

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
для практических занятий по дисциплине  
"Альтернативные источники энергии"  
(для студентов очной и заочной форм обучения  
направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» магистерской программы  
«Промышленная теплотехника»)

Донецк-2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОФИЗИКА»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
для практических занятий по дисциплине  
"Альтернативные источники энергии"  
(для студентов очной и заочной форм обучения  
направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» магистерской программы  
«Промышленная теплотехника»)

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
технической теплофизики  
Протокол №12 от 31.05.2018 г.

УДК 669: 532.516.13

Рецензент:

Гридин Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУВПО «ДОННТУ».

Составители:

Туяхов Анатолий Иванович – профессор кафедры технической теплофизики ГОУВПО «ДОННТУ»;

Гнитиёв Павел Александрович – доцент кафедры технической теплофизики ГОУВПО «ДОННТУ».

Методические указания для практических занятий по дисциплине "Альтернативные источники энергии" [Электронный ресурс] для студентов для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» магистерской программы «Промышленная теплотехника» / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. технической теплофизики; сост. А.И. Туяхов П.А. Гнитиёв – Донецк: ДОННТУ, 2018. – Систем. требования Acrobat Reader.

Методические рекомендации содержат методику расчета эффективности использования новых энергосберегающих, экологически чистых разработок в различных тепловых и теплоэнергетических агрегатах. Методические указания помогут студентам углубить теоретические знания и получить необходимые практические навыки.

УДК 669: 532.516.13

**СОДЕРЖАНИЕ**

Расчетная работа №1 .....	.
Расчетная работа №2 .....	.
Расчетная работа №3 .....	.
Расчетная работа №4 .....	.
Расчетная работа №5 .....	.
Расчетная работа №6 .....	.
Расчетная работа №7 .....	.
Расчетная работа №8 .....	.
Расчетная работа №9 .....	.
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	.....
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	.....

## Расчетная работа №1 «Расчет солнечной водонагревательной установки»

Рассчитать поверхность коллектора солнечной водонагревательной установки сезонного действия в течение мая, июня, июля, августа и сентября для пансионата в пос. "Ялта" в районе Мариуполя для работы душевой установки на 100 человек.

### ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА:

$t_{г.в.} = 50^{\circ}\text{C}$  – температура нагревания воды в коллекторе солнечной энергии (КСЭ);

$t_{х.в.} = 20^{\circ}\text{C}$  – температура холодной воды, которая находится в КСЭ;

$\varphi = 44^{\circ}$  с.ш. – географическая широта пос. Ялта;

$N$  – число отдыхающих пансионата,  $N = 100$  чел.;

$n$  – число дней работы пансионата в сезоне.

Солнечную водонагревательную установку рассчитать без дублера, т.е. без дополнительного источника тепла, так как не предъявляются жесткие требования по бесперебойному снабжению горячей водой, например, в летних душевых, пансионатах, лагерях и т.п.

### РАСЧЕТ

1. Требуемый расход тепла на горячее водоснабжение душевой установки за расчетный период:

$$Q_{г.в.} = 1,2 \cdot a \cdot c \cdot (t_{г.в.} - t_{х.в.}) \cdot N \cdot n, \quad (1)$$

где,  $a$  – расход горячей воды на 1 человека в день.

Принимаем,  $a = 120$  л/чел·день;

$c = 4,19$  кДж/(кг·К) – теплоемкость воды;

$n = 31 + 30 + 31 + 31 + 30 = 153$  дня.

$Q_{г.в.} = 1,2 \cdot 120 \cdot 4,19 \cdot (50 - 20) \cdot 100 \cdot 153 = 27,7 \cdot 10^7$  кДж/сезон = 277 ГДж/сезон.

2. Определение дня поступления суммарной (прямой + рассеянной)  $E$  и рассеянной  $E_p$  солнечной энергии. По данным метеонаблюдений Государственной метеослужбы в таблице 1.1 представлены данные по  $E$  и  $E_p$  для географического места поселка Ялта [1].

Таблица 1.1 - Дневное поступления суммарной  $E$  и рассеянной  $E_p$  солнечной радиации для пос. Ялта по месяцам [МДж / (м<sup>2</sup>· день)]

Показатель	V	VI	VII	VIII	IX
$E$	20,52	22,66	23,62	20,79	16,96
$E_p$	8,1	7,78	6,68	6,34	5,28

3. Определение поступления суммарной солнечной энергии за сезон, МДж/м<sup>2</sup>·месяц ( $E^{сез}$ ):

Май:  $20,52 \cdot 31 = 636,1$  МДж/(м<sup>2</sup>·мес);  
 Июнь:  $22,66 \cdot 30 = 679,8$  МДж/(м<sup>2</sup>·мес);  
 Июль:  $23,62 \cdot 31 = 732,8$  МДж/(м<sup>2</sup>·мес);  
 Август:  $20,79 \cdot 31 = 644,5$  МДж/(м<sup>2</sup>·мес);  
 Сентябрь:  $16,96 \cdot 30 = 508,8$  МДж/(м<sup>2</sup>·мес);

Полученные данные характеризуют количество солнечной энергии, падающей на 1м<sup>2</sup> горизонтальной плоской поверхности.

Для получения максимального количества солнечной энергии плоская поверхность КСЭ должна находиться под определенным углом к плоскости земной поверхности (к горизонту). По практическим данным оптимальный угол наклона солнечного коллектора к горизонту составляет:

$\beta = \varphi + 15^\circ$  – для систем отопления;

$\beta = \varphi$  – для систем горячего водоснабжения круглогодичного действия;  $\beta$

$= \varphi - 15^\circ$  – для систем сезонного (летнего) действия.

Для данной задачи  $\beta = \varphi - 15^\circ = 29^\circ$ . Поэтому необходимо сделать перерасчет для наклонной поверхности, вводя коэффициент  $R$ .

4. Определение поправочного коэффициента пересчета количества солнечной энергии с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность солнечного коллектора с южной ориентацией.

Коэффициент  $R$  равна сумме трех составляющих, соответственно прямого, рассеянного и отраженного солнечного излучения:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_{\Pi} + \frac{E_p}{E} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right), \quad (2)$$

где  $E_p$  - среднемесячная дневная количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность (таблица 1.1);

$E$  - суммарное среднемесячное дневное количество солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность (таблица 1.1);

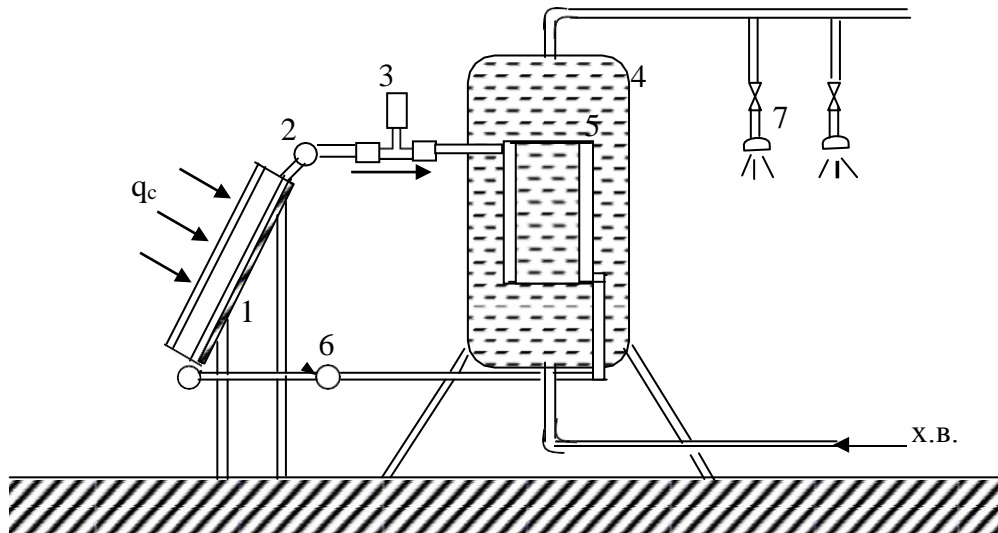
$R_{\Pi}$  - среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

$\rho$  - коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, принятый для расчетов солнечных установок равен 0,7 - для зимы и 0,2 - для лета.

Величина  $R_{\Pi}$  рассчитывается по формуле:

$$R_{\Pi} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin \omega_{3.н.} + \frac{180 + \omega_{3.н.}}{180} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin \omega_{3.н.} + \frac{180 + \omega_{3.н.}}{180} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – отклонение солнца в средний день месяца, град (угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора)



1 - коллектор солнечной энергии (КСЭ) 2 - водяной коллектор;  
3 - расширительный бачок; 4 - бак-аккумулятор; 5 - теплообменник;  
6 - обратный клапан; 7 - душевая установка

Рисунок 1.1 - Солнечная нагревательная установка

Отклонение Солнца  $\delta$  в течение года непрерывно меняется от  $-23^{\circ}27'$  в день зимнего солнцестояния 22 декабря до  $+23^{\circ}27''$  в день летнего солнцестояния 22 июня и равна нулю в дни весеннего и осеннего равноденствия (21 марта и 23 сентября).

Отклонение солнца в данный день года можно определить по формуле:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right), \text{ град;} \quad (4)$$

где  $n$  – порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января.

При расчете солнечных установок в качестве  $n$  обычно берется номер среднего расчетного дня месяца для I-XII месяцев года. В таблице 1.2 приводятся данные  $n$  и  $\delta$  для среднего дня каждого месяца.

Таблица 1.2 - Склонение Солнца для среднего дня каждого месяца года

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$n$	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
$\delta, \text{град}$	-20,9	-13,0	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23,0

Часовой угол  $\omega$ , используемый в формуле (3) - это угол, который лежит в экваториальной плоскости между проекцией радиуса Земли в географической точке солнечной установки и проекцией линии, соединяющей центры Земли и Солнца. Например, угол  $\omega = 0$  в солнечный полдень, в 1 ч дня соответствует  $15^{\circ}$ , в полночь  $180^{\circ}$ . При  $\omega < 90^{\circ}$  он имеет знак «+», а при  $90^{\circ}$  - знак "-"

Часовой угол заката (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности определяется по формуле:

$$\omega_3 = \arccos(-\text{tg}\varphi \cdot \text{tg}\delta), \quad (5)$$



Як годинний кут заходу Сонця для похилої поверхні з південною орієнтацією приймають меншу з двох величин:  $\omega_3$  чи величину  $\omega_{3н}$ , розраховується за формулою:

$$\omega_{3н} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg}\delta], \quad (6)$$

Определим часовой угол для плоской и наклонной поверхности по формулам (5) и (6), используя значения  $\delta$  таблице 1.2, и данные расчета сведем в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 - Расчетные значения  $\omega_3$  и  $\omega_{3н}$  для летних и весенних месяцев года

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
$\omega_3$ , град	110,0	114,5	112,0	103,5	92,2
$\omega_{3н}$ , град	95,5	97,0	96,0	93,5	90,7

Як годинний кут заходу Сонця для розрахунку величини  $R_p$  у формулі (3) для похилої поверхні з південною орієнтацією використовують меншу з двох величин  $\omega_3$  чи  $\omega_{3н}$  таблиці 1.3. Как видно из данных этой таблицы, в формуле (3) надо использовать значение  $\omega_{3н}$ .

Подставим известные и полученные расчетом значения углов в формулу (3) для определения величины  $R_p$ . Данные расчета для каждого месяца сведем в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 - Коэффициент пересчета солнечного излучения для наклонной поверхности КСЭ

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
$R_p$	1,053	1,032	1,041	1,073	1,301

Расчет величины  $R$  с использованием рассчитанных значений  $R_p$  и значений величин  $E_{мес}$  и  $E_p$  ведется по формуле (2), а данные сводятся в таблицу 1.5.

Таблица 1.5 - Коэффициент пересчета значения  $R$

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
$R$	1,023	1,008	1,012	1,042	1,260

5. Расчет дневного поступления суммарной  $E$  к солнечной энергии, падающей на наклонную поверхность солнечной установки за летний сезон:

$$\begin{aligned}
 E_K^{\text{СЕЗОН}} &= E_5 \cdot R_5 + E_6 \cdot R_6 + E_7 \cdot R_7 + E_8 \cdot R_8 + E_9 \cdot R_9 = \\
 &= 636,1 \cdot 1,023 + 679,8 \cdot 1,008 + 732,2 \cdot 1,012 + 644,5 \cdot 1,042 + 508,8 \cdot 1,260 = \\
 &= 3389,6 \text{ МДж/ м}^2 \cdot \text{сезон} = 3,3896 \text{ ГДж/ м}^2 \cdot \text{сезон}
 \end{aligned}$$

6. Расчет площади поверхности коллектора солнечной энергии (КСЭ)

$$F = \frac{Q_{\text{Г.В.}}}{E_K^{\text{СЕЗОН}} \cdot \eta}, \quad (7)$$

где  $\eta$  - коэффициент полезного действия КСЭ.

По опыту эксплуатации КСЭ  $\eta$  стационарных солнечных установок с наклонными плоскими теплоприемниками, ориентированными на юг составляет  $\eta = 0,65 - 0,75$  [1].

Для расчета принимаем  $\eta = 0,70$  и общая площадь поверхности всей установки составит:

$$F = \frac{277}{3,3896 \cdot 0,7} = 116,7 \text{ , м}^2$$

7. Объем водяного аккумулятора теплоты составит:

$$V = V_{\text{уд}} \cdot F, \quad (8)$$

где  $V_{\text{уд}} = 0,05-0,07 \text{ м}^3/\text{м}^2$  для солнечных коллекторов с водяным заполнением [1]. Для расчета принимаем  $V_{\text{уд}} = 0,06$

$$V = 0,06 \cdot 116,7 = 7,0 \text{ м}^3.$$

8. Годовая экономия топлива составит:

$$B = \frac{E_K^{\text{СЕЗОН}} \cdot F}{Q_H^P \cdot \eta_{\text{з.у.}}}, \quad (9)$$

где  $Q_H^P$  - теплота сжигания условного топлива, равна  $29,33 \text{ МДж / кг}$ ;

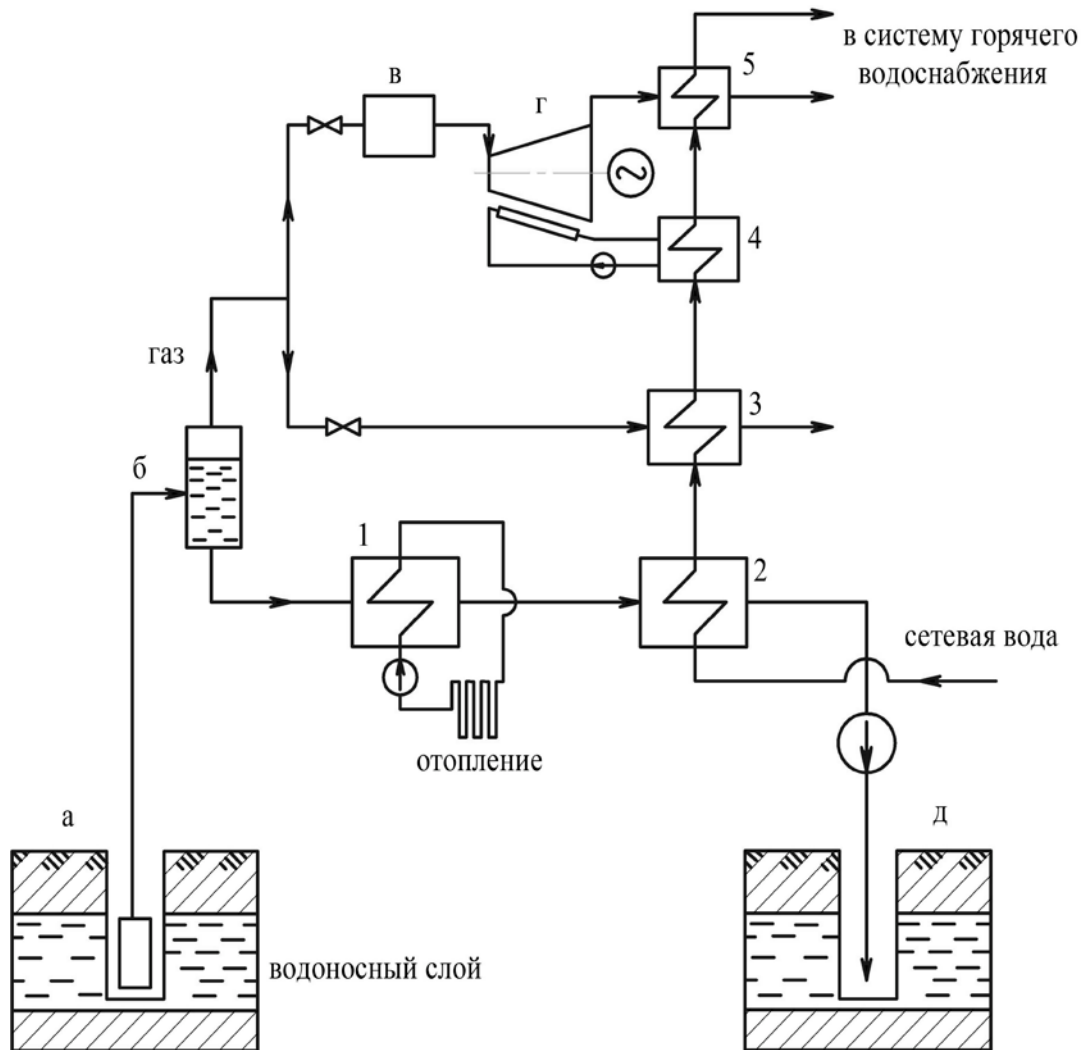
$\eta_{\text{з.у.}}$  - КПД водонагревательной установки, работающей на твердом, жидком или газообразном топливе. Принимаем  $\eta_{\text{з.у.}} = 0,75$

$$B = \frac{3,3896 \cdot 116,7 \cdot 10^3}{29,33 \cdot 0,75} = 17982 \text{ кг/сезон.}$$

Данные для расчета приведены в приложениях А и Б.

**Расчетная работа №2**  
**«Расчет системы когенерационной геотермальной установки»**

Термальные воды отдельных источников, кроме физического тепла нагретой воды, содержат достаточное количество метана (до 97%). На рисунке представлена технологическая схема когенерационной геотермальной установки, в которой используется как физическое тепло термальной воды, так и химическое тепло попутного газа.



а) эксплуатационная скважина; б) сепаратор; в) камера сгорания; г) газотурбинная установка; д) нагнетательная скважина. Теплообменники: 1) системы отопления; 2) системы горячего водоснабжения; 3) газового котла; 4) системы охлаждения газотурбинной установки; 5) системы выхлопных газов.

Рисунок 2.1 – Технологическая схема когенерационной геотермальной установки

### Данные для расчета:

- расчетное оптимальную нагрузку потребителей отопления  $Q_{от} = 717$  кВт
- расход термальной воды  $G_T = 7,5$  кг/с
- температура термальной воды  $t_T = 64$  °C
- объем газа в термальной воде  $V = 1,04$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> воды
- теплотворная способность попутного газа  $Q_{гв}^p = 36,4$  МДж/м<sup>3</sup>
- температура выхлопных газов турбины  $t_T = 120$  °C
- температура сетевой воды на входе  $t_B^{НАЧ} = 15$  °C
- температура нагрева сетевой воды  $t_{ГВ}^{КОН} = 50$  °C
- тепловая мощность системы горячего водоснабжения  $Q_{ГВ} = 200$  кВт

## 1. Расчет системы отопления

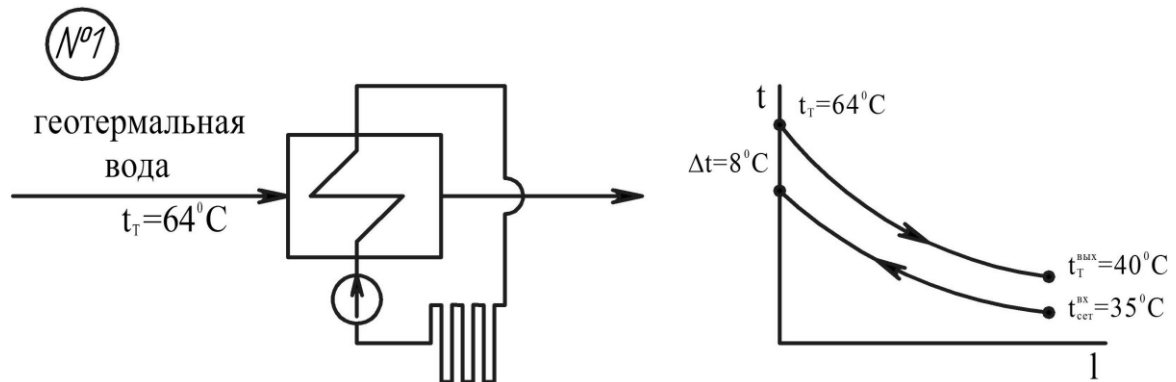


Рисунок 2.2 - Теплообменник №1

1.1. Для системы отопления используется водо-водяной противоточный теплообменник. Для системы отопления минимальная разница температур греющей и нагреваемой воды обычно составляет  $\Delta t = 8$  °C. Тогда минимальная температура нагрева сетевой воды составит:

$$t_{отоп}^{макс} = t_T - \Delta t = 64 - 8 = 56$$
 °C

1.2. С целью уменьшения размеров теплообменника и повышения эффективности его работы принимаем (по эксплуатационным данным) температуру сетевой воды на входе в теплообменник  $t_{сет}^{вх} = 35$  °C. тогда с условия обеспечения отопительной нагрузки  $Q_{от} = 717$  кВт, необходимый расход сетевой воды составит:

$$G_{сет} = \frac{Q_{от}}{C_B (t_{отоп}^{макс} - t_{сет}^{вх})} = \frac{717}{4,19(56 - 35)} = 8,15$$
 кг/с

1.3. Полную производительность теплообменника системы отопления определяем с учетом 5% потерь тепла в окружающую среду:

$$Q'_{от} = 1,05 Q_{от} = 1,05 \cdot 717 = 753$$
 кВт

1.4. Из уравнения теплового баланса определяем температуру геотермальной воды на выходе из теплообменника:

$$Q_{\text{гео}} = Q'_{\text{от}}$$

$$G_{\text{т}} C_{\text{в}} (t_{\text{т}} - t_{\text{т}}^{\text{вых}}) = Q'_{\text{от}}$$

$$\text{Откуда: } t_{\text{т}}^{\text{вых}} = t_{\text{т}} - \frac{Q'_{\text{от}}}{G_{\text{т}} \cdot C_{\text{в}}} = 64 - \frac{753}{7,5 \cdot 4,19} = 64 - 24 = 40^{\circ}\text{C}$$

Далее вода с температурой  $t_{\text{т}}^{\text{вых}} = 40^{\circ}\text{C}$  поступает для дальнейшего нагревания до температуры  $50^{\circ}\text{C}$  для системы горячего водоснабжения..

## 2. Расчет системы горячего водоснабжения

Система нагрева воды на горячее водоснабжение включает четыре теплообменника:

- в системе гидротермального источника (№2)
- в газовом котле (№3)
- в системе охлаждения газотурбинной установки (№4)
- в системе удаления выхлопных газов (№5)

В этих теплообменниках необходимо нагреть воду от  $t_{\text{вх}} = 15^{\circ}\text{C}$  до  $t_{\text{вх}}^{\text{кон}} (t_{\text{вх}}^{\text{вых}}) = 50^{\circ}\text{C}$  по заданию.

2.1 Расход сетевой воды для горячего водоснабжения определится из условия обеспечения заданной тепловой мощности при потреблении горячей

$$\text{воды } G_{\text{гв}} = \frac{Q_{\text{гв}}}{C_{\text{в}} (t_5^{\text{вых}} - t_1^{\text{вх}})} = \frac{200}{4,19(50 - 15)} = 1,37 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

2.2 Общий расход газа с геотермальной скважины:

$$V_{\text{общ}} = v \cdot G_{\text{т}} \cdot 10^{-3} = 1,04 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Этот расход газа распределяем в соотношении: 80% - на работу газотурбинной установки, то есть

$$V_{\text{гту}} = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 = 6,24 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

20% - на работу котельной установки, то есть

$$V_{\text{ку}} = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 = 1,56 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

2.3 Тепловая мощность котельной установки составит:

$$Q_{\text{гту}} = V_{\text{гту}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 6,24 \cdot 10^{-3} \cdot 36,4 \cdot 10^3 = 227,1 \text{ кВт}$$

2.4 Тепловая мощность котельной установки составит:

$$Q_{\text{ку}} = V_{\text{ку}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot 36,4 \cdot 10^3 = 56,8 \text{ кВт}$$

2.5 Размещаемая тепловая мощность утилизатора тепла выхлопных газов газотурбинной установки составит:

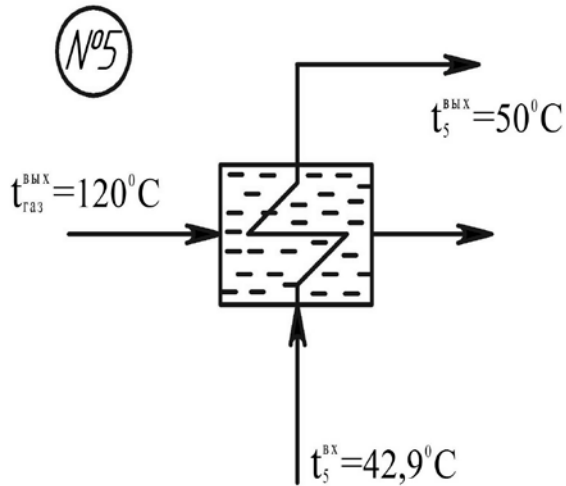
$$Q = V \cdot K \cdot C_{\text{т}} (t_{\text{гту}}^{\text{вых}} - t_{\text{гту}}^{\text{вх}}),$$

Где  $K = 10 \frac{\text{м}^3 \text{ пр.зг.}}{\text{м}^3 \text{ газа}}$  - расход продуктов сгорания при сжигании  $1 \text{ м}^3$  газа;

$C = 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{М}^3}$  - теплоемкость продуктов сгорания;

$t_{\text{ГТУ}}^{\text{ВЫХ}} = 620^\circ\text{C}$  - температура продуктов сгорания на выходе из газотурбинной установки (паспортной характеристики);

$t_{\text{газ}}^{\text{ВЫХ}} = 120^\circ\text{C}$  - принимается температура выхлопных газов на выходе из утилизатора тепла выхлопных газов (№5);



$$Q_{\text{ВЫХ}} = 6,24 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3(620 - 120) = 41 \text{ кВт}$$

2.6 Температура воды на входе в утилизатор тепла №5:

-учитывая, что по заданию необходимая температура подогрева воды для потребителей в системе горячего водоснабжения составляет  $t_{\text{в}}^{\text{кон}} = 50^\circ\text{C}$ , то значит эта температура воды должна быть на входе утилизатора. Отсюда, на входе в утилизатор она составит:

Рисунок 2.3 – Теплообменник №5

$$t_5^{\text{ВХ}} = t_5^{\text{ВЫХ}} - \frac{Q_{\text{ВЫХ}}}{G_{\text{ГВ}} C_{\text{в}}} = 50 - \frac{41}{1,37 \cdot 4,19} = 42,9^\circ\text{C}$$

2.7 Тепловая мощность системы охлаждения газотурбинной установки по паспортным данным составляет 42 кВт, а с учетом 5% потерь тепла в окружающую среду полезная выходная мощность водонагревателя системы охлаждения ГТУ составляет:

$$Q_{\text{ГТУ}}^{\text{охл}} = 42 \cdot 0,95 = 40 \text{ кВт}$$

Определим температуру воды на входе в систему охлаждения двигателя (№4), зная  $Q_{\text{ГТУ}}^{\text{охл}}$  температуру воды на входе в теплообменник №5  $t_{\text{в}}^{\text{вх}} = 42,9^\circ\text{C}$

$$t_4^{\text{ВХ}} = t_4^{\text{ВЫХ}} - \frac{Q_{\text{ГТУ}}^{\text{охл}}}{G_{\text{в}} C_{\text{в}}} = 42,9 - \frac{40}{1,37 \cdot 4,19} = 34,9^\circ\text{C}$$

2.8 Определим температуру воды на входе в газовый котел  $t_3^{\text{вх}}$ , зная тепловую мощность котельной установки  $Q_{\text{кв}} = 56,8 \text{ кВт}$  (Пункт 2.4) и температуру подогрева воды на выходе из котла (№3), равной температуре воды на входе в теплообменник №4 ( $t_3^{\text{ВЫХ}} = t_4^{\text{ВХ}} = 34,9^\circ\text{C}$ )

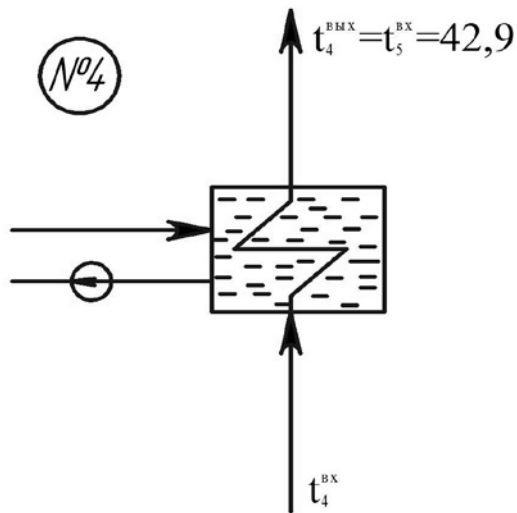


Рисунок 2.4 – Теплообменник №4

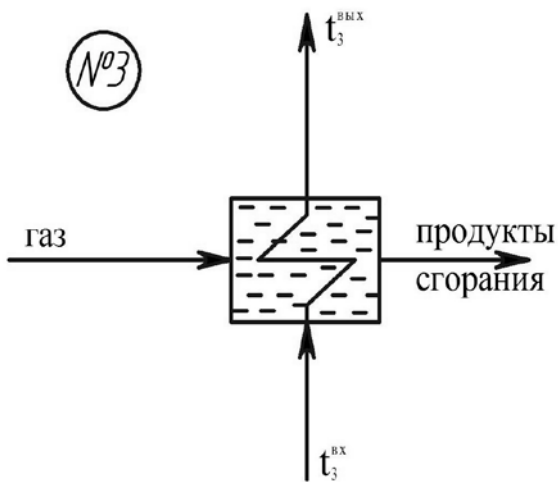


Рисунок 2.5 – Теплообменник №3

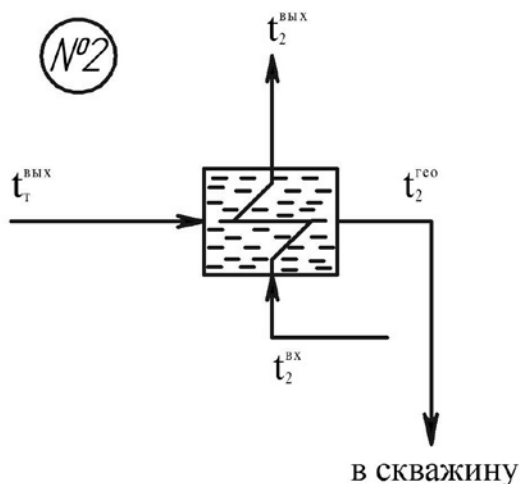


Рисунок 2.6 – Теплообменник №2

$$t_3^{ВХ} = t_3^{ВМХ} - \frac{Q_{ку}}{G_B C_B} = 34,9 - \frac{56}{1,37 \cdot 4,19} = 25,0^\circ\text{C}$$

2.9 определим тепловую мощность теплообменника №2 геотермальные воды в системе горячего водоснабжения

$$Q_{ГВ}^{Гео} = G_B C_B (t_{В3}^{ВХ} - t_{В1}^{ВХ}) = 1,37 \cdot 4,19(25 - 15) = 57,4 \text{ кВт}$$

Чтобы обеспечить температуру подогрева воды на входе в газовый котел  $t_3^{ВХ} = 25^\circ\text{C}$  необходимо покрыть 5% потерь тепла за счет увеличения на 5% тепловой мощности теплообменника №1.

$$\text{Тогда } Q_{ГВ}^{Гео'} = 10,5 \cdot 57,4 = 60,3 \text{ кВт}$$

2.10 определим температуру геотермальной воды на выходе теплообменника №2, зная температуру геотермальной воды на выходе из теплообменника №1  $t_{ВХ}^{ВХ} = 40^\circ\text{C}_T$  (№2) и тепловую мощность теплообменника №2, равную  $Q_{ГВ}^{Гео'} = 60,3 \text{ кВт}$ :

$$t_2^{Гео} = t_T^{ВМХ} - \frac{Q_{ГВ}^{Гео'}}{G_T C_B} = 40 - \frac{60,3}{7,5 \cdot 4,19} = 38,1^\circ\text{C}$$

Итак, термальная вода будет закачиваться в нагнетательную скважину с температурой 38,1 ° С, что позволяет увеличить срок эксплуатации геотермального источника

### 3. Расчет энергетической эффективности геотермального источника:

- коэффициент использования физического тепла термальной воды:

$$\eta_T = \frac{Q_{\text{полез}}}{Q_{\text{полн}}} = \frac{Q_{\text{от}} + Q_{\text{гв}}}{G_T C_B t_T} = \frac{717 + 60,3}{7,5 \cdot 4,19 \cdot 64} = 0,386(38,6\%)$$

коэффициент использования химического тепла попутного газа:

$$\eta = \frac{Q_{\text{эл}} + Q_{\text{гту}}^{\text{охл}} + Q_{\text{вых}} + Q_{\text{кв}}}{V_{\text{общ}} Q_{\text{н}}^p},$$

Где  $Q_{\text{эл}}$  – электрическая мощность ГТУ (газотурбинной установки) определяется по расходу газа на ГТУ и по КПД этой энергетической установки. По паспортным данным для ГТУ малой мощности КПД составляет 31%. Определяем  $Q_{\text{эл}}$ :

$$Q_{\text{эл}} = V_{\text{гту}} Q_{\text{н}}^p \cdot \text{КПД} = 6,24 \cdot 10^{-3} \cdot 36,4 \cdot 10^3 \cdot 0,31 = 70,4 \text{ кВт}$$

Отсюда:

$$\eta_r = \frac{70,4 + 40 + 41 + 56,8}{7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 36,4 \cdot 10^3} = \frac{208,2}{283,9} = 0,733(73,3\%)$$

- общий коэффициент использования физического и химического тепла геотермального источника.

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{Q_{\text{от}} + Q_{\text{гв}} + Q_{\text{эл}}}{G_T C_B t_T + V_{\text{общ}} Q_{\text{н}}^p} = \frac{717 + 60,3 + 70}{7,5 \cdot 4,19 \cdot 64 + 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 36,4 \cdot 10^3} = \frac{847,3}{2011,2 + 283,9} = 0,369(36,9\%)$$

Данные для расчета приведены в приложении В.



### Расчетная работа №3

На солнечной электростанции башенного типа установлено  $n$  гелиостатов, каждый из которых имеет поверхность  $F_r$ . Гелиостаты отражают солнечные лучи на приемник, на поверхности которого зарегистрирована максимальная энергетическая освещенность  $H_{пр}$ . Коэффициент отражения гелиостата  $R_r$ . Коэффициент поглощения приемника  $A_{пр}$ . Максимальное облучения зеркала гелиостата  $H_r$ .

Определить площадь поверхности приемника  $F_{пр}$  пр и тепловые потери в нем, вызванные излучением и конвекцией, если рабочая температура теплоносителя составляет  $t_{пр}$ . Степень черноты приемника  $\epsilon_{пр}$ . коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha_{кон}$ .

Дано:  $n=263$

$$F_r=58 \text{ м}^2$$

$$H_{пр}=2,5 \text{ МВт/м}^2$$

$$R_r=0,8$$

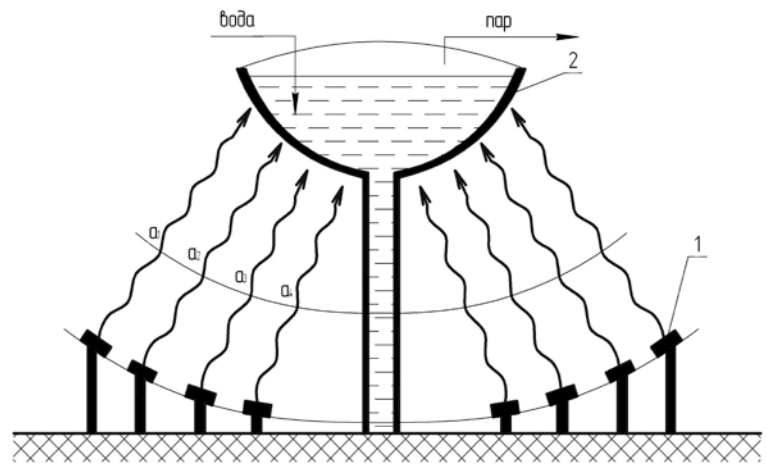
$$A_{пр}=0,95$$

$$H_r=600 \text{ Вт/м}^2$$

$$t_{пр}=660 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_{пр}=0,95$$

$$\alpha_{кон}=4 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$$



1 - гелиостаты; 2 - теплоприемник;

Рисунок 3.1 - Схема концентратора солнечной энергии

Найти:  $F_{пр}$ ,  $Q_{пот}$  - ?

### Решение

1. Общий тепловой поток (тепловая мощность) гелиостатов:

$$Q_{гел} = nFR_r = 263 \cdot 58 \cdot 0,8 = 7321920 \text{ Вт} = 7321,92 \text{ кВт}$$

2. Энергия, получаемая теплоприемником от гелиостатов:

$$Q_{пр} = A_{пр} Q_{гел} = 0,95 \cdot 7321,92 = 6955,824 \text{ кВт}$$

3. Площадь поверхности приемника, которая облучается составляет:

$$F_{пр} = \frac{Q_{пр}}{H_{пр}} = \frac{6955,824}{2,5 \cdot 10^3} = 2,782 \text{ м}^2$$

4. Потери тепла за счет излучения от нагретой поверхности приемника к окружающей среде:

$$Q_{\text{изл}} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \cdot \left[ \left( \frac{T_{\text{пр}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{0,\text{ср}}}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{\text{пр}} =$$

$$= 0,95 \cdot 5,67 \cdot \left[ \left( \frac{660 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{27 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 2,782 = 112284,4 \text{ Вт} = 112,2844 \text{ кВт}$$

5. Тепловые потери тепла конвекцией на поверхности приемника за счет восходящего воздушного потока

$$Q_{\text{кон}} = \alpha_{\text{кон}} (t_{\text{пр}} - t_{0,\text{ср}}) F_{\text{пр}} = 4(660 - 20) 2,782 = 7121,9 \text{ Вт} = 7,1219 \text{ кВт}$$

6. Общие тепловые потери приемником составляют:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{изл}} + Q_{\text{кон}} = 112,2844 + 7,1219 = 119,4 \text{ кВт}$$

7. Коэффициент полезного действия установки составляет:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пр}} - Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{пр}}} = 1 - \frac{119,4}{6955,824} = 0,983$$

Данные для расчета приведены в приложении Г.

## Расчетная работа №4

Считается, что настоящий КПД  $\eta_{\text{действ}}$  океанической ТЭС, которая использует температурный перепад поверхностных и глубинных вод  $(T_1 - T_2) = \Delta T$  и работает по циклу Ренкина, вдвое меньше термического КПД установки, который работает по циклу Карно  $\eta_t^k$ . Оценить возможную величину действительного КПД ОТЭС, рабочим телом которой является аммиак, если температура воды на поверхности океана  $t_1$ , а температура воды на глубине океана  $t_2$ . Какой расход теплой воды  $V$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  потребуется для ОТЭС мощностью  $N$ ?

Дано:  $\eta_{\text{действ}} = 0,5 \cdot \eta_t^k$   
 $t_1 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $t_2 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $N = 8 \text{ МВт}$   
 $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$   
 $C_p = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$

Найти:  $V$  - ?

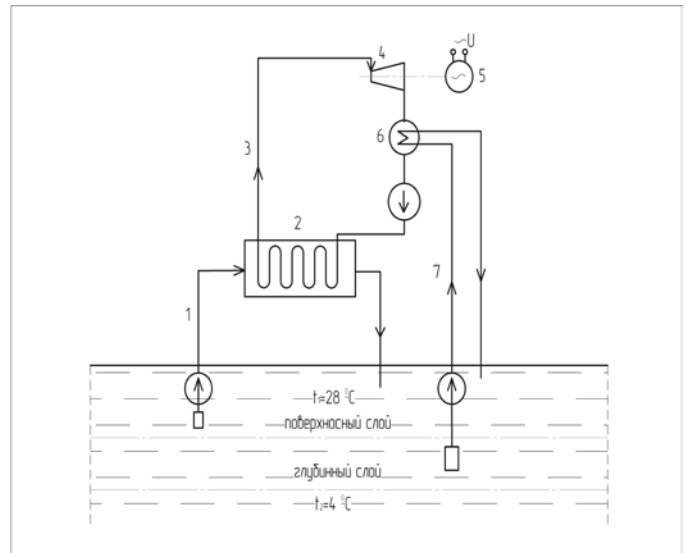


Рисунок 4.1 – Схема океанической ТЭС

### Решение

1. Разница температур поверхностных и глубинных вод:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 28 - 4 = 24 \text{ К}$$

2. Термический КПД установки, работающей по циклу Карно,  $\eta_t^k$ :

$$\eta_t^k = (\Delta T) / T_1 = (24) / (28 + 273) = 0,0797$$

3. В идеальном теоретическом цикле Карно механическая мощность  $N_0$  (Вт) может быть определена как:

$$N_0 = \eta_t^k \cdot Q_0$$

4. Реальный КПД установки, работающей по циклу Ренкина (по заданию):

$$\eta_{\text{действ}} = 0,5 \cdot \eta_t^k = 0,5 \cdot 0,0797 = 0,0398$$

5. Механическая мощность  $N$  (Вт) в установке, работающей по циклу Ренкина:

$$N = \eta_{\text{действ}} \cdot Q_0$$

6. Тепловую мощность  $Q_0$  (Вт), полученную от теплой воды можно представить, как:

$$Q_0 = \frac{N}{\eta_{\text{действ}}} = \frac{8}{0,0398} = 201 \text{ МВт}$$

или как  $Q_0 = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T$ , отсюда расход теплой воды  $V$ :

$$V = \frac{Q_0}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T} = \frac{201000000}{1 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 24} = 1,99 \text{ м}^3/\text{с}$$

Данные для расчета приведены в приложении Д.

## Расчетная работа №5

Определить начальную температуру  $t_2$  и количество геотермальной энергии  $E_0$  (Дж) водоносного слоя толщиной  $h$  при глубине залегания  $z$ , если заданы характеристики породы слоя: плотность  $\rho_{гр} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ; пористость  $a = 5\%$ ; удельная теплоемкость  $C_{гр} = 840 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ . Температурный градиент  $(dT/dz)$ . Средняя температура поверхности  $t_0$ . Удельная теплоемкость воды  $C_в = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ; плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Расчет сделать относительно площади поверхности  $F = 1 \text{ м}^2$ . Минимально допустимую температуру слоя принять равной  $t_1$ .

Определить также постоянную времени извлечения тепловой энергии  $\tau_0$  (лет) при закачивании воды в слой и расходе ее  $V$ . Какой будет тепловая мощность, которая вытягивается сначала  $(dE/dt)_{\tau=0}$  и через  $n$  лет  $(dE/dt)_{\tau=n}$  ?

Дано:  $h = 0,8 \text{ км}$   
 $z = 3,5 \text{ км}$   
 $\rho_{гр} = 2700 \text{ кг/м}^3$   
 $\lambda_{гр} = 2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$   
 $a = 5\%$   
 $C_{гр} = 840 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$   
 $(dT/dz) = 65 \text{ }^\circ\text{C/км}$   
 $t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $C_в = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$   
 $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$   
 $F = 1 \text{ км}^2$   
 $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $V = 0,1 \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$   
 1)  $\tau = 0$  лет  
 2)  $\tau = 10$  лет

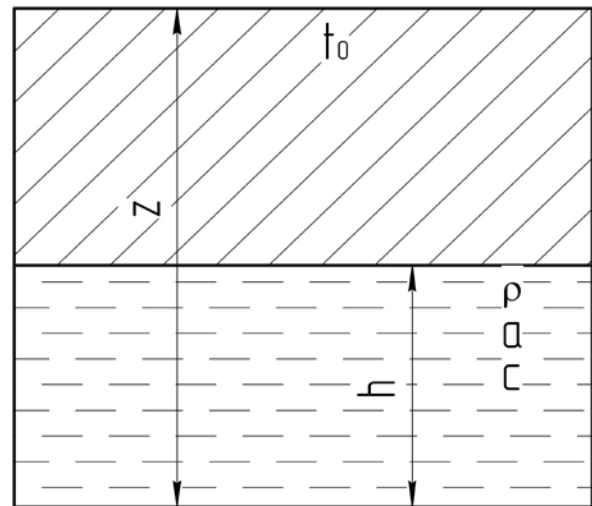


Рисунок 5.1 – Схема водоносного слоя

Найти:  $t_2$ ,  $E_0$ ,  $\tau_0$

### Решение

1. Определим температуру водоносного слоя перед началом его эксплуатации:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz) \cdot z = 10 + 65 \cdot 3,5 = 237,5 \text{ }^\circ\text{C} = 510,5 \text{ К}$$

2. Теплоемкость слоя  $C_{пл}$  (Дж/К) можно определить по уравнению:

$$\begin{aligned} C_{пл} &= [\alpha \cdot \rho_в \cdot C_в + (1 - \alpha) \cdot \rho_{гр} \cdot C_{гр}] \cdot h \cdot F = \\ &= [0,05 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 4200 + (1 - \\ &0,05) \cdot 2,7 \cdot 10^3 \cdot 840] \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 = (210000 + 2154600) \cdot 800 \cdot 1 \cdot 10^6 = \\ &= 189168 \cdot 10^{10} \text{ Дж/К} = 1,9 \cdot 10^{15} \text{ Дж/К} \end{aligned}$$

3. Тепловая мощность, которая извлекается сначала  $E_0$  (Дж):

$$E_0 = C_{пл} \cdot (T_2 - T_1) = 189168 \cdot 10^{10} \cdot (237,5 - 40) = 37360680 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 3,7 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$$

4. Постоянную времени слоя  $\tau_0$  (возможное время его использования, лет) в случае отвода тепловой энергии путем закачки в него воды с объемным расходом  $V$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) можно определить по уравнению:

$$\tau_0 = C_{пл} / (V \cdot \rho_{в} \cdot C_{в}) = \frac{189168 \cdot 10^{10}}{0,1 \cdot 1000 \cdot 4200} = 4504 \cdot 10^6 \text{ с} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ с} = 143 \text{ года}$$

5. Тепловая мощность, которая извлекается сначала и через 10 лет

$$\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot 1 = \frac{3,7 \cdot 10^{17}}{4,5 \cdot 10^9} = 0,82 \cdot 10^8 \text{ Вт} = 82 \text{ МВт}$$

$$\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = \frac{E_0}{\tau_0} \cdot e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} = \left( \frac{E_0}{\tau_0} \right) \cdot e^{-\frac{10}{143}} = \left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 82 \cdot e^{-\frac{10}{143}} = 76 \text{ МВт}$$

Ответ: начальная температура  $t_2 = 237,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , тепловой потенциал до начала эксплуатации  $E_0 = 3,7 \cdot 10^{17} \text{ Дж}$ , возможно время использования слоя  $\tau_0 = 143$  года; тепловая мощность, которая извлекается сначала  $\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = 82 \text{ МВт}$ ,

через 10 лет  $\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = 76 \text{ МВт}$ .

Данные для расчета приведены в приложении Е.

## Расчетная работа №6

Определить объем биогазогенератора  $V_6$  и суточный выход биогаза  $V_7$  в установке, которая утилизирует гной от коров, а также обеспечиваемую им тепловую мощность  $N$  (Вт). Время цикла сбраживания  $\tau$  при температуре  $t$ ; подача сухого материала для сбраживания от одного животного идет со скоростью  $W$ ; выход биогаза из сухой массы  $v_7=0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Содержание метана в биогазе составляет 70%. КПД топливосжигающих устройства  $\eta$ . Плотность сухого материала, распределенного в массе биогазогенератора,  $\rho_{\text{сухой}} = 50 \text{ кг/м}^3$ . Теплота сгорания метана при нормальных физических условиях  $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 28 \text{ МДж/м}^3$ .

Дано:  $n=18$

$$\tau = 14 \text{ суток}$$

$$t = 25^\circ \text{C}$$

$$W = 20 \text{ кг/сут}$$

$$v_7 = 0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$\eta = 0,68$$

$$\rho_{\text{сух}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 28 \text{ МДж/м}^3$$

Найти:  $V_6, V_7, N$

### Решение

1. Подача сухого материала для сбраживания от 18 животных идет со скоростью  $m_0$  (кг/сут):

$$m_0 = W \cdot n = 20 \cdot 18 = 360 \text{ кг/сут};$$

2. Суточный объем жидкой массы  $V_{\text{сут}}$ , поступающего в биогазогенератор ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ) можно определить по формуле:

$$V_{\text{сут}} = m_0 / \rho_{\text{сух}} = 360 / 50 = 7,2 \text{ м}^3/\text{сут}$$

3. Объем биогазогенератора, необходимого для фермы ( $\text{м}^3$ ):

$$V_6 = \tau \cdot V_{\text{сут}} = 14 \cdot 7,2 = 100,8 \text{ м}^3$$

4. Суточный выход биогаза:

$$V_7 = m_0 \cdot v_7 = 360 \cdot 0,24 = 86,4 \text{ м}^3/\text{сут}$$

5. Тепловая мощность устройства, использующего биогаз ( $\text{МДж/сут}$ ):

$$N = \eta \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot V_7 \cdot f_m = 0,68 \cdot 28 \cdot 86,4 \cdot 0,70 = 1150 \text{ МДж/сут} = 1150 \cdot 10^6 / (24 \cdot 3600) = 13,3 \text{ кВт}.$$

Данные для расчета приведены в приложении Ж.

### Расчетная работа №7

Для отопления дома в течение суток потребуется  $Q$  теплоты. при использовании для этой цели солнечной энергии тепловая энергия может быть запасенная в водном аккумуляторе. Допустим, что температура горячей воды  $t_1$ . Какой должна быть емкость бака аккумулятора  $V(\text{м}^3)$ , если тепловая энергия может использоваться в отопительных целях до тех пор, пока температура воды не понизится до  $t_2$ ?

Дано:  $Q=0,60$  ГДж  
 $t_1=54$  °С  
 $t_2=29$  °С  
 $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>  
 $c_p=4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К)

Найти:  $V$ -?

#### Решение

1. Количество теплоты:

$$Q=\rho \cdot V \cdot C_p \cdot (t_1-t_2)$$

2. Ёмкость бака аккумулятора:

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2)} = \frac{0,60 \cdot 10^9}{1000 \cdot 4,2 \cdot 10^3 (54 - 29)} = 5,71 \text{ м}^3$$

Данные для расчета приведены в приложении К.

### Расчетная работа №8

Используя формулу Л.Б. Бернштейна, оценить приливной потенциал бассейна  $E_{\text{пот}}$  (кВт·ч), если его площадь  $F$ , а средняя величина притока  $R_{\text{ср}}$ .

Дано:  $F=1000$  км<sup>2</sup>  
 $R_{\text{ср}}=7,2$  м

Найти:  $E_{\text{пот}}$  - ?

#### Решение

Приливной потенциал бассейна  $E_{\text{пот}}$  (кВт·ч):

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{ср}}^2 \cdot F = 1,97 \cdot 10^6 \cdot 7,2^2 \cdot 1000 = 102 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Данные для расчета приведены в приложении Л.



## Расчетная работа №9

Как изменится мощность малой ГЭС, если напор водохранилища  $H$  в засушливый период уменьшится в  $n$  раз, а расход воды  $V$  сократится на  $m\%$ ? Потери в гидротехнических сооружениях, водоводах, турбинах и генераторах считать постоянными.

Дано:  $n = 1,2$  раза  
 $m = 20\%$

### Решение

Мощность ГЭС (Вт) можно определить по простому уравнению:

$$N = 9,81 \cdot V \cdot H \cdot \eta.$$

Пусть  $N$  - мощность малой ГЭС. Известно, что напор водохранилища  $H$  в засушливый период уменьшится в 1,2 раза, а расход воды  $V$  сократится на 20%, т.е.

$$V_{зас} = 0,8 \cdot V, \quad H_{зас} = H/1,2$$

$$\frac{N}{N_{зас}} = \frac{9,81 \cdot V \cdot H \cdot \eta}{9,81 \cdot V_{зас} \cdot H_{зас} \cdot \eta} = \frac{9,81 \cdot V \cdot H \cdot \eta}{9,81 \cdot 0,8 \cdot V \cdot \frac{H}{1,2} \cdot \eta} = \frac{1,2}{0,8} = 1,5 \text{ раза}$$

Ответ: мощность малой ГЭС в засушливый период уменьшится в 1,5 раза.

Данные для расчета приведены в приложении М.

ПРИЛОЖЕНИЕ А - Дневное поступления суммарной  $E$  и рассеянной  $E_p$  солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup>

№ п/п	Географическое место, северная широта, град	E/E <sub>p</sub>					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
1	Керчь, 45.5	18.27	21.74	23.48	24.71	21.98	17.88
		10.12	23.32	11.14	8.29	8.21	7.35
2	Одесса, 46	16.73	20.55	23.05	24.12	22.72	15.77
		9.34	10.27	10.74	9.73	9.65	6.95
3	Симферополь, 45	19.67	22.68	23.12	26.05	23.24	18.37
		10.52	11.63	12.85	12.74	10.28	8.93
4	Николаев, 47	16.08	21.06	23.75	24.18	21.64	15.12
		9.12	9.26	10.92	11.26	9.06	7.09
5	Мариуполь, 47.5	14.82	18.98	21.63	23.53	20.65	15.21
		7.08	9.34	10.81	12.06	8.93	7.23
6	Донецк, 48	14.12	18.89	21.03	22.26	21.26	14.87
		6.28	8.17	9.34	10.88	8.94	7.12
7	Луганск, 48.5	14.06	18.71	21.28	22.44	21.45	15.22
		6.12	8.23	10.44	11.09	9.11	8.15
8	Днепропетровск, 48.5	14.23	18.84	20.17	21.87	21.15	14.25
		7.05	8.08	9.68	10.76	8.65	7.06
9	Ивано-Франковск, 49	14.12	18.63	19.90	21.85	18.15	13.90
		6.96	8.00	9.25	10.53	8.17	7.56
10	Львов, 50	13.97	19.65	20.52	21.35	19.12	13.98
		6.85	8.51	9.15	9.19	8.78	7.92
11	Харков, 50.5	14.15	20.25	21.17	22.05	17.83	14.03
		6.91	9.52	8.15	8.93	8.22	7.84
12	Луцк, 54	13.69	15.37	20.45	20.97	16.03	12.24
		6.35	8.95	9.33	10.21	8.26	7.93
13	Алушта, 46.0	15.16	21.65	24.13	25.18	23.23	17.19
		6.85	8.87	10.75	10.95	9.94	8.36
14	Чернтгов, 52	14.21	18.05	19.08	20.21	16.23	12.79
		6.83	7.95	8.78	9.65	7.37	6.32
15	Москва, 56	13.41	18.65	19.83	19.19	15.14	10.06
		7.54	9.33	9.78	10.27	8.11	6.14
16	Симеиз, 42	16.12	19.71	22.80	22.41	20.52	15.29
		7.23	7.83	7.64	7.83	6.75	5.42
17	Киев, 50.5	13.90	18.76	21.82	20.52	17.28	12.65
		7.51	9.18	10.00	9.45	7.69	5.84
18	Ялта, 40	19.18	24.97	28.22	27.00	25.11	20.15
		8.2	8.23	7.78	6.88	6.34	5.38
19	Баку, 41	24.05	23.17	29.61	27.40	25.11	20.01
		4.73	5.26	6.53	6.34	5.40	3.89
20	Петербург, 56	10.11	13.65	15.93	17.26	15.02	11.76
		6.75	7.93	10.12	11.13	9.37	8.45
21	Джанкой, 42	23.9	27.81	29.47	27.81	24.16	19.04
		5.14	5.26	5.84	5.80	5.40	3.61

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Данные для расчета расчетной работы №1

№ варианта	Температура горячей воды, t <sub>г.в.</sub>	Температура холодной воды, t <sub>х.в.</sub>	Географическое место «А»	Кол-во людей, n	Расход воды на 1 человека, л/чел·день	Угол наклона солнечного коллектора, β	КПД солнечной установки, η	КПД установки, которая заменяется η <sub>з.у.</sub>
1	48	15	20	5	50	41.0	0,65	0,55
2	49	17	12	7	60	33.5	0,66	0,56
3	50	16	14	9	80	37.0	0,67	0,57
4	51	19	11	5	100	35.5	0,68	0,58
5	52	18	17	7	75	25.0	0,69	0,59
6	53	15	15	9	50	41.0	0,70	0,60
7	54	16	10	10	60	35.0	0,71	0,61
8	55	17	9	15	70	35.5	0,72	0,62
9	56	18	8	20	80	33.5	0,73	0,63
10	57	19	6	40	100	26.0	0,74	0,64
11	58	16	5	60	55	27.0	0,75	0,65
12	59	17	3	80	65	35.5	0,65	0,66
13	60	18	2	100	75	25.0	0,66	0,67
14	61	20	16	150	85	41.0	0,67	0,68
15	62	21	18	200	100	25.0	0,68	0,69
16	63	18	19	120	60	26.0	0,69	0,70
17	64	19	21	180	70	27.0	0,70	0,71
18	48	20	14	18	80	37.0	0,71	0,72
19	49	21	17	12	90	35.5	0,72	0,73
20	50	16	10	14	100	35.0	0,73	0,74
21	51	17	4	25	65	32.0	0,74	0,75
22	52	18	16	30	75	27.0	0,75	0,76
23	53	19	13	50	85	31.0	0,65	0,77
24	54	20	4	70	100	32.0	0,66	0,78
25	55	21	7	85	50	33.5	0,67	0,79

**ПРИЛОЖЕНИЕ В - Данные для расчета расчетной работы №2**

№ варианта	расчетная оптимальная нагрузка потребителей отопления $Q_{от}$ , кВт	пасход термальной воды $G_T$ , кг/с	температура термальной воды $t_T$ , °C	объем газа в термальной воде $V$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> воды	теплотворная способность попутного газа $Q_{пг}^p$ , МДж/м <sup>3</sup>	температура вихловых газов турбины $t_T$ , °C	температура сетевой воды на входе $t_{в}^{нач}$ , °C	температура нагрева сетевой воды $t_{гв}^{кон}$ , °C	тепловая мощность системы горячего водоснабжения $Q_{гв}$ , кВт
1	710	7,0	65	1,02	36,6	120	15	50	205
2	720	7,2	63	1,08	36,4	118	11	52	200
3	724	7,6	62	1,06	35,9	115	16	49	203
4	728	7,4	66	1,1	35,7	119	10	53	210
5	725	7,9	68	1,05	36,1	110	14	57	215
6	800	7,5	63	1,03	37,0	114	20	60	216
7	750	8,2	69	1,09	36,5	123	18	59	208
8	770	7,1	61	1,06	36,4	118	16	62	206
9	772	8,1	65	1,05	35,8	115	19	54	204
10	748	7,3	59	1,09	36,4	111	14	53	211
11	762	7,5	62	2,0	36,9	119	12	51	206
12	792	7,7	68	2,1	36,1	120	15	58	213
13	708	7,2	64	1,09	36,8	124	13	54	216
14	746	7,6	58	1,07	35,8	109	18	57	210
15	714	8,5	62	2,06	35,7	115	16	53	200
16	802	6,8	66	1,08	36,4	117	10	54	209
17	795	7,0	67	1,01	36,1	113	19	52	207
18	722	7,6	63	1,06	37,0	110	15	59	216
19	738	7,4	61	1,05	36,8	116	17	51	218
20	746	7,9	65	1,09	36,2	118	13	50	200
21	726	7,5	68	2,08	36,4	111	12	56	202
22	779	7,2	63	2,04	36,9	120	15	52	208
23	785	8,0	64	1,06	36,7	125	18	53	210
24	765	7,7	62	2,01	36,1	114	16	58	205
25	777	7,6	66	1,06	35,8	116	12	54	207

ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Данные для расчета расчетной работы №3

№ варианта	Количество гелиостатов n	Площадь поверхности гелиостата $F_r, \text{ м}^2$	Энергетическая освещенность $H_{пр}, \text{ Вт/м}^2$	Коэф-т отражения гелиостата $R_r$	Коеф-т поглощения приемника $A_{пр}$	Облучение зеркала гелиостата $H_r, \text{ Вт/м}^2$	Рабочая температура теплоносителя составляет $t_{пр}, \text{ }^\circ\text{C}$	Степень черноты приемника $\epsilon_{пр}$	Коэф-т конвективного теплообмена приемника $\alpha_{кон}, \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$
1	260	55	2,5	0,5	0,9	600	660	0,94	4
2	256	58	2,0	0,8	0,92	610	620	0,96	6
3	254	56	2,1	0,6	0,93	615	610	0,97	8
4	265	52	2,7	0,2	0,91	620	630	0,92	5
5	269	53	2,8	0,4	0,94	612	650	0,9	9
6	259	54	2,4	0,9	0,96	605	625	0,95	7
7	254	56	2,6	0,7	0,97	556	615	0,92	2
8	253	52	2,1	0,6	0,92	580	610	0,91	3,5
9	261	60	2,7	0,5	0,9	595	600	0,94	6
10	269	62	2,5	0,9	0,95	620	670	0,96	5,5
11	258	49	2,9	0,6	0,92	615	675	0,97	4,7
12	264	54	2,5	0,5	0,93	618	655	0,92	5
13	253	62	2,0	0,8	0,91	610	642	0,9	9
14	300	56	2,1	0,6	0,94	608	651	0,92	4
15	285	55	2,7	0,2	0,96	601	650	0,93	6
16	273	53	2,8	0,4	0,97	600	580	0,91	8
17	260	58	2,4	0,9	0,92	615	664	0,94	5
18	285	51	2,6	0,7	0,9	620	595	0,96	9
19	245	59	2,1	0,6	0,92	580	630	0,93	7
20	264	52	2,7	0,5	0,93	600	650	0,91	2
21	275	61	2,5	0,9	0,91	610	670	0,94	3,5
22	267	59	2,9	0,6	0,94	608	660	0,96	6
23	293	54	2,5	0,2	0,96	602	655	0,97	5,5
24	264	55	2,0	0,4	0,97	598	620	0,92	4,7
25	281	53	2,1	0,9	0,92	600	640	0,95	5

ПРИЛОЖЕНИЕ Д - Данные для расчета расчетной работы №4

№ варианта	температура воды на поверхности океана $t_1$ , °С	температура воды на глубине океана $t_2$ , °С	мощность $N$ , МВт
1	30	5	10
2	25	3	8
3	27	6	6
4	29	8	12
5	35	4	15
6	34	6	11
7	26	2	10
8	28	4	14
9	30	5	8
10	36	8	7
11	34	4	5
12	31	5	9
13	26	3	11
14	30	6	16
15	25	8	10
16	27	4	8
17	29	6	6
18	35	2	12
19	34	4	15
20	26	5	11
21	28	8	10
22	30	4	14
23	36	6	8
24	34	2	7
25	31	5	5

## Приложение Е - Данные для расчета расчетной работы №5

№ варианта	Толщина водоносного слоя h, км	Глубина залегания z, км	Температурный градиент (dT/dz), °С/км	Средняя температура поверхности t <sub>0</sub> , °С	Минимальная температура поверхности t <sub>1</sub> , °С	Расход воды, V, м <sup>3</sup> /(с·км <sup>2</sup> )
1	0,5	4,0	60	10	45	0,1
2	0,3	3,8	65	12	42	0,2
3	0,8	3,6	70	14	38	0,3
4	0,4	3,4	66	13	44	0,1
5	0,6	3,5	58	15	50	0,5
6	0,9	2,0	59	18	46	0,05
7	0,3	2,8	62	19	30	0,6
8	0,5	2,6	64	16	38	0,3
9	0,7	4,2	58	20	47	0,1
10	0,5	3,7	60	10	45	0,2
11	0,3	4,0	65	14	42	0,3
12	0,8	3,8	70	11	38	0,1
13	0,4	3,6	66	10	44	0,5
14	0,6	3,4	58	12	50	0,05
15	0,9	3,5	59	14	46	0,6
16	0,3	2,0	62	13	30	0,3
17	0,5	2,8	64	15	38	0,1
18	0,7	2,6	58	18	47	0,2
19	0,5	4,2	60	19	45	0,3
20	0,3	3,7	65	16	42	0,1
21	0,8	4,0	70	20	38	0,5
22	0,4	3,8	66	10	44	0,05
23	0,6	3,6	58	14	50	0,6
24	0,9	3,4	59	11	46	0,3
25	0,3	3,5	62	13	30	0,4

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж - Данные для расчета расчетной работы №6

№ варианта	Кол-во коров, n	Время цикла сбраживания $\tau$ , суток	Температура $t, ^\circ\text{C}$	Скорость подачи сухого материала $W, \text{кг/сут}$	КПД топливосжигающего устройства, $\eta$
1	20	15	26	15	0,60
2	15	20	20	20	0,61
3	30	10	17	18	0,62
4	25	15	22	15	0,63
5	23	12	28	10	0,64
6	40	18	15	16	0,65
7	35	9	24	17	0,66
8	30	16	22	14	0,67
9	36	21	19	15	0,68
10	28	13	20	18	0,69
11	10	19	17	22	0,70
12	16	17	24	19	0,60
13	19	10	25	15	0,61
14	25	15	26	20	0,62
15	23	20	20	18	0,63
16	35	10	17	15	0,64
17	18	15	22	10	0,65
18	27	12	28	16	0,66
19	20	18	15	17	0,67
20	15	9	24	14	0,68
21	30	16	22	15	0,69
22	25	21	19	18	0,70
23	23	13	20	22	0,60
24	40	19	17	19	0,61
25	26	17	24	20	0,62



ПРИЛОЖЕНИЕ К - Данные для расчета расчетной работы №7

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Кол-во теплоты Q, ГДж	0,58	0,57	0,56	0,54	0,55	0,50	0,60	0,52	0,58	0,57	0,56	0,54	0,55	0,50	0,60	0,52	0,58	0,57	0,56	0,54	0,55	0,50	0,60	0,52
Температура горячей воды t <sub>1</sub> , °С	55	57	60	52	54	58	64	53	67	59	65	55	57	60	52	54	58	64	53	67	59	65	60	58
Температура t <sub>2</sub> , °С	30	28	25	24	20	29	35	24	26	30	28	25	24	20	29	35	24	26	25	21	31	28	25	27

Приложение Л - Данные для расчета расчетной работы №8

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Площадь бассейну, F, км <sup>2</sup>	1000	1500	1200	1100	1400	1800	1900	2000	1000	1500	1200	1100	1400	1800	1900	2000	1000	1500	1200	1100	1400	1800	1900
Величина притока R <sub>ср</sub> , м	7,8	7,3	7,4	8,0	7,9	7,2	7,8	7,4	7,6	7,5	7,1	7,8	7,3	7,4	8,0	7,9	7,2	7,8	7,4	7,6	7,5	7,1	7,9

Приложение М - Данные для расчета расчетной работы №9

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<b>n</b>	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
<b>m</b>	10	20	30	15	25	11	16	18	24	28	10	20	30	15	25	11	16	18	24	28	24	18	13