводе, м/с;

ρ – плотность теплоносителя, кг/м³.

Z =_____.

Ориентировочные значения коэффициентов местных сопротивлений элементов системы отопления приведены в таблице П.3.1.

Гидравлические характеристики отопительных приборов, вентилях, клапанов (включая термостатические) приводятся в справочных изданиях и нормативной документации.

Общее сопротивление любого участка трубопровода движению теплоносителя:

$$\Delta p_{yч} = R_l l + Z. \quad (4.15)$$

$$\Delta p_{yч1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Описанный метод определения потерь давления в трубопроводах называют методом удельных потерь давления.

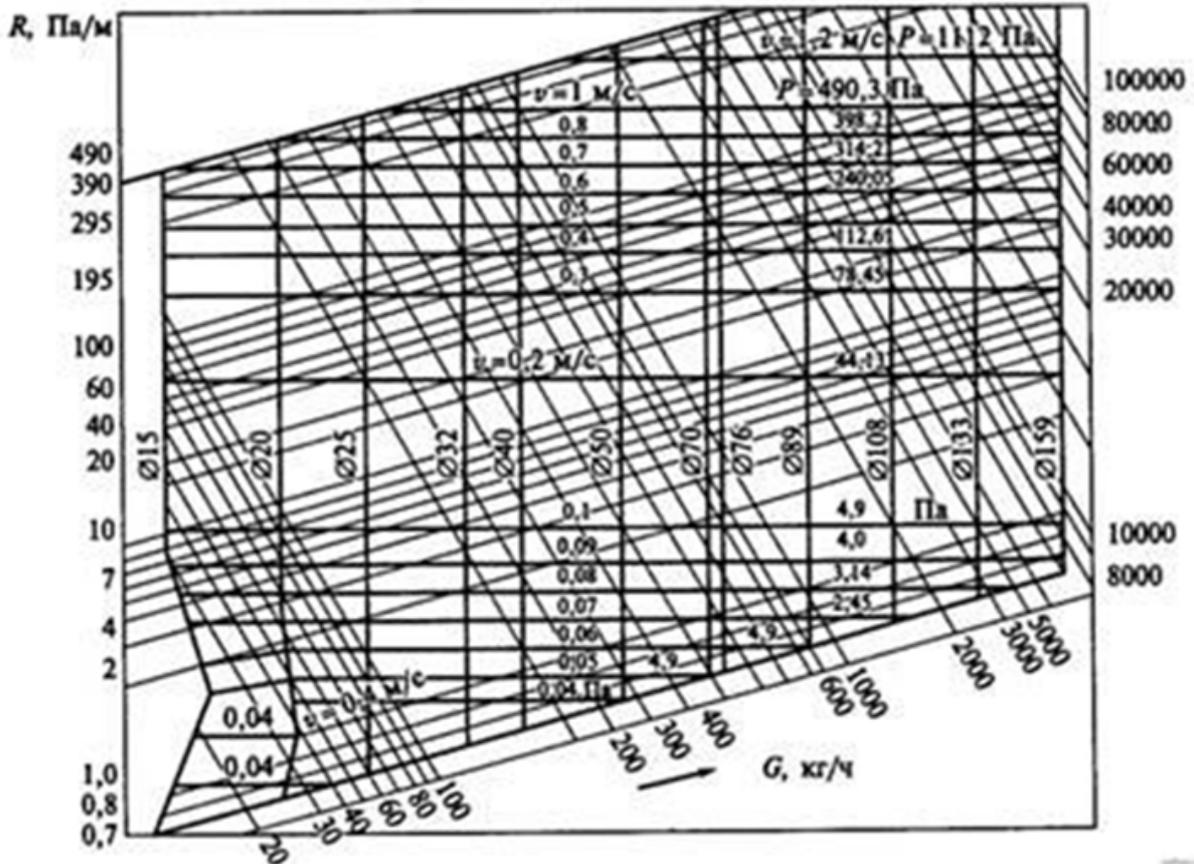


Рисунок 4.1 - Номограмма для расчета диаметров трубопроводов систем отопления при температуре воды 95...70°C

Результаты гидравлического расчета трубопроводов целесообразно сводить в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Сводная таблица результатов гидравлического расчета трубопроводов систем отопления

№ участка	Тепловая нагрузка, $Q_{уч}$, Вт	Расход воды $G_{уч}$, кг/ч	Длина	Диаметр трубы d , мм	Скорость движения теплоносителя v , м/с	Удельная потеря давления R_l , Па/м	Потеря давления на трение, R_l , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений, $\Sigma \zeta$	Потеря давления в местных сопротивлениях Z , Па	Суммарная потеря давления $R_l l + Z$

2.2 Рассчитать горизонтальный коллектор и выбрать тепловой насос для жилого помещения

Исходные условия

1. Теплопотребность коттеджа площадью 120...240 м² (из расчета тепловых потерь с учетом инфильтрации) – 13 кВт.
2. Температура воды в системе отопления принимаем равной 35°C (подполовой обогрев).
3. Минимальная температура теплоносителя на выход в испаритель – 0°C.
4. Для обогрева здания выбран тепловой насос мощностью 14,5 кВт из существующего технического ряда оборудования с учетом потерь на вязкости медиума.
5. Мощность P , затрачиваемая на нагрев фреона при отборе и передаче тепловой энергии из грунта, составляет 3,22 кВт.
6. Теплосъем с поверхностного слоя грунта (сухая глина) q равняется 20 Вт/м.п.

Съем тепла с каждого метра трубы зависит от многих параметров: глубины укладки, наличия грунтовых вод, качества грунта и т.д. Ориентировочно можно считать, что для горизонтальных коллекторов он составляет 20 Вт/м. Более точно: сухой песок – 10, сухая глина – 20, влажная глина – 25, глина с большим содержанием воды – 35 Вт/м. Разницу температуры теплоносителя в прямой и обратной линиях петли при расчетах принимают обычно равной 3°C. Минимальное расстояние между проложенными трубами должно быть 0,7...0,8 м. Длина одной траншеи составляет обычно от 30 до 120 м. В качестве теплоносителя первичного контура рекомендуется использовать 25-процентный раствор гликоля. В расчетах следует учесть, что его теплоемкость при температуре 0°C составляет 3,7 кДж/кг·К, плотность – 1,05 г/см³.

Порядок расчета

1. Рассчитывается требуемая тепловая мощность коллектора как разница полной мощности теплового насоса N и электрической мощности, затрачиваемой на нагрев фреона P , кВт :

$$Q_0 = N - P. \quad (4.16)$$

$$Q_0 = \underline{\hspace{10em}}.$$

2. Суммарная длина труб коллектора L , м и общая площадь участка под него A , м² рассчитываются по формулам:

$$L = \frac{Q_0}{q}. \quad (4.17)$$

$$L = \underline{\hspace{10em}}.$$

$$A = Ld . \quad (4.18)$$

$$A = \frac{Q_0}{q},$$

где q – удельный теплосъем (Вт/м);

d – расстояние между трубами (шаг укладки).

3. Расход антифриза, м³:

$$V_s = \frac{Q_0 \cdot 3600}{C \rho \Delta T} , \quad (4.19)$$

где ΔT – разность температур между подающей и возвратной линиями;

Q_0 – тепловая мощность, получаемая от низкопотенциального источника.

$$V_s = \frac{Q_0 \cdot 3600}{C \rho \Delta T} .$$

4. Для устройства коллектора выбирается типоразмер пластиковой трубы, для которой определяют потери давления (Па/м.п.); сопротивление одного контура (кПа); скорость протока теплоносителя (м/с).

5. Провести расчет зонда (рисунок 4.2) для тех же исходных данных.

При использовании вертикальных скважин глубиной от 20 до 100 м в них погружаются U-образные пластиковые трубы диаметром 32 мм. Как правило, в одну скважину вставляются две петли. В среднем удельный теплосъем такого зонда можно принять равным 50 Вт/м.

Можно также ориентироваться на следующие данные по теплосъему:

- сухие осадочные породы – 20 Вт/м;
- каменистая почва и насыщенные водой осадочные породы – 50 Вт/м;
- каменные породы с высокой теплопроводностью – 70 Вт/м;
- подземные воды – 80 Вт/м.

Температура грунта на глубине более 15 м постоянна и составляет примерно +9°C. Расстояние между скважинами должно быть более 5 м.

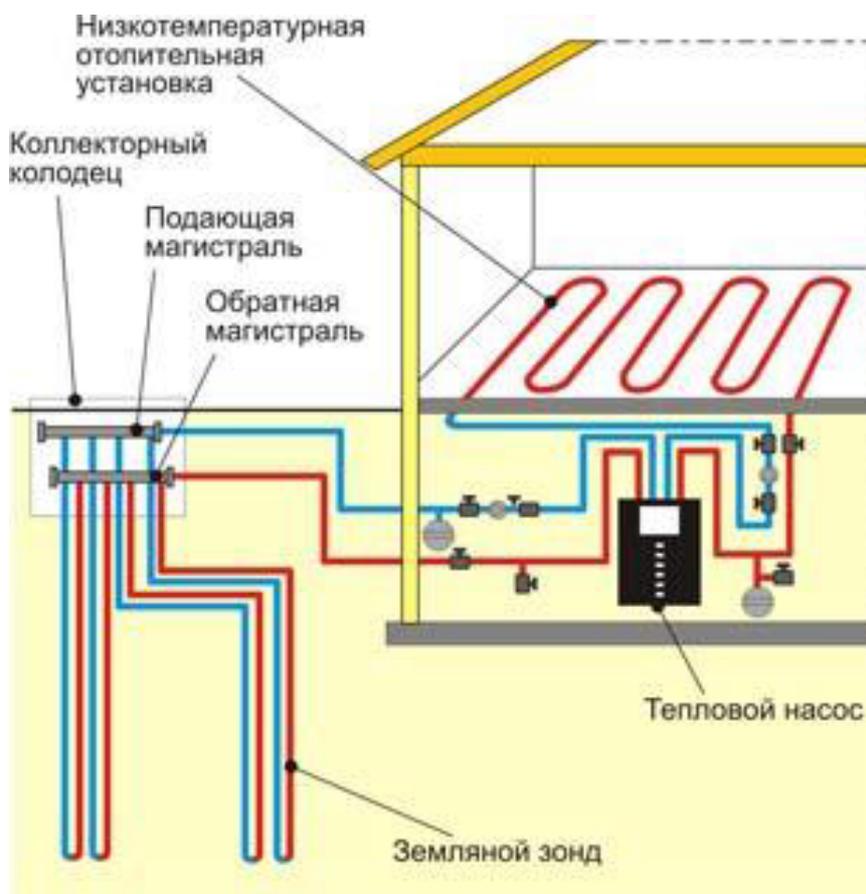


Рисунок 4.2 – Схема расположения земляного зонда

При наличии подземных течений скважины должны располагаться на линии, перпендикулярной потоку. Подбор диаметров труб проводится, исходя из потерь давления для требуемого расхода теплоносителя. Расчет расхода жидкости может проводиться для $t=5^{\circ}\text{C}$.

Расчет проводится аналогично горизонтальному коллектору.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия теплового насоса?
2. Возможные низкопотенциальные источники энергии.
3. Какие исходные данные нужны для расчета мощности теплового насоса?
4. По каким параметрам выбирается тепловой насос? Дать определение этим параметрам.
5. С какой целью проводится гидравлический расчет трубопроводов системы водяного отопления?
6. Как рассчитать длину горизонтального коллектора и скважин земляного зонда?
7. От чего зависит удельный теплосъем коллектора и зонда?

РАБОТА №5

РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛА ВОДОТОКА ДЛЯ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ

1. Оборудование рабочего места

1.1. Компьютер с выходом в INTERNET, калькулятор.

1.2. Рекомендуемая литература: 1, 2, 3.

2. Задание

2.1. Рассчитать теоретический потенциал водотока с помощью метода «линейного учета».

2.2. Рассчитать технический потенциал водотока, построить графики зависимостей

$$v_j = f(L_j), Q_j = f(L_j), Z_j^{\max} = f(L_j), Z_j^{\min} = f(L_j).$$

2.3. Исследовать целесообразность энергетического использования потенциала водотока для конкретного потребителя.

Исходные условия

1. Дан участок открытого водотока с заданными отметками естественных уровней воды в нем ∇_j по длине водотока L_j и расхода воды Q_j , где j – номер створа ($j=1, \dots, 10$). Нумерация створов идет сверху вниз по течению.

2. В верхнем 1-м створе задано ограничение по максимальному поднятию уровня воды $Z_0^{\max \text{ доп}} = 202$ м (социально-экологические требования для верхнего течения водотока).

3. В самом нижнем, 10-м, створе задано ограничение по минимальному уровню воды $Z_k^{\min \text{ доп}} = 102$ (обеспечение гарантированных судоходных глубин).

4. На участке между створами 2-4 не допускается нарушение естественного режима водотока (заповедник).

5. На участке между створами 4-10 задано ограничение по минимально допустимому уровню воды ($Z_j^{\min}, j = 4, \dots, 10$) по условиям рыбного хозяйства.

6. Во всех створах существует ограничение по максимально допустимому уровню поднятия отметки воды $Z_j^{\max}, j = 1, \dots, 10$ (по условиям затопления и подтопления территории).

7. В таблице 5.2 приведены данные по потребителям электроэнергии, расположенным вдоль изучаемого водотока и не имеющим энергетической связи с энергосистемой. В таблице: $П_l$ – номер l -го потребителя ($l=1, \dots, 6$); L_l – расстояние вдоль реки от ее истока до l -го потребителя; P_l – мощность l -го потребителя; l_l – расстояние от l -го потребителя до водотока; R_l – экономический радиус l -го потребителя для заданного варианта электроснабжения и заменяемого малой ГЭС альтернативного варианта

энергоустановки (дизельная установка). Графически расположение потребителей представлено на рисунке 1.

8. Для участка водотока, приходящегося на заповедник, заданы следующие условия:

- скорость течения воды:
участок 2-3: $V_{расч}=3,5$ м/с;
участок 3-4: $V_{расч}=2,5$ м/с;
- минимальные глубины водотока по фарватеру:
участок 2-3: $h^{min}=1,0$ м;
участок 3-4: $h^{min}=1,8$ м.

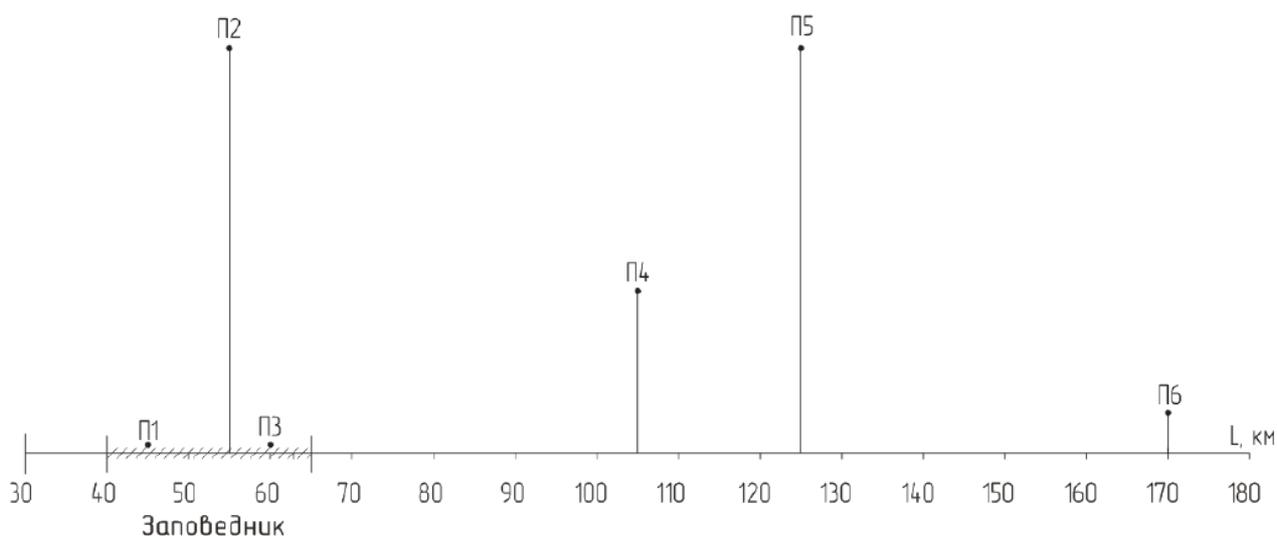


Рисунок 5.1 – Расположение потребителей энергии вдоль реки

При расчете принимаются следующие допущения:

1. Расходы водотока в каждом створе считаются постоянными в течение года, т.е. $Q_i=const$;

2. Гидроэлектростанции не изменяют естественный гидрологический режим водотока. Это значит, что уровень воды в водохранилище или верхнем бьефе любой ГЭС ($Z_{ББ}$) принимается постоянным и равным нормальному подпорному уровню:

$$Z_{ББ}(t) = НПУ = const .$$

Соответственно весь естественный расход водотока $Q(t)$ пропускается без перераспределения во времени в нижний бьеф ГЭС:

$$Q_{ББ}(t) = Q_i .$$

3. Установленная мощность $N_{уст.i}$ плотинных ГЭС определяется в каждом i -м расчетном створе ГЭС по формуле:

$$N_{уст}^{ГЭС} = 9,81\eta_{ГЭС} Q_{расч.i} H_{ai} = K_N Q_{расч.i} H_{ai} , \quad (5.1)$$

где $\eta_{ГЭС}$ – коэффициент полезного действия ГЭС;

$K_N=9,81 \eta_{ГЭС}$ – коэффициент мощности.

Примем расчетный расход в i -м створе: $Q_{расч.i} = 0,6Q_i$, где Q_i (v^3/c) – расход водотока в i -м расчетном створе;

$H_{a.i}$ – напор агрегата ГЭС, определяемый по формуле

$$H_{ai} = НПУ_i - Z_{НБi}, \quad (5.2)$$

где $НПУ_i$ (м) – нормальный подпорный уровень верхнего бьефа (ВБ) ГЭС в i -м створе, $Z_{НБi}$ – расчетный уровень нижнего бьефа (НБ) ГЭС в i -м створе. В зависимости от типа каскада и ограничений по уровню НБ расчетный уровень $Z_{НБi}$ определяется следующим образом:

- сомкнутый каскад плотинных ГЭС по водотоку (кроме ГЭС в устье водотока): $Z_{НБi} = НПУ_{i+1}$. ГЭС (ГЭС1) принимается с учетом данных таблицы 5.1, т.е.

$$Z_{НБ1} = Z^{min\delta on} = 102 \text{ м} = const ;$$

- разомкнутый каскад плотинных ГЭС по водотоку:

$$Z_{НБi} = V_i + \Delta Z_{НБi} = V_i + 0,256Q_{расч.i},$$

где V_i (м) – отметка уровня воды в i -м створе (берется по данным таблицы 5.1 и рисунка 5.1).

4. Число часов использования установленной ГЭС по водотоку h , (ч) принято считать равным 3000 ч.

5. Энергоснабжение l -го потребителя от ГЭС считается эффективным, если расстояние от потребителя до водотока или местоположения ГЭС (L_l) будет меньше экономического радиуса (R_l), т.е. $L_l < R_l$ (табл. 3.2).

6. Считается, что альтернативным ГЭС вариантом является дизельная электростанция (ДЭС).

Таблица 5.1 – Исходные данные по водотоку

Створ реки, j	V_j , м	L_j , м	Q_j , м ³ /ч	Z_j^{max} , м	Z_j^{min} , м
1	200,0	30,0	4,5	215,0	202,0
2	194,0	40,0	6,5	207,0	194,0
3	181,0	50,0	7,0	193,0	181,0
4	174,0	65,0	10,0	184,0	174,0
5	170,0	70,0	10,5	180,0	172,0
6	157,0	80,0	14,0	167,0	159,0
7	141,0	95,0	14,5	151,5	143,
8	125,0	115,0	24,0	195,0	127,0
9	111,0	135,0	48,0	121,0	113,0
10	100,0	180,0	53,0	110,0	102,0

7. Принято считать, что к малым ГЭС относятся станции с установленной мощностью $N_{уст}$ до 30 МВт и единичной мощностью агрегата до 10 МВт.

8. «Живое» сечение реки представляет собой перевернутый равнобедренный треугольник. Бесплотинные ГЭС в этом случае могут располагаться вдоль водотока только по фарватеру и в одну линию.

9. Число часов использования бесплотинных ГЭС составляет 8000 ч.

Таблица 5.2 – Исходные данные по потребителям электроэнергии

Потребитель, $П_l$	ед.изм	1	2	3	4	5	6
L_l	км	45	55	60	105	125	170
P_l	кВт	15	25	18	108	50	300
l_l	км	0,1	5,0	0,1	2,0	5,0	0,5
R_l	км	0,2	0,3	0,2	2,3	0,6	3,5

В таблице 5.3 заданы основные технические параметры бесплотинных свободнопоточных гидроагрегатов и условия применения для тех участков водотока, где недопустимо изменение естественного режима (заповедник).

В таблице представлены:

D_1 – диаметр рабочего колеса;

$h_{дон}$ – минимально допустимая глубина потока для установки свободнопоточных агрегатов для заданных значений D_1 и V_p – скорости потока;

L_{min} – минимально допустимое расстояние между свободнопоточными агрегатами, расположенными друг за другом вдоль реки. Принимается, что КПД указанных агрегатов равно 20% при допустимых напорах агрегата H_a от 3,0 до 10,0 м.

Таблица 5.3 – Параметры погружных свободнопоточных агрегатов при КПД=0,2

Вариант	D_l	$h_{дон}, м$	$V_p=3,5 м/с$ $N_a, кВт$	$V_p=3,5 м/с$ $N_a, кВт$	$L_{min}, м$
1	0,5	1,5	0,836	0,304	10,0
2	1,12	2,0	4,29	1,56	22,4

Порядок расчета

1. Расчет водноэнергетического кадастра водотока производится с помощью метода «линейного учета». Результаты расчета сводятся в таблицу 5.4, исходные данные берутся из таблицы 5.1, а остальные величины рассчитываются по следующим формулам:

- длина водотока между створами j и $j-1$, т.е $l_{j,j-1}$ (км):

$$l_{j,j-1} = L_j - l_{j-1}; \quad (5.3)$$

- напор того же участка $H_{j,j-1}$ (м):

$$H_{j,j-1} = V_{j-1} - V_j; \quad (5.4)$$

- средний расход на участке $Q_{j,j-1}$ (м³/с):

$$Q_{j,j-1} = 0,5(Q_j + Q_{j-1}); \quad (5.5)$$

- потенциальная мощность водотока на том же участке $N_{j,j-1}$ (кВт):

$$N_{j,j-1} = 9,81H_{j,j-1}Q_{j,j-1}; \quad (5.6)$$

- удельная мощность водотока $n_{j,j-1}$, (кВт/км):

$$n_{j,j-1} = N_{j,j-1}/l_{j,j-1}; \quad (5.7)$$

- валовой потенциал водотока

$$N_{\text{вал}} = \sum_{j=2}^{10} N_{j,j-1}. \quad (5.8)$$

Таблица 5.4 – Расчет водно-энергетического кадастра

Створ реки	V_j	L_j	Q_j	$l_{j,j-1}$	$H_{j,j-1}$	$Q_{j,j-1}$	$N_{j,j-1}$	N_j	$n_{j,j-1}$
№	м	км	м ³ /с	км	м	м ³ /с	кВт	кВт	кВт/км
1									
2									
3									

2. Расчет технического потенциала водотока

2.1. Строятся в графическом виде зависимости $V_j=f(L_j)$, $Q_j=f(L_j)$, $Z_j^{\max} = f(L_j)$, $Z_j^{\min} = f(L_j)$ по данным таблицы 5.1. Здесь же указываются номера всех десяти заданных створов и расстояние по течению водотока.

2.2. Проводится разбивка водотока на каскад плотинных МГЭС, начиная с последнего – 10-го расчетного створа. Для этого из точки А, соответствующей L_{10} (таблица 5.1), проводится вертикальная линия до пересечения с Z_{10}^{\max} (точка В) и затем из точки В проводится горизонтальная линия влево до пересечения с линией $Z_j^{\min}(L_j)$, т.е. определяется точка С.

Тем самым определяется местоположение створа ГЭС2 (L_2) и следующие параметры ГЭС1: L_1 ; H_{a1} ; $НПУ$; $Z_{НБ1}$; Q_1 . Если H_{a1} находится в допустимых пределах, то далее производится определение $Q_{расч1}$; $N_{уст1}$ и $\mathcal{E}_{ГЭС1}$.

Если в створе ГЭС1 напор H_{a1} окажется больше 10 м, то $НПУ1$ следует ограничить указанной величиной, т.е.:

$$НПУ1 = (Z_{НБi} + 10) < Z_j^{\max}. \quad (5.9)$$

В случае, когда в створе ГЭС1 напор H_{a1} окажется меньше трех метров, следует отказаться от строительства плотинной ГЭС в данном створе и, двигаясь вверх по течению реки, определить координаты плотинной ГЭС1 в другом створе.

Неиспользованный плотинными ГЭС участок водотока следует проверить на возможность сооружения здесь бесплотинных ГЭС.

После определения всех основных электрических параметров ГЭС1 аналогично проводятся расчеты для ГЭС2, ГЭС3 и т.д. Результаты расчетов заносятся в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Расчет технического потенциала участка водотока при его использовании сомкнутым каскадом плотинных МГЭС при $h=3000$ ч и $k_N=7,5$

Створ ГЭС	L_i	Q_i	$Q_{расч.i}$	$HПУ_i$	$Z_{НБi}$	Ha_i	$N_{уст.i}$	$ЭГЭС.i$
i	км	м ³ /с	м ³ /с	м	м	м	м	кВт·ч·10 ⁶
1...								
10								

2.3. Определить суммарную выработку электроэнергии всеми плотинными ГЭС в год.

3. Исследование целесообразности энергетического использования технического потенциала водотока с помощью МГЭС для местных потребителей энергии.

3.1. Проверить выполнение условия $R_l > L_l$ для всех шести потребителей энергии. Если это условие не выполняется, то электроснабжение этих потребителей использование МГЭС нецелесообразно. Для потребителей, находящихся в зоне существования сомкнутого каскада МГЭС по водотоку проверяется возможность получения требуемых значений мощности от ближайших ГЭС каскада.

При этом рассчитывается требуемая длина водотока $L_{треб}$ (км), необходимая для обеспечения энергоснабжения l -го потребителя от МГЭС с учетом удельной энергоемкости водотока n (кВт/км) (таблица 5.1), т.е.:

$$L_l^{треб} = \frac{P_l}{n_l}, \quad (5.10)$$

где n_l – удельная мощность (энергоемкость) участка водотока между створами, где расположен l -й потребитель.

Далее проверяется выполнение неравенства

$$L_l^{треб} \leq l_{j,j-1}. \quad (5.11)$$

Если оно выполняется, то в расчетах используется постоянное значение n_l , соответствующее данным таблицы 3.1. Если не выполняется, то следует использовать данные двух смежных расчетных интервалов таблицы 5.1.

3.2. Определить годовое потребление энергии потребителями от МГЭС, расположенных поблизости.

3.3. Если потребитель находится между створами, где невозможно строительство никаких ГЭС, рассматривается вопрос однорядной установки погружных свободнопоточных агрегатов варианта 1 (таблица 5.3). Для реализации электроснабжения таких потребителей потребуется следующее количество агрегатов:

$$Z_{agr} = \frac{P_l}{N_{ГЭУ}} \quad (5.12)$$

Далее определяется общая длина гирлянды МГЭС и сравнивается с R_l

$$L_{\Sigma} = Z_{agr} L_{\min} . \quad (5.13)$$

$$L_{\Sigma} < R_l .$$

Невыполнение последнего условия означает, что использование бесплотинных ГЭС нецелесообразно.

3.4. Сделать вывод о целесообразности электроснабжения потребителей от МГЭС, указать эти потребители и их годовое электропотребление.

Определить (в процентах) выработку электроэнергии МГЭС от технического потенциала водотока.

Контрольные вопросы

1. Классификация установок для малой энергетики.
2. Преимущества и недостатки малой гидроэнергетики. Основные отличия малой энергетики от традиционной.
3. В чем состоит суть метода линейного учета для расчета теоретического потенциала водотока?
4. Основные факторы влияния МГЭ на окружающую среду.
5. Как рассчитать мощность свободнопоточных погружных агрегатов МГЭС?

РАБОТА № 6

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ БИОГАЗОГЕНЕРАТОРА И ДВИГАТЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА

1. Оборудование рабочего места

- 1.1. Компьютер с выходом в INTERNET, калькулятор.
- 1.2. Рекомендуемая литература: 1, 2.

2. Задание

Определить основные параметры биогазогенератора и двигатель-генераторной установки в соответствии с исходными данными:

2.1 Рассчитать параметры биогазогенератора

Исходные данные

1. Содержание сухого сбраживаемого материала в навозе одного животного – 0,2 кг за сутки.
2. Время цикла сбраживания при температуре 20°C, t = 14 суток.
3. Суммарная теплотворная способность сухого навоза – 12 МДж/кг.
4. Суммарная теплотворная способность биогаза (50% – метан и 50% – углекислый газ) СВ=20 МДж/м³.
5. При полном сбраживании за 14 суток полный выход биогаза – 0,5 м³ на 1 кг сухого материала.
6. КПД двигатель-генераторной установки $\eta=30\%$.

Составить отчет по предлагаемой форме и содержанию:

1. Объем жидкой массы (м³), проходящей через биогазогенератор ежедневно

$$V_J = \frac{m}{\rho},$$

где m – масса сухого материала в навозе животных за сутки;
 $\rho=50 \text{ кг/м}^3$ – содержание сухого материала в 1 м³ жижи.

$V_J =$ _____.

2. Объем биогазогенератора, м³

$$V_G = V_J t,$$

где t – время цикла сбраживания, сут.

$V_G =$ _____.

3. Масса сухого материала в полном биогазогенераторе, кг

$$G_c = mt1000 .$$

$$G_c = \underline{\hspace{2cm}} .$$

4. Объем биогаза, выделяемого биогазогенератором за сутки, м³/сут

$$V_B = Gc ,$$

где c – выход биогаза из 1 кг сухого материала в сутки.

$$V_B = \underline{\hspace{2cm}} .$$

5. Годовая выработка электроэнергии (кВт·ч) при использовании биогаза в двигатель-генераторной установке:

$$W = \eta V_B C_B 365 .$$

$$W = \underline{\hspace{2cm}} .$$

6. Номинальная мощность двигатель-генератора, кВт:

$$P_H = \frac{K_3 W}{365 \cdot 24} ,$$

где $K_3=1$ – коэффициент запаса.

$$P_H = \underline{\hspace{2cm}} .$$

7. Расход электроэнергии (тыс. кВт·ч) на подогрев массы в биогазогенераторе в холодное время года (365/2 суток) в среднем от 5 до 20°C, полагая теплоемкость массы 1 ккал/кг·°C, плотность массы 900 кг/м³, 1 кВт·ч=1 ккал/860:

$$W_1 = mC\Delta T = \frac{\rho V_J C \Delta T 365}{860 \cdot 2} .$$

$$W_1 = \underline{\hspace{2cm}} .$$

8. Расход электроэнергии (тыс. кВт·ч) в год двигателями насосов и мешалок биогазогенератора при их установленной мощности 20 кВт и коэффициенте использования 0,1:

$$W_2 = P_{уст} K_{исп} 8760 .$$

$$W_2 = \underline{\hspace{2cm}} .$$

9. Годовая экономия электроэнергии (тыс. кВт·ч):

$$\Delta W = W - W_1 - W_2 .$$

$$\Delta W = \underline{\hspace{2cm}} .$$

10. Капитальные затраты (млн. руб.) на установку при удельных затратах $З_{уд}=2$ млн. руб. за 1 кВт установленной мощности:

$$K = P_H З_{уд}.$$

$K =$ _____.

11. Годовой экономический эффект (млн. руб.) без учета дополнительных эксплуатационных расходов при тарифе на электроэнергию для производственных потребителей $b=170$ руб./кВт·ч:

$$\mathcal{E} = \Delta W b.$$

$\mathcal{E} =$ _____.

12. Срок окупаемости без учета дополнительных эксплуатационных расходов, лет:

$$T_o = \frac{K}{\mathcal{E}}.$$

$T_o =$ _____.

Выводы:

2.2 Рассчитать параметры биогазовых установок

Конструкция биогазовых установок зависит от технологии получения газа. Под этим понимаются:

- выбор температуры брожения (мезофильный или термофильный процесс) и продолжительности процесса;
- режим заполнения метантенка (непрерывный или переменный);
- система теплоснабжения метантенка;
- система сбора биогаза (газгольдер);
- технология загрузки навоза, выгрузки шлама, очистки биогаза и т.д.;
- исполнение метантенка (материал, конструкция).

По заданию условия работы установки будут соответствовать *следующим данным*:

- количество голов КРС – 4960;
- удельный выход экскрементов в сутки – 40 кг;
- влажность массы экскрементов – 90%;
- доля СОВ в сухом веществе навоза – 80%;
- выход биогаза из 1 кг СОВ – 0,315 м³/кг;
- доля выхода биогаза от исходного материала – 40%;

- рекомендуемый объем загрузки метантенка – 6 кг/м³;
- мезофильное брожение с температурой процесса 32 °С;
- продолжительность процесса – 15 суток;
- загрузка навоза непрерывная с ежедневной заменой – 1/15 сбрасываемой массы;
- метантенк бетонный, с толщиной стенок 0,15 м, цилиндрический, верхняя и нижняя части в виде усеченных конусов;
- теплоизоляция – шлакобетон (0,3 м), шлаковая засыпка (0,5 м) и земляной вал (1 м);
- сбрасываемая масса до температуры процесса, нагревается за счет водяных теплообменников;
- перемешивание массы – механическое за счет электрического привода.

2.3 Тепловой расчет метантенка

1. Количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры брожения в сутки, МДж:

$$Q_{под} = m'_{сут.экс} C_c (T_{пр} - T_{заг}) \frac{1}{\eta},$$

где C_c – средняя теплоемкость субстрата, МДж/кг·°К;

$T_{пр}$ – температура процесса брожения, °К;

$T_{заг}$ – температура загружаемого субстрата, °К;

η – коэффициент полезного действия процесса.

Температура загружаемой массы зависит от способа загрузки навоза в метантенк: если масса поступает непосредственно из животноводческого помещения, то температура ее будет такой же, как внутри помещения; если массу берут из навозохранилища, то ее температура зависит от наружного воздуха.

$$Q_{под} = \underline{\hspace{10cm}}$$

2. Количество теплоты, теряемое субстратом в процессе теплоотдачи через стенку реактора в окружающую среду за час, Вт:

$$Q_{ном} = kF (T_{пр} - T_{сред}),$$

где k – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°К;

$T_{сред}$ – температура окружающего воздуха, °К;

F – площадь поверхности теплообмена метантенка, м².

$$Q_{ном} = \underline{\hspace{10cm}}$$

3. Определяем коэффициент теплоотдачи:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где $\frac{1}{\alpha_1}$, $\frac{1}{\alpha_2}$ – термическое сопротивление теплоотдачи от субстрата к внутренней поверхности стенки метантенка и от внешней поверхности теплоизоляции метантенка к окружающей среде;

$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – суммарное термическое сопротивление теплопроводности

материала стенок метантенка ($\delta_{cm} / \lambda_{cm}$) и теплоизоляции ($\delta_{из} / \lambda_{из}$). Если теплоизоляция многослойна, то в расчетах учитывается каждый слой.

$k =$ _____.

4. Потери тепла за сутки:

$$Q_{nom1} = Q_{nom} \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}.$$

$Q_{nom1} =$ _____.

Для приближенных расчетов можно считать, что тепловые потери в среднем за сутки года равны среднеарифметическому значению этих величин:

$$Q_{nom} = \frac{Q_{nom1} + Q_{nom2}}{2}.$$

$Q_{nom} =$ _____.

5. Определить затраты энергии на перемешивание биомассы. На основании экспериментальных данных затраты энергии на перемешивание механическими мешалками можно принять равными 30...60 Вт/м³ при режиме 4 ч работы и 7 ч паузы.

Потери энергии на механическое перемешивание сбрасываемой массы (принимая норму нагрузки на мешалки 50 Вт/м при суммарной продолжительности работы в сутки 8 ч):

$$Q_{мех} = 0,05 \cdot 8 \cdot 9 = 3,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут} = 13 \text{ МДж/сут}.$$

6. Потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного в сутки, МДж:

$$Q_{выр} = V_{\delta} C_{\delta},$$

где C_{δ} – теплотворная способность биогаза, МДж/м³.

Потенциальные запасы энергии биогаза, вырабатываемого в течение суток (теплотворная способность газа 22 МДж/м³):

$Q_{выр} =$ _____.

7. Общие затраты энергии на поддержание процесса в сутки, МДж/сут:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{под}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{мех}},$$

$$Q_{\text{общ}} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

4.3.8. Энергетический эффект установки МДж/сут:

$$\mathcal{E}_6 = Q_{\text{выр}} - Q_{\text{общ}},$$

$$\mathcal{E}_6 = \underline{\hspace{10cm}}.$$

9. Коэффициент товарности биогазовой установки:

$$K_{\text{тов}} = \frac{Q_{\text{выр}} - Q_{\text{общ}}}{Q_{\text{выр}}} 100\%.$$

$$K_{\text{тов}} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

2.4 Составить отчет по предлагаемой форме и содержанию

1. Определить объем единовременной загрузки метантенка. Принять непрерывный способ загрузки. Объем метантенка рассчитан на все поголовье. Суточный объем загрузки определяется как масса суточных экскрементов, кг:

$$m_{\text{сут.экс}} = N_{\text{ж}} m_{\text{уд}},$$

где $N_{\text{ж}}$ – количество животных;

$m_{\text{уд}}$ – удельный выход экскрементов в сутки.

$$m_{\text{сут.экс}} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

Навоз загружается с подстилкой; необходимо применять поправочный коэффициент K , учитывающий органическую массу подстилки: $K=1,5$.

2. Выход навоза с учетом поправочного коэффициента, кг/сут:

$$m'_{\text{сут.экс}} = m_{\text{сут.экс}} K.$$

$$m'_{\text{сут.экс}} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

В зависимости от условий содержания животных в навоз попадают вода, остатки корма, подстилка, земля. Анализ состава навоза с животноводческих ферм показал, что в нем в весовой доле от экскрементов может быть: технической воды – от 20 до 100%, подстилки – от 12 до 18%, остатков корма – от 8 до 12% и земли до 10%.

При точном расчете необходимо определять долю каждого компонента, так как от их общей массы зависят затраты на подогрев. Остатки корма и

подстилка влияют на суммарное содержание сухого органического вещества, а от количества воды напрямую зависит влажность всей смеси.

Однако, для приближенных (оценочных) расчетов принять во внимание поправочный коэффициент, а содержание СВ, СОВ и влажность определить по справочной литературе.

3. Определить долю сухого вещества (СВ) в загружаемом материале, кг:

$$m_{св} = m'_{сум.экс} \left(1 - \frac{W_{экс}}{100} \right),$$

где $W_{экс}$ – влажность массы экскрементов, %.

$m_{св} =$ _____.

4. Определить долю сухого органического вещества (СОВ) в навозе, кг:

$$m_{СОВ} = m_{св} \frac{P_{СОВ}}{100},$$

где $P_{СОВ}$ – доля СОВ в сухом веществе навоза, %.

$m_{СОВ} =$ _____.

5. Определить выход биогаза при полном разложении СОВ навоза, м³:

$$V_{пол} = n_{экс} m_{СОВ},$$

где $n_{экс}$ – выход биогаза из 1 кг СОВ различного исходного материала, м³/кг.

$V_{пол} =$ _____.

6. Определить объем полученного биогаза при выбранной продолжительности метанового брожения, м³:

$$V_{г} = V_{пол} \frac{n_t}{100},$$

где N_t – доля выхода биогаза от исходного материала при данной продолжительности метанового процесса, %.

$V_{г} =$ _____.

7. Найти объем метантенка, м³:

$$V_{м} = \frac{m_{св}}{n_v},$$

где $n_{св}$ – рекомендуемый объем загрузки СВ в сутки, кг/м³.

$V_{м} =$ _____.

8. Объем метантенка $V_{м}$ согласовываем с объемом загрузки, м³:

$$V_{пол} = m'_{сут.экс} t_{сут} \frac{1}{\rho_H},$$

где $m'_{сут.экс}$ – суточная загрузка метантенка, кг/сут;

$t_{сут}$ – продолжительность процесса брожения, сут.;

ρ_H – удельная плотность сбраживаемой массы, кг/м³.

$V_{пол} =$ _____.

9. Удельную плотность навоза считаем равной удельной плотности воды, так как влажность навоза обычно более 90%. Отсюда:

$V_{пол} =$ _____.

Если $V_{пол} \ll V_M$, то значительная часть метантенка использоваться не будет. Метантенк – наиболее капиталоемкий элемент биогазовой установки, и понятно, что такой вариант экономически будет проигрывать.

При $V_{пол} = V_M$ могут возникнуть проблемы со сбором биогаза, так как пена, образующаяся в процессе брожения, будет забивать канал сбора биогаза. Желательно, чтобы соотношение $V_{пол} / V_M$ составляло 0,7...0,9.

Рекомендуется выбирать метантенк цилиндрической формы. Для удобства сбора шлама и биогаза верхнюю и нижнюю части метантенка выполняют в виде усеченного конуса с горловиной в верхней части.

Выводы:

Контрольные вопросы

1. Основные характеристики биогаза
2. Принцип работы биогазовой установки.
3. Основные способы переработки биомассы/
4. Какова эффективность сжигания биотоплива? Как ее можно повысить?
5. В чем сущность анаэробного сбраживания?
6. Какова эффективность анаэробной переработки навоза?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инновационное развитие альтернативной энергетики [Текст] : науч. изд. Ч. 2 / Федоренко В.Ф. [и др.]. - М. : Росинформагротех, 2011. - 412 с. - ISBN 978-5-7367-0836-9. - гл. 112 : 60-00.
2. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Баранов. - М. : МЭИ, 2012. - 384 с. : ил. - ISBN 978-5-383-00651-1. - гл. 214 : 440-00.
3. Солнечная энергетика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Виссарионов В.И. [и др.]. - 2-е изд., стереотип. - М. : МЭИ, 2011. - 276 с. : ил. - ISBN 978-5-383-00608-5. - гл. 214 : 220-00.
4. Возобновляемые источники энергии в АПК [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. И. Земсков. - Электрон. дан. - СПб. : Лань, 2014. - 368 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/47409/>, требуется регистрация. - Загл. с экрана. - ISBN 978-5-8114-1647-9.
5. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст] : учеб. пособие для бакалавров + CD / Денисов В.В., ред. - Ростов н/Д. : Феникс, 2015. - 382 с. : ил. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-222-22949-1. - к215 : 567-00.
6. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] / Денисов В.В., ред. - Электрон. дан. - Ростов н/Д. : Феникс, 2015. - 1 электрон. опт. диск. - Приложение к книге: Денисов В.В., ред. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. - Загл. с экрана. - Яз. рус. - М215.
7. Земсков, В.И. Нетрадиционные источники энергии в агропромышленном комплексе [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Земсков ; Алтайский ГАУ. - Барнаул : АГАУ, 2007. - 279 с. - ISBN 5-94485-089-2 : 80-00.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1.1 – Значения мощности электробытовых приборов

Электроприборы	Мощность, Вт	утро (6-12)		день (12-18)		вечер (18-24)		ночь (0-6)	
		к-во	мощн., Вт	к-во	мощн., Вт	к-во	мощн., Вт	к-во	мощн., Вт
Телевизор	300	1	300			2	600		
Видеомагнитофон	120					1	120		
Компьютер	400					1	400	1	400
DVD – плеер	120					1	120	1	120
Аудиоплеер	100	1	100			1	100		
Посудомоечная машина	1500	1	1500			1	1500		
Стир. машина	500					1	500		
Электроплита	1500	1	1500			1	1500		
Микроволновая печь	1500	1	1500						
Пылесос	1300					1	1300		
Факс-аппарат	100	1	100	1	100			1	100
Лампочка	100	6	600	1	100	10	1000	3	300
Холодильник	500	1	500	1	500	1	500	1	500
Люстра	400	1	400			1	400		
Электрочайник	2000	1	2000			1	2000		
Синтезатор	100					1	100		
Утюг	1800	1	1800						
Кофеварка	1200	1	300						
Миксер	200					1	200		
Тостер	300	1	300						
Фен	200	1	200						
Телефонный аппарат	20	1	20	1	20	1	20	1	20
Сигнализация	20	1	20	1	20	0	0	1	20
Другие приборы	1000	1	1000			1	1000		
Обогреватель пола	300	1	300	1	300	1	300	1	300
Система обогрева дома	300	1	300	1	300	1	300	1	300

Таблица П.1.2 – Данные для построения графика нагрузок

Электроприборы	Мощность, Вт	утро (6-12)			день (12-18)			вечер (18-24)			ночь (0-6)		
		утро (6-12)		Итого	день (12-18)		Итого	вечер (18-24)		Итого	ночь (0-6)		Итого
		к-во	мощн., Вт	мощн., Вт	к-во	мощн., Вт	мощн., Вт	к-во	мощн., Вт	мощн., Вт	к-во	мощн., Вт	мощн., Вт
Телевизор	300	1	300		0	0	0	2	600	1200	0	0	0
Компьютер	400	0	0	0	0	0	0	1	400	400	1	400	400
Посудомоечная машина	1500	1	1500	1500	0	0	0	1	1500	1500	0	0	0
Стир. машина	500	0	0	0	0	0	0	1	500	500	0	0	0
Микроволновая печь	1500	1	1500	1500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Пылесос	1300	0	0	0	0	0	0	1	1300	1300	0	0	0
Холодильник	500	1	500	500	1	500	500	1	500	500	1	500	500
Утюг	1800	1	1800	1800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кофеварка	1200	1	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Тостер	300	1	300	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Фен	200	1	200	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сигнализация	20	1	20	20	1	20	20	0	0	0	1	20	20
Другие приборы	1000	1	1000	1000	0	0	0	1	1000	1000	0	0	0
Итого	15880		11940			1340	0		11960			2060	0
Итого по часам				7840			520			6400			920

Таблица П.1.3 – Модельный ряд инверторов (UPS) 1000-5000 кВА

Модель инвертора	SKN(z)- 1000	SKN(z)- 2000	SKN(z)- 3000	SKN(z)- 4000	SKN(z)- 5000
Входное напряжение, В	170-270	170-270	170-270	170-270	170-270
Мощность продолжительная, ВА	1000	2000	3000	4000	5000
Мощность продолжительная, Вт	700	1400	2100	2800	3500
Мощность пиковая, Вт	2100	4200	6300	8400	10500
Выходное напряжение	220±2%	220±2%	220±2%	220±2%	220±2%
Частота, Гц	50	50	50	50	50
Форма выходного напряжения	чистая синусоида				
Время переключения	<4 мс	<4 мс	<4 мс	<4 мс	<4 мс
Электронная защита	от высокого напряжения сети, перегрузки, короткого замыкания, перегрева				
КПД	90%	90%	90%	90%	90%
Рекомендуемые аккумуляторы	Panasonic LC-XB12120 – герметизированный, необслуживаемый, 120 Ач				
Количество аккумуляторов, шт	1/2	2/4	4	4	4
Напряжение аккумуляторной батареи, В	12/24	24/48	48	48	48
Зарядный ток, А	1-15	1-15	1-15	1-15	1-15
Защита аккумулятора:	от переразряда, от перезаряда				
Габариты инвертора, мм	150×710×215	-	-	-	-
Вес инвертора, кг	15	-	-	-	-
Габариты комплекта, мм	600×400×900				
Вес комплекта UPS+батарея +Panasonic+стеллаж, кг	62/99	104/178	185	189	194
Стоимость инвертора (без аккумуляторов), руб.	13500	22500	34000	-	48500

Таблица П.1.4 – Технические характеристики солнечных модулей

Характеристики солнечных модулей	Тип модуля					
	М 30/12	М 85/40	MSW 100/50-12	MSW 120/60-12	MSW 150/75-24	MSW 175/80-24
Пиковая мощность, Вт	30	85	100	120	150	175
Номинальное напряжение, В	12	12	12	12	24	24
Напряжение в точке максимальной мощности, В	17	17	17	17	34	34
Ток в точке максимальной мощности, А	1,77	1,77	5,8	7	4,4	4,4
Напряжение холостого хода, В	21	21	21	21	42	42
Ток короткого замыкания, А	2	2	7	8,4	5,3	5,3
Размеры, мм	630×600×28	650×960×32	680×1330×40	1415×695×42	810×1580×40	810×1580×40
Вес, кг	4,6	7	10	11,5	17	17
Цена, руб.	5450	15500	18200	21800	27300	31900

Таблица П.1.5 – Сечение кабеля (мм²) от инвертора до АБ

Мощность инвертора, Вт	Напряжение АБ, В		
	12	24	48
150	10	6	-
250	16	6	-
500	35	10	-
1000	50	25	-
1500	50	35	-
2000	70	50	-
2500	95	70	50
3000	-	95	50
3500	-	95	70
4500	-	-	70

Таблица П.1.6 – Максимальная длина кабеля (в метрах) от источника энергии до потребителя при падении напряжения меньше 2% для систем 12 В

Ток, А	Сечение кабеля, мм ²											
	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	75	100
1	7	10,91	17,65	28,57	42,86	70,6	109,1	176,5	244,9	-	-	-
2	3,53	5,45	8,82	14,29	21,4	35,3	54,5	88,2	122,4	171,4	-	-
4	1,76	2,73	4,41	7,14	10,7	17,6	27,3	44,1	61,2	85,7	130,4	-
6	1,18	1,82	2,94	4,76	7,1	11,7	18,2	29,4	40,8	57,1	87	117
8	0,71	1,36	2,2	3,57	5,4	8,8	13,6	22	30,6	42,9	65,25	88
10	-	1,0	1,76	2,86	4,3	7,1	10,9	17,7	24,5	34,3	52,2	70
15	-	0,73	1,18	1,9	2,9	4,7	7,3	11,8	16,3	22,9	34,8	47
20	-	-	0,88	1,43	2,1	3,5	5,5	8,8	12,2	17,1	26,1	35
25	-	-	-	1,14	1,7	2,8	4,4	7,1	9,8	13,7	20,9	28
30	-	-	-	-	1,4	2,4	3,6	5,9	8,2	11,4	17,4	23
40	-	-	-	-	-	1,8	2,7	4,4	6,1	8,5	13	17
50	-	-	-	-	-	-	2,2	3,5	4,9	6,9	10,4	14
100	-	-	-	-	-	-	-	1,7	2,4	3,4	5,2	7,1
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	3,5	4,4
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	3,5

Таблица П.1.7 – Удельное сопротивление и сечение провода

Сечение провода, мм ²	Максимальный допустимый ток, А		Удельное сопротивление на жилу, Ом/м
	Количество проводов в кабеле		
	2-жильный	3-жильный	
1,0	11	9	0,018
1,5	13	12	0,012
2,5	18	16	0,0074
4,0	24	22	0,0047
6,0	30	27	0,0031
10,0	40	37	0,0018
16,0	53	47	0,0012
25,0	60	53	0,00073
35,0	74	65	0,00049

Приложение 2

Таблица П.2.1 – Значение коэффициентов a , b , S_0 для Челябинской области

Величина	Месяц					
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
a	0,15	0,14	0,20	0,17	0,12	0,10
b	0,18	0,41	0,40	0,45	0,54	0,54
S_0	8	10	12	14	16	16
Величина	Месяц					
	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
a	0,18	0,11	0,14	0,19	0,16	0,13
b	0,40	0,48	0,44	0,44	0,42	0,32
S_0	16	14	12	10	8	8

Таблица П.2.2 – Среднее значение величины S для различных районов Челябинской области

Номер района. Характерные населенные пункты	Величина S , ч для месяца					
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
1	2	3	4	5	6	7
1. Бреды, Кизильское, Карталы	3,5	4,8	6,2	8,1	9,4	10,4
2. Агаповка, Варна, Троицк, Октябрьское	3,1	4,5	5,8	7,8	9,2	10,3
3. Верхнеуральск, Чесма, Пласт, Еткуль, Увельское	2,8	4,5	5,4	7,4	8,8	9,8
4. Чебаркуль, Аргаяш, Челябинск, Кунашак, Миасское	2,5	4,2	5,2	7,4	8,6	9,6
5. Нязепетровск, Кыштым, Верхний Уфалей	2,2	5,2	7,3	8,6	9,4	9,0
Номер района. Характерные населенные пункты	Величина S , ч. для месяца					
	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
1. Бреды, Кизильское, Карталы	10,5	9,5	6,8	4,3	3,0	2,5
2. Агаповка, Варна, Троицк, Октябрьское	10,3	8,9	6,4	3,8	2,9	2,5
3. Верхнеуральск, Чесма, Пласт, Еткуль, Увельское	9,9	8,4	6,30	3,5	2,6	2,0

1	2	3	4	5	6	7
4. Чебаркуль, Аргаяш, Челябинск, Кунашак, Миасское	9,4	7,9	5,6	3,4	2,2	1,9
5. Нязепетровск, Кыштым, Верхний Уфалей	9,0	7,5	5,3	2,9	2,0	1,8

Таблица П.2.3 – Отношение среднемесячных дневных приходов суммарной радиации на наклонную и горизонтальную поверхности, R

φ ,град/месяц	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
10	1,07	1,02	1	1,01	1,04	1,11	1,21
15	1,1	1,02	1	1,01	1,06	1,15	1,31
20	1,12	1,02	0,99	1	1,07	1,19	1,4
25	1,14	1,02	0,98	1	1,08	1,23	1,48
30	1,16	1,01	0,96	0,98	1,08	1,25	1,56

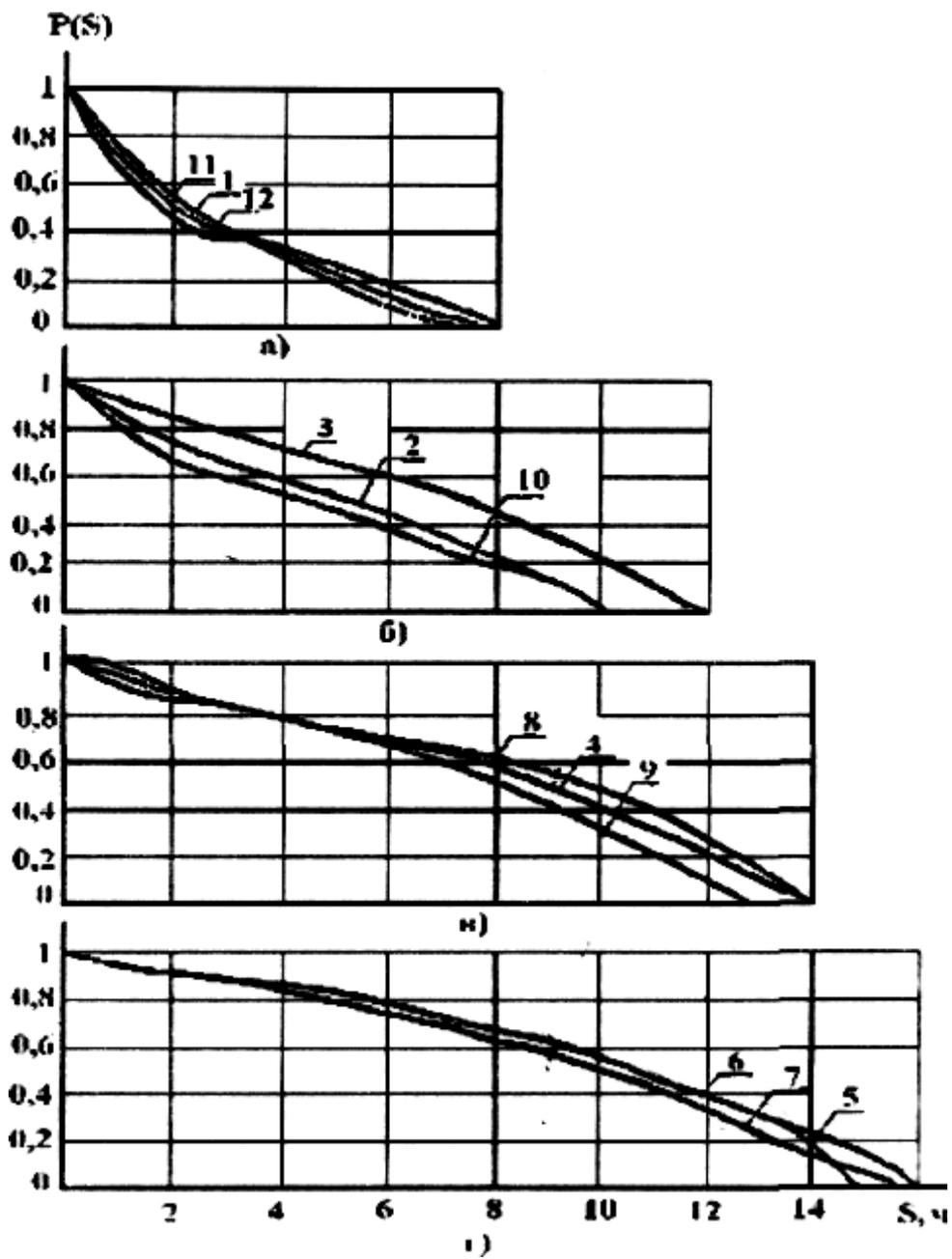


Рисунок П.2.1 – Вероятность продолжительности солнечного сияния

Приложение 3

Таблица П.3.1 – Значения среднемесячной и годовой скорости ветра $\langle v_i \rangle$, м/с (Костромской район)

Годы	Месяцы												год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2007	11,0	10,1	8,5	8,4	6,8	7,0	5,7	6,7	7,8	9,3	9,8	10,7	9,06
2008	10,1	9,8	8,8	8,5	7,1	6,5	5,5	6,4	8,0	9,5	9,6	10,3	8,34
2009	9,8	9,8	9,0	8,9	6,9	6,6	5,5	6,8	7,4	9,6	9,8	11,0	7,63
2010	9,9	10,2	9,1	8,8	7,2	6,9	6,0	6,5	7,6	9,1	9,9	10,5	8,47
2011	10,4	10,0	9,0	8,2	7,0	6,4	5,8	6,3	7,5	8,9	9,0	9,7	8,18
2012	10,0	9,4	8,8	8,5	6,7	6,3	5,4	6,4	7,6	9,4	9,3	10,2	8,17
2013	11,2	9,7	8,6	8,5	6,7	6,5	5,5	6,9	7,4	9,6	10,0	10,2	8,40
2014	9,8	10,0	8,5	9,0	6,9	6,9	5,1	6,7	7,7	9,0	10,1	10,9	8,38

Таблица П.3.2 – Отношение (%) средних значений скоростей ветра \bar{v}_h / \bar{v}_{10} и коэффициентов вариации c_{vh} / c_{v10} на высоте h и на уровне 10 м над землей в зависимости от номера зоны

$h, \text{ м}$		5	10	20	30	40	50
\bar{v}_h / \bar{v}_{10} , для ветровой зоны	1	96	100	106	110	112	114
	2	93	100	109	116	120	123
	3	89	100	114	123	130	137
	4	84	100	120	135	146	156
	5	78	100	128	150	168	183
	6	71	100	139	170	197	219
c_{vh} / c_{v10}		109	100	92	85	78	73

Таблица П.3.3 – Значения \bar{V}_n^3 ($\text{м}^3/\text{с}^3$) при различных коэффициентах вариации

$c_v=0,40\dots 0,60$

\bar{v} , м/с	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61
3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	74
3,4	-	-	-	-	-	-	-		81	84	89
3,6	-	-	-	-	-	-	-	92	95	101	105
3,8	-	-	-	-	-	-	103	108	112	118	124
4,0	-	-	-	-	-	116	120	126	131	138	145
4,2	-	-	-	-	128	134	139	146	152	159	167
4,4	-	-	-	142	148	154	160	168	175	184	193
4,6	-	-	156	162	168	176	183	192	199	210	220
4,8	-	170	177	184	192	200	208	218	227	238	250
5,0	186	193	200	208	216	226	235	246	256	269	282
5,2	209	217	225	234	244	254	264	277	288	302	317
5,4	234	243	252	262	273	284	296	310	322	339	356
5,6	261	271	281	292	304	317	330	346	360	378	397
5,8	290	301	312	324	338	352	367	384	400	420	441
6,0	321	333	346	359	374	390	406	424	443	465	448
6,2	354	368	382	397	413	430	448	469	448	513	538
6,4	389	404	420	436	454	474	493	517	537	564	592
6,6	427	443	460	479	498	519	540	566	589	619	649
6,8	467	485	504	523	545	568	591	620	644	676	711
7,0	510	529	549	571	594	619	645	676	702	738	775
7,2	554	576	598	621	647	674	702	736	765	803	844
7,4	602	625	648	674	702	732	762	798	830	872	915
7,6	652	677	703	731	761	793	825	865	899	945	991
7,8	705	732	759	790	823	857	893	935	972	1022	1072
8,0	760	790	820	852	887	924	963	1009	1049	1102	1156
8,2	819	850	882	917	956	996	1037	1084	1130	1187	1246
8,4	880	914	949	987	1027	1070	1115	1168	1214	1276	1338
8,6	945	981	1019	1059	1102	1149	1196	1254	1302	1370	1437
8,8	1012	1051	1091	1134	1182	1230	1282	1342	1396	1467	1539
9,0	1083	1125	1167	1214	1263	1316	1371	1437	1494	1570	1648
9,2	1156	1201	1246	1296	1350	1405	1465	1534	1595	1676	1759
9,4	1233	1281	1330	1383	1439	1499	1562	1637	1702	1789	1876
9,6	1314	1365	1416	1472	1534	1598	1664	1744	1812	1904	1999
9,8	1397	1452	1507	1567	1630	1699	1771	1854	1929	2027	2126
10,0	1485	1543	1602	1664	1733	1806	1881	1971	2048	2152	2260

$c_v=0,60...0,80$

\bar{v} , м/с	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
2,0	-	-	-	-	-	23	24	25	26	27	29
2,2	-	-	-	-	29	31	32	33	35	36	39
2,4	-	-	-	36	38	40	41	43	45	47	50
2,6	-	-	44	46	48	50	53	55	57	60	64
2,8	-	52	55	57	60	63	66	69	71	75	80
3,0	61	64	67	71	74	77	81	85	88	93	98
3,2	74	78	82	86	90	94	98	103	106	112	119
3,4	89	94	98	103	108	112	117	123	128	135	143
3,6	105	111	117	122	128	134	139	146	152	160	170
3,8	124	131	137	143	150	157	164	172	179	188	200
4,0	145	152	160	167	176	183	191	201	208	220	232
4,2	167	176	186	194	203	212	221	232	241	254	269
4,4	193	203	213	223	234	244	255	267	277	292	310
4,6	220	232	244	254	267	278	291	305	317	334	354
4,8	250	263	277	289	303	316	331	345	360	380	402
5,0	282	298	312	327	343	357	374	392	460	429	455
5,2	317	335	352	368	386	403	420	441	458	483	511
5,4	356	375	394	412	432	451	471	493	512	541	573
5,6	397	418	439	459	482	503	525	550	572	603	638
5,8	441	465	488	510	536	559	584	612	636	670	710
6,0	488	514	541	565	593	618	646	677	703	742	785
6,2	538	567	596	624	654	682	713	748	776	818	867
6,4	592	624	655	686	719	750	784	822	854	900	952
6,6	649	684	720	752	789	823	860	902	936	988	1045
6,8	711	748	787	823	864	900	941	985	1024	1079	1142
7,0	775	817	858	898	942	982	1026	1075	1116	1178	1247
7,2	844	888	933	976	1025	1068	1117	1170	1215	1282	1356
7,4	915	965	1014	1060	1112	1160	1212	1271	1320	1391	1473
7,6	991	1045	1098	1148	1205	1256	1313	1377	1430	1508	1595
7,8	1072	1130	1186	1242	1302	1358	1420	1488	1544	1630	1725
8,0	1156	1220	1281	1340	1405	1465	1532	1606	1666	1758	-
8,2	1246	1313	1379	1442	1514	1577	1650	1728	1795	1894	-
8,4	1338	1400	1482	1550	1628	1696	1774	1858	1928	-	-
8,6	1437	1515	1592	1665	1747	1819	1903	1994	2072	-	-
8,8	1539	1622	1705	1783	1871	1951	2039	2137	-	-	-
9,0	1648	1735	1823	1907	2001	2087	2179	2286	-	-	-
9,2	1759	1854	1949	2037	2137	2229	2330	-	-	-	-
9,4	1876	1977	2078	2172	2280	2378	2483	-	-	-	-
9,6	1999	2107	2213	2315	2428	2533	-	-	-	-	-
9,8	2126	2244	2354	2463	2585	2694	-	-	-	-	-
10,0	2226	2380	2502	2612	2746	-	-	-	-	-	-

$$c_v = 0,80 \dots 1,00$$

\bar{v} , M/c	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
2,0	29	30	32	34	36	38	39	41	43	46	48
2,2	39	40	42	45	47	50	52	54	57	61	64
2,4	50	53	55	58	61	65	68	70	74	79	83
2,6	64	67	70	74	78	82	86	90	94	100	105
2,8	80	83	88	92	97	103	107	112	117	125	132
3,0	98	103	108	114	120	127	132	138	144	154	162
3,2	119	124	131	138	145	154	160	167	174	187	197
3,4	143	150	157	165	174	184	192	200	210	225	236
3,6	170	177	186	196	207	219	228	238	249	267	280
3,8	200	208	219	230	243	258	269	280	292	313	329
4,0	232	244	255	269	284	301	313	327	341	365	-
4,2	269	282	296	312	329	348	362	378	395	424	-
4,4	310	324	340	358	378	400	416	435	454	-	-
4,6	354	370	389	409	432	457	476	496	519	-	-
4,8	402	420	441	465	491	520	541	564	-	-	-
5,0	455	476	500	525	555	588	611	637	-	-	-
5,2	511	535	562	591	624	660	687	-	-	-	-
5,4	573	600	629	661	699	739	770	-	-	-	-
5,6	638	668	701	738	779	825	-	-	-	-	-
5,8	710	742	780	819	866	917	-	-	-	-	-
6,0	785	822	863	908	956	-	-	-	-	-	-
6,2	867	906	952	1002	1058	-	-	-	-	-	-
6,4	952	996	1046	1102	-	-	-	-	-	-	-
6,6	1045	1094	1149	1208	-	-	-	-	-	-	-
6,8	1142	1196	1256	-	-	-	-	-	-	-	-
7,0	1247	1305	1369	-	-	-	-	-	-	-	-
7,2	1356	1420	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,4	1473	1543	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,6	1595	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,8	1725	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица П.3.4 – Значение неполной гамма-функции $[I(x, t), \%$] в зависимости от $\nu/\bar{\nu}$

$$c_\nu = 0,40 \dots 0,60$$

$\nu/\bar{\nu}$	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60
0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
0,55	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
0,6	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3
0,65	2,8	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7
0,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,4	2,4	2,2	2,2
0,75	4,4	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	2,6
0,8	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1
0,85	7,4	7,0	6,7	6,3	6,0	5,6	5,3	5,0	4,8	4,4	4,2
0,9	9,8	9,2	8,6	8,1	7,6	7,2	6,7	6,3	6,2	5,6	5,2
0,95	12,2	11,4	10,6	9,9	9,2	8,7	8,1	7,6	7,6	6,7	6,2
1,0	14,5	13,5	12,6	11,7	10,9	10,2	9,5	8,9	8,3	7,8	7,3
1,05	18,6	17,4	16,2	15,0	13,9	12,9	12,0	11,2	10,4	9,6	9,0
1,1	22,6	21,2	19,7	18,2	16,9	15,6	14,4	13,4	12,4	11,5	10,6
1,15	26,7	25,0	23,2	21,5	19,9	18,3	16,9	15,6	14,4	13,4	12,3
1,2	30,8	28,8	26,8	24,8	22,9	21,1	19,4	17,9	16,5	15,2	14,0
1,25	36,0	33,6	31,3	29,0	26,9	24,7	22,7	21,0	19,3	17,8	16,3
1,3	41,1	38,4	35,8	33,2	30,9	28,3	26,0	24,0	22,1	20,3	18,6
1,35	46,2	43,2	40,3	37,4	34,7	31,9	29,4	27,0	24,9	22,8	20,9
1,4	51,4	48,1	44,8	41,6	38,5	35,5	32,7	30,1	27,7	25,4	23,2
1,45	56,4	52,8	49,1	45,7	42,4	39,4	36,4	33,6	31,0	28,4	26,0
1,5	61,8	57,4	53,4	49,8	46,4	43,2	40,1	37,0	34,2	31,4	28,7
1,55	66,0	62,0	58,2	54,4	50,7	47,1	43,8	40,5	37,4	34,4	31,4
1,6	71,2	67,2	63,0	59,0	55,0	51,0	47,5	44,0	40,6	37,3	34,2
1,65	74,5	70,2	65,0	62,0	58,5	54,6	51,0	47,4	43,8	40,4	37,0
1,7	78,0	73,8	69,8	65,8	61,8	58,1	54,4	50,7	47,0	43,4	39,9
1,75	-	77,3	73,3	69,3	65,4	61,5	57,8	54,0	50,3	46,5	42,8
1,8	-	-	-	-	69,2	65,1	61,3	57,4	53,5	49,6	45,8
1,85	-	-	-	-	-	68,0	63,8	59,8	56,0	52,4	48,5
1,9	-	-	-	-	-	-	-	62,8	58,8	55,1	51,4
1,95	-	-	-	-	-	-	-	-	61,8	57,7	54,2

$c_v, 0,60 \dots 0,80$

v/\bar{v}	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80
0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,55	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
0,6	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
0,65	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
0,7	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2
0,75	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
0,8	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7
0,85	4,2	3,9	3,6	3,4	3,1	3,0	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2
0,9	5,2	4,8	4,6	4,2	4,0	3,7	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
0,95	6,2	5,8	5,5	5,1	4,8	4,4	4,1	4,9	3,6	3,4	3,1
1,0	7,3	6,8	6,4	6,0	5,6	5,2	4,8	4,5	4,2	3,9	3,6
1,05	9,0	8,3	7,8	7,2	6,8	6,3	5,8	6,4	5,1	4,8	4,4
1,1	10,6	9,8	9,2	8,5	7,9	7,4	6,8	5,4	6,0	5,6	5,2
1,15	12,3	11,4	10,6	9,8	9,0	8,4	7,8	7,4	6,8	6,4	6,0
1,2	14,0	12,9	11,9	11,0	10,2	9,5	8,9	8,3	7,7	7,2	6,7
1,25	16,3	15,0	13,8	12,7	11,8	11,0	10,2	9,5	8,8	8,3	7,7
1,3	18,6	17,0	15,6	14,4	13,4	12,4	11,5	10,7	10,0	9,4	8,7
1,35	20,9	19,1	17,6	16,2	15,0	13,8	12,8	11,9	11,2	10,4	9,7
1,4	23,2	21,2	19,5	17,9	16,5	15,2	14,1	13,1	12,3	11,5	10,7
1,45	26,0	23,8	21,8	20,2	18,6	17,2	16,0	14,8	13,8	13,0	12,0
1,5	28,7	26,3	24,2	22,4	20,6	19,1	17,8	16,5	15,4	14,4	13,3
1,55	31,4	28,8	26,6	24,6	22,7	21,0	19,6	18,2	17,0	15,8	14,6
1,6	34,2	31,4	29,0	26,8	24,8	23,0	21,4	19,9	18,5	17,2	15,9
1,65	37,0	34,1	31,5	29,1	27,0	25,0	23,4	21,8	20,2	18,8	17,4
1,7	39,9	36,8	34,0	31,4	29,1	27,0	25,3	23,7	22,0	20,5	19,0
1,75	42,8	39,6	36,6	33,8	31,2	29,0	27,2	25,5	23,8	22,2	20,5
1,8	45,8	42,3	39,1	36,1	33,4	31,1	29,2	27,3	25,5	23,8	22,0
1,85	48,5	45,0	41,6	38,6	35,7	33,2	31,1	29,0	27,2	25,4	23,6
1,9	51,4	47,7	44,2	41,0	38,0	35,4	33,0	30,8	28,8	27,0	25,2
1,95	54,2	50,4	46,8	43,4	40,3	37,6	35,0	32,6	30,5	28,6	26,8
2	57,0	53,1	49,3	45,8	42,6	39,8	36,9	34,4	32,2	30,2	28,3
2,1	62,1	58,4	54,4	50,6	47,1	44,2	41,4	38,7	36,2	34,0	31,8
2,2	67,6	64,0	60,4	55,5	51,6	48,7	45,8	43,0	44,3	37,7	35,2
2,3	-	-	64,0	60,2	56,6	53,1	50,1	47,1	44,2	41,4	38,8
2,4	-	-	-	64,6	60,7	57,5	54,4	51,3	48,2	45,1	42,3
2,5	-	-	-	-	64,8	61,3	58,2	55,0	51,8	48,7	45,8
2,6	-	-	-	-	-	65,2	61,9	58,6	55,4	52,2	49,4
2,7	-	-	-	-	-	-	65,4	62,0	58,8	55,6	52,6
2,8	-	-	-	-	-	-	-	65,6	62,3	59,1	55,9
2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	65,2	62,0	59,0

$c_v=0,80...1,00$

v/\bar{v}	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
0,50	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,55	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
0,60	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
0,65	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
0,70	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7
0,75	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
0,80	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9
0,85	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2
0,90	2,6	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
0,95	3,1	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,1	2,0	1,8	1,8	1,6
1,00	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9
1,05	4,4	4,1	3,9	3,6	3,4	3,1	2,9	2,7	2,6	2,4	2,2
1,10	5,2	4,8	4,6	4,2	4,0	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6
1,15	6,0	5,6	5,2	4,8	4,6	4,2	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0
1,20	6,7	6,3	5,9	5,5	5,1	4,7	4,4	4,1	3,8	3,6	3,4
1,25	7,7	7,2	6,8	6,3	5,8	5,4	5,1	4,8	4,4	4,2	3,9
1,30	8,7	8,2	7,6	7,1	6,6	6,2	5,8	5,4	5,0	4,7	4,4
1,35	9,7	9,1	8,4	7,9	7,4	7,0	6,5	6,0	5,6	5,2	4,9
1,40	10,7	10,0	9,3	8,7	8,2	7,7	7,2	6,7	6,2	5,8	5,4
1,45	12,0	11,2	10,4	9,8	9,2	8,6	8,0	7,4	6,9	6,5	6,0
1,50	13,3	12,4	11,6	10,8	10,1	9,4	8,8	8,2	7,6	7,2	6,6
1,55	14,6	13,6	12,8	11,8	11,0	10,2	9,6	9,0	8,4	7,8	7,2
1,60	15,9	14,8	13,8	12,9	12,0	11,1	10,5	9,8	9,1	8,5	7,9
1,65	17,4	16,3	15,1	14,2	13,2	12,2	11,4	10,7	10,0	9,2	8,6
1,70	19,0	17,8	16,6	15,4	14,4	13,2	12,4	11,6	10,8	10,0	9,4
1,75	20,5	19,3	18,0	16,7	15,6	14,3	13,4	12,4	11,6	10,8	10,2
1,80	22,0	20,8	19,4	18,0	16,7	15,4	14,3	13,3	12,4	11,6	10,9
1,85	23,6	22,2	20,7	19,3	18,0	16,6	15,4	14,4	13,4	12,5	11,8
1,90	25,2	23,6	22,0	20,6	19,2	17,8	16,6	15,4	14,4	13,4	12,6
1,95	26,8	25,0	23,4	21,8	20,4	19,0	17,8	16,5	15,4	14,4	13,4
2,00	28,3	26,4	24,7	23,1	21,6	20,1	18,9	17,6	16,4	15,3	14,3
2,1	31,8	29,7	27,8	26,0	24,4	22,6	21,4	20,0	18,6	17,4	16,2
2,2	35,2	33,0	30,9	29,9	27,2	25,2	23,9	22,3	20,9	19,5	18,1
2,3	38,8	36,4	34,1	32,0	30,0	27,8	26,3	24,6	23,0	21,6	20,1
2,4	42,3	39,7	37,3	35,9	32,3	30,5	28,7	26,9	25,2	23,5	22,1
2,5	45,8	43,2	40,6	38,0	35,7	33,4	31,4	29,4	27,6	25,8	24,2
2,6	49,6	46,6	43,8	41,1	38,6	36,3	34,1	32,0	30,0	28,1	26,4
2,7	52,6	49,8	47,0	44,2	41,5	38,9	36,8	34,6	32,6	30,5	28,6
2,8	55,9	53,0	50,1	47,2	44,4	41,6	39,5	37,3	25,1	32,9	30,8
2,9	59,0	56,0	53,0	50,1	47,2	44,4	42,1	39,8	37,4	35,2	33,0
3,0	62,4	58,9	55,9	53,0	49,9	47,1	44,4	42,2	39,8	37,5	35,3

Приложение 4

Таблица П.4.1 – Значения коэффициентов ξ местных сопротивлений элементов систем отопления

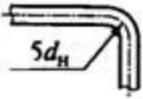
Элементы	Схематическое изображение элемента	ξ
Отвод с радиусом закругления $r = 5dH$		0,3...0,5
Тройник:		
на проход		0,5
на ответвление		1,5
на слияние		1,5
на разделение потока		3,0
Крестовина:		
на проход		2,0
на ответвление		3,0
Отступ		0,5
Обход		1,0

Таблица П.4.2 – Сравнительные характеристики циркуляционных насосов для систем отопления

Производитель	Название модели	Напор, м	Подача, м ³ /ч	Потребляемая мощность, Вт	Стоимость, €
GRUNDFOS	UPS 25-60	6	3,8	90	130
	Alpha 25-60	6	3,8	90	170
	UPE 25-60	6	3,3	100	242
WILO	Star RS 25/6	6	3,5	99	122
	Top-E25/1-7	7	6,4	200	521
DAB	VA 25/180	2,5	3	55	76
	VEA 55/180	5,2	3	91	82
NOCCI PUMPS	R2S 25-70	7	4,8	140	129
KSB	Rio 25-7	7	7,2	140	235
VORTEX	HZ 401-25	4	3,2	78	75
WESTER LINE	WP 425	4	2,3	78	62

Таблица П.4.3 – Сравнительные характеристики циркуляционных насосов для систем горячего водоснабжения

Производитель	Название модели	Напор, м	Подача, м ³ /ч	Потребляемая мощность, Вт	Стоимость, €
GRUNDFOS	UP 15-14 B Comfort	1,4	0,73	25	113
	UP 20-30 N	3	2,7	95	214
	UPS 25-60 B	6	3,7	90	283
WILO	Wilo Star-Z 15 C	1,24	0,46	28	177
	Wilo Star-Z 20/1	1,7	1,1	38	147
DAB	VS 16/150	1,5	1,8	48	135
NOCCI PUMPS	R2X 20-00	3	2,4	87	184
VORTEX	BW 401	4	3,2	78	220