

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ**

**Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов, обучающихся по направлению  
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,  
дневной и заочной форм обучения

*Учебное электронное издание*



---

Тамбов  
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
2023

УДК 621.181.14(076)  
ББК з361я73-5  
И85

Рекомендовано Методическим советом университета

Р е ц е н з е н т

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
*П. А. Галкин*

**И85** **Исследование** тепловой схемы котельной с водогрейными котлами [Электронный ресурс] : методические указания / сост. А. А. Балашов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 1,34 Мб ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Содержат рекомендации по выбору тематики, содержанию, выполнению, оформлению результатов и защите курсовой работы по дисциплине «Цифровые устройства и микропроцессоры».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 11.03.01 «Радиотехника», дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.181.14(076)  
ББК з361я73-5

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

## **ВВЕДЕНИЕ**

Согласно рабочей программе дисциплины «Источники и системы теплоснабжения» неотъемлемой частью ее является проведение лабораторных работ. Данная лабораторная работа «Исследование тепловой схемы котельной с водогрейными котлами» выполняется студентами, обучающимися по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника», дневной и заочной форм обучения.

В результате выполнения данной лабораторной работы студенты изучают и исследуют тепловую схему котельной с водогрейными котлами для максимально зимнего режима, наиболее холодного месяца, а также летнего режима и выбирают водогрейные котлы для каждого режима.

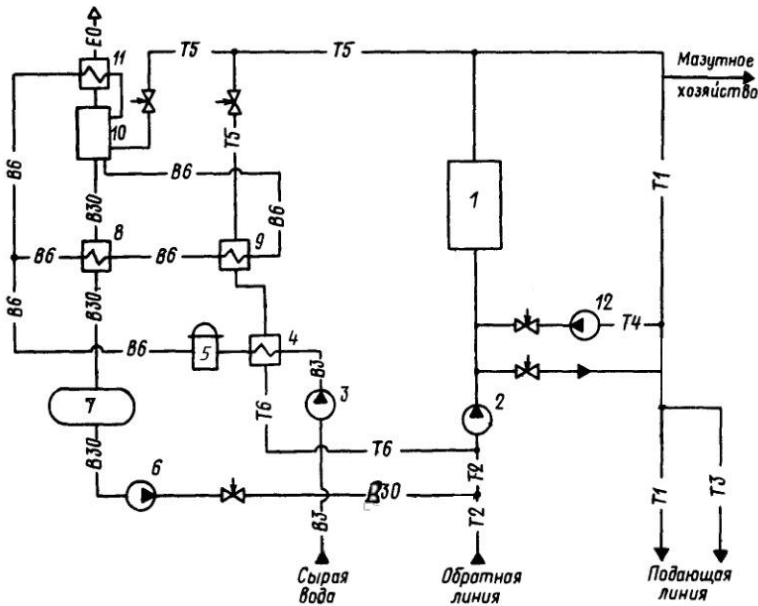
Дисциплина входит в состав части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, а также осваивается следующая компетентность согласно ФОС: «Способен применять типовые методики расчета теплоэнергетических и теплотехнических объектов и систем».

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

*Цель работы:* изучить тепловую схему водогрейной котельной в максимально зимнем режиме (МЗР), наиболее холодном месяце (НХМ) и летнем режиме (ЛР), а также выбрать водогрейные котлы для этих режимов в котельной.

### Теоретические основы

Тепловую схему котельной рекомендуется рассчитывать в следующем порядке для водогрейных котлов, работающих в закрытых системах отопления (см. рис. 1 и табл. 1).



**Рис. 1. Тепловая схема котельной:**

- 1 – водогрейный котел; 2 – сетевой насос; 3 – насос сырой воды;
- 4 – теплообменник для подогрева сырой воды; 5 – химводоочистка (ХВО);
- 6 – подпиточный насос; 7 – резервуар деаэрированной воды;
- 8 – охладитель деаэрированной воды; 9 – подогреватель химически очищенной воды (ХОВ); 10 – деаэрактор; 11 – охладитель выпара;
- 12 – рециркуляционный насос

## 1. Обозначения элементов на схеме и их характеристики

Наименование	Обозначение на схеме	Внешний вид	Назначение
Водогрейный котел			Водогрейные котлы применяются в основном для нужд теплоснабжения в частных домах, на котельных различной мощности и на ТЭЦ
Сетевой насос			Сетевые насосы предназначены для подачи горячей воды по теплоточификационным сетям
Подогреватель сырой воды			Устройство, используемое в оборудовании теплоснабжения. Он предназначается для подогрева сетевой воды паром из отборов турбин и котлов низкого давления
Химводоочистка			Получение воды с определенными качествами, которые устанавливают промышленную отрасль
Бак деаэрированной воды			Большая емкость для хранения жидкости

Наименование	Обозначение на схеме	Внешний вид	Назначение
Деаэратор			Удаляет коррозионно-агрессивные газы из подпиточной воды систем теплоснабжения в котельных
Вентиль регулирующий проходной			Регулирует подачу воды посредством изменения размеров проходного сечения клапана

Расчет производится для трех режимов: МЗР, НХМ и ЛР.

1. Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию для режима НХМ определяется по выражению

$$K_{o.в} = \frac{t_{вн} - t_{н}}{t_{вн} - t_{p.o}}, \quad (1)$$

где  $t_{вн}$  – принятая температура воздуха внутри помещений, °С (ГОСТ 30494–2011);  $t_{p.o}$  – расчетная температура наружного воздуха, °С (СП 131.13330.2020 для температуры воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92);  $t_{н}$  – температура наружного воздуха для режима НХМ (принимается равной расчетной для вентиляции), °С (СП 131.13330.2020 для температуры воздуха с обеспеченностью 0,94).

2. Температура воды в тепловой сети (ТС) водопровода системы отопления и вентиляции (СОВ), °С:

$$t_1 = 18 + 64,5K_{o.в}^{0,8} + 67,5K_{o.в}. \quad (2)$$

3. Температура обратной воды в ТС после СОВ, °С:

$$t_2 = t_1 - 80K_{o.в}. \quad (3)$$

4. Теплота СОВ, МВт:

$$Q_{o.b} = Q_o + Q_b, \quad (4)$$

где  $Q_o$  – теплота на отопление, МВт;  $Q_b$  – теплота на вентиляцию, МВт.

5. Суммарный расход теплоты на СОВ и горячее водоснабжение (ГВС), МВт:

$$Q = Q_{o.b} + Q_{ГВС}, \quad (5)$$

где  $Q_{ГВС}$  – теплота на ГВС, МВт.

6. Расход воды в водопроводе системы теплоснабжения, необходимый для ГВС, т/ч:

– местные теплообменники при параллельном включения

$$G_{ГВС} = \frac{860 Q_{ГВС}}{t_1 - t_2}; \quad (6)$$

– местные теплообменники для МЗР при 2-ступенчатой схеме присоединения

$$G_{ГВС}^{потр} = \frac{860 Q_{ГВС}}{t_{ГВС}^{потр} - t_{св}}; \quad (7)$$

где  $t_{ГВС}^{потр}$  – температура горячей воды для потребителей, °С;  $t_{св}$  – температура сырой воды (принимаемой зимой 5 °С, летом 15 °С).

7. Тепловая нагрузка для подогревателя I ступени, МВт:

$$Q_{ГВС}^I = 0,00116 G_{ГВС}^{потр} [t_2 - (\Delta t_b + t_{с.в})], \quad (8)$$

где  $\Delta t_b = 10$  °С – минимальная разность температур греющей и подогреваемой воды.

Тепловая нагрузка для подогревателя II ступени, МВт:

$$Q_{ГВС}^{II} = Q_{ГВС}^{потр} - Q_{ГВС}^I. \quad (9)$$

8. Расход сетевой воды на местные теплообменники для ЛР, т/ч:

$$G_{ГВС}^{ЛР} = \frac{860 Q_{ГВС}^{II}}{t_1^{ЛР} - (\Delta t_b + t_{с.в})}, \quad (10)$$

где  $Q_{ГВС}^{ЛР}$  – теплота на потребителей в ГВС для ЛР, МВт;  $t_1^{ЛР}$  – температура сетевой воды в прямой линии ГВС при ЛР, °С.

9. Расход сетевой воды на СОВ, т/ч:

$$G_{o.b} = \frac{860(Q_o + Q_b)}{t_1 - t_2}. \quad (11)$$



10. Расход воды для потребителей на СОВ и ГВС, т/ч:

$$G_{\text{вн}} = G_{\text{о.в}} + G_{\text{ГВС}} \quad (12)$$

11. Температура обратной сетевой воды после потребителей, °С:

– местные теплообменники ГВС для параллельной схемы подключения

$$t_{\text{обр}}^{\text{потр}} = t_2; \quad (13)$$

– местные теплообменники для МЗР и НХМ при 2-ступенчатой (последовательной или смешанной) схеме подключения

$$t_{\text{обр}}^{\text{потр}} = t_2 - \frac{860 Q_{\text{ГВС}}^{\text{I}}}{G_{\text{вн}} \eta}; \quad (14)$$

– температура для ЛР при той же схеме

$$t_{\text{обр}}^{\text{потр}} = t_1 - \frac{860 Q_{\text{ГВС}}^{\text{I}}}{G_{\text{ГВС}}^{\text{Л}} \eta}, \quad (15)$$

где  $\eta = 0,8$  – коэффициент полезного действия подогревателя.

12. Расход подпиточной воды с утечками из теплосети и абонентской системы, т/ч:

$$G_{\text{ут}} = 0,01 K_{\text{т.с}} G_{\text{вн}}, \quad (16)$$

где  $K_{\text{т.с}} = 1,5...2,0\%$  – потери воды в закрытых системах отопления и системах потребителей от часового расхода воды внешними потребителями.

13. Количество сырой воды, подаваемой на очистную станцию, т/ч:

$$G_{\text{с.в}} = (1,25...1,30) G_{\text{ут}}. \quad (17)$$

14. При установке деаэратора с давлением 0,12 МПа и температурой деаэраторной воды около 104 °С определяем температуру химически очищенной воды (ХОВ) после охладителя воды деаэратора, °С:

$$t_{\text{ХОВ}}'' = \frac{G_{\text{ут}}}{G_{\text{ХОВ}}'} (t_{\text{подп}}' - t_{\text{подп}}'') \eta + t_{\text{ХОВ}}', \quad (18)$$

где  $t_{\text{ХОВ}}' = 20$  °С – температура сырой воды до ХВО;  $t_{\text{подп}}'$  – температура подпиточной воды после деаэратора, °С;  $t_{\text{подп}}'' = 70$  °С – температура подпиточной воды после охладителя деаэратора;  $G_{\text{ХОВ}}'$  – предварительно принятый расход ХОВ, т/ч.

15. Температура ХОВ на входе в деаэратор, °С:

$$t_{\text{ХОВ}}^{\text{д}} = \frac{G_{\text{ГР}}^{\text{под}}}{G_{\text{ХОВ}}'} (t_1^{\text{в.к}} - t_{\text{ГР}}'') \eta + t_{\text{ХОВ}}'', \quad (19)$$

где  $G_{\text{ГР}}^{\text{под}}$  – расход греющей воды на подогреватель ХОВ (задается), т/ч;  
 $t_1^{\text{в.к}}$  – температура воды на выходе из котла, °С;  $t_{\text{ГР}}''$  – температура греющей воды после подогревателя ХОВ (задается), °С (принимают на 4...6 °С выше температуры насыщения при давлении в деаэраторе).

16. Температура сырой воды перед ХВО, °С:

$$t_{\text{ХОВ}}' = \frac{G_{\text{ГР}}^{\text{под}}}{G_{\text{с.в}}} (t_{\text{ГР}}'' - t_{\text{подп}}'') \eta + t_{\text{с.в}}. \quad (20)$$

17. Расход на деаэратор греющей воды, т/ч:

$$G_{\text{ГР}}^{\text{д}} = \frac{G_{\text{ут}} t_{\text{подп}}' - G_{\text{ХОВ}}' t_{\text{ХОВ}}^{\text{д}}}{t_1^{\text{в.к}}}. \quad (21)$$

18. Расход на подпитку тепловой сети ХОВ, т/ч:

$$G_{\text{ХОВ}} = G_{\text{ут}} - G_{\text{ГР}}^{\text{д}}. \quad (22)$$

19. Теплота сырой воды на ее подогрев, МВт:

$$Q_{\text{с.в}} = 0,00116 G_{\text{с.в}} \frac{(t_{\text{ХОВ}}' - t_{\text{с.в}})}{\eta}. \quad (23)$$

20.1. Теплота ХОВ на подогрев, МВт:

$$Q_{\text{ХОВ}} = 0,00116 G_{\text{ХОВ}}' \frac{(t_{\text{ХОВ}}^{\text{д}} - t_{\text{ХОВ}}'')}{\eta}. \quad (24)$$

20.2. Теплота на деаэратор, МВт:

$$Q_{\text{д}} = 0,00116 G_{\text{ГР}}^{\text{д}} \frac{(t_1^{\text{в.к}} - t_{\text{подп}}'')}{\eta}. \quad (25)$$

20.3. Теплота на подогрев ХОВ в охладителе деаэрированной воды, МВт:

$$Q_{\text{охл}} = 0,00116 G_{\text{ХОВ}}' \frac{(t_{\text{ХОВ}}'' - t_{\text{ХОВ}}^{\text{д}})}{\eta}. \quad (26)$$

20.4. Теплота на подогрев мазута, МВт:

$$Q_M = B c_M \frac{(t_M'' - t_M')}{\eta \cdot 10^3}, \quad (27)$$

где  $B$  – расход мазута на котлы, кг/с;  $c_M = 2$  кДж/(кг·К) – удельная массовая теплоемкость мазута;  $t_M''$  и  $t_M'$  – температуры мазута после подогревателя и перед ним, °С.

21. Общая теплота в котельной, МВт:

$$\sum Q = Q + Q_{с.в} + Q_{ХОВ} + Q_d + Q_M - Q_{охл}. \quad (28)$$

22. Расход воды в котлах, т/ч:

$$G_k = \frac{860 \sum Q}{t_1^{в.к} - t_2^{в.к}}. \quad (29)$$

23. Расход оборотной воды, т/ч:

$$G_{рец} = \frac{G_k (t_2^{в.к} - t_{обр}^{под})}{t_1^{в.к} - t_{обр}^{под}}. \quad (30)$$

24. Расход воды на байпас, т/ч:

$$G_{пер} = \frac{G_{вн} (t_1^{в.к} - t_1)}{t_1^{в.к} - t_{обр}^{под}}. \quad (31)$$

25. Расход воды через обратную линию от потребителей, т/ч:

$$G_{обр} = G_{вн} - G_{ут}. \quad (32)$$

26. Расчетный расход воды котлами, т/ч:

$$G'_k = G_{вн} + G_{гр}^{под} + G_{рец} - G_{пер}. \quad (33)$$

27. Расчетный расход по прямой линии к потребителям, т/ч:

$$G' = G'_k - G_{гр}^д - G_{гр}^{под} - G_{рец} + G_{пер}. \quad (34)$$

28. Разница между ранее выявленным и скорректированным потреблением воды потребителями, %:

$$\Delta G = \frac{G_{вн} - G'}{G_{вн}} 100\%. \quad (35)$$

Расчет считается завершенным, если разница составляет менее 3%.

Рассмотрим пример расчета тепловой схемы котельной с водогрейным котлом для закрытой системы отопления. Котельные необходимы для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения жилых зданий. Котельная расположена в городе Тамбове и работает на природном газе. Основа расчета СП 89.13330.2016 для трех режимов: МЗР, НХМ и ЛР. Принята двухступенчатая последовательная схема подогрева воды у абонентов для ГВС. Деаэрация ХОВ производится в деаэраторе при давлении 0,12 МПа. Тепловые сети работают по температурному графику 110/70.

Основные исходные и принятые для расчета данные приведены в табл. 2.

## 2. Исходные данные для расчета тепловой схемы котельной, работающей на закрытую систему теплоснабжения (рис. 1)

Наименование	Обозначение	Обоснование	Значения величины при характерных режимах работы котельной		
			МЗР	НХМ	ЛР
Место расположения котельной	–	Задано	г. Тамбов		
Максимальные расходы теплоты, МВт:					
– на отопление жилых и общественных зданий	$Q_o$	Задано	44,0		
– на вентиляцию общественных зданий	$Q_v$	Задано	7,6		
– на ГВС	$Q_{ГВС}$	Задано	15	15	12
Расчетная температура наружного воздуха для отопления, °С	$t_{p.o}$	Принята по [2]	–28	–8,8	
Расчетная температура наружного воздуха для вентиляции, °С	$t_v$	Принята по [2]	–14		
Температура воздуха внутри помещений, °С	$t_{вн}$	Принята по А.1	20	20	
Температура сырой воды, °С	$t_{c.в}$	Принята по [5]	5	5	15
Температура подогретой сырой воды перед ХВО, °С	$t'_{ХВО}$	Принята	19	19	19
Температура подпиточной воды после охладителя деаэрированной воды, °С	$t''_{подп}$	Принята	70	70	70

Наименование	Обозначение	Обоснование	Значения величины при характерных режимах работы котельной		
			МЗР	НХМ	ЛР
Коэффициент собственных нужд ХВО	$K_{\text{ХВО}}$	Принят	1,25	1,25	1,3
Температура воды на выходе из водогрейных котлов, °С	$t_1^{\text{в.к}}$	Принята	110	110	90
Температура воды на входе в водогрейный котел, °С	$t_2^{\text{в.к}}$	Принята	70	70	70
Расчетная температура горячей воды после местных теплообменников ГВС, °С	$t_{\text{обр}}^{\text{потр}}$	Принята	60	60	60
Предварительно принятый расход ХОВ, т/ч	$G'_{\text{ХОВ}}$	Принят	12	12	4,5
Предварительно принятый расход воды на подогрев ХОВ, т/ч	$G_{\text{гр}}^{\text{под}}$	Принят	6	6	1
Температура греющей воды после подогревателя ХОВ, °С	$t''_{\text{гр}}$	Принята	100	100	100
КПД подогревателей	$\eta$	Принят	0,98		

При расчете тепловой схемы в нижеуказанной последовательности определяются в программе MATLAB:

1. Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию для режима НХМ вычисляют по формуле (1):

```
>> %ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ
%Исходные данные:
tvn = 20; % Температура воздуха внутри помещений
tn = - 14; % Расчетная температура наружного воздуха для вентиляции
tro = - 25; %Расчетная температура наружного воздуха для отопления
% Коэффициент снижения расхода теплоты на отопление и вентиляцию
% для режима наиболее холодного месяца
Kov = (tvn-tn)/(tvn-tro)
Kov =
    0.7556
```

Для дальнейших расчетов принимаем  $K_{\text{о.в}} = 0,6$ .

2. Температура воды (°C) в подающей линии на нужды отопления и вентиляции для режима НХМ вычисляют по формуле (2):

```
>> %Температура воды в подающей линии на нужды отопления и вентиляции
%для режима наиболее холодного месяца
t1nhm = 18+64.5*(Kovpr)^0.8+67.5*Kovpr
t1nhm =
    101.3628
```

3. Температура обратной воды (°C) после систем отопления и вентиляции для режима НХМ вычисляют по формуле (3):

```
>> % Температура обратной воды после систем отопления и вентиляции
% для режима наиболее холодного месяца
t2nhm = t1nhm-80*(Kovpr)
t2nhm =
    53.3628
```

4. Отпуск теплоты (МВт) на отопление и вентиляцию вычисляют по формуле (4):

– для МЗР

```
>> %Исходные данные:
% Максимальный расход теплоты на отопление жилых
% и общественных зданий
Qo = 44;
% Максимальный расход теплоты на вентиляцию общественных зданий
Qv = 7.6;
% Отпуск теплоты на отопление и вентиляцию для максимально-зимнего
% режима
Qovmzr = Qo+Qv
Qovmzr =
    51.6000
```

– для режима НХМ

```
>> % Отпуск теплоты на отопление и вентиляцию для режима наиболее
% холодного месяца
Qovnhm = (Qo+Qv)*Kovpr
Qovnhm =
    30.9600
```

5. Суммарный отпуск теплоты (МВт) на нужды отопления, вентиляции и ГВС вычисляют по формуле (5):

– для МЗР

```
>> %Исходные данные:
% Максимальный расход теплоты на ГВС жилых
% и общественных зданий
Qgvs = 15;
% Суммарный отпуск теплоты на нужды отопления, вентиляции и ГВС
% для максимально-зимнего режима
Qmzr = Qovmzr + Qgvs
Qmzr =
    66.6000
```

– для режима НХМ

```
>> % Суммарный отпуск теплоты на нужды отопления, вентиляции и ГВС
% для режима наиболее холодного месяца
Qnhm = Qovnhm + Qgvs
Qnhm =
    45.9600
```

6. Расход воды (т/ч) в подающей линии системы ГВС потребителей для МЗР вычисляются по формуле (7):

```
>> %Исходные данные:
% Температура сырой воды
tsv = 5;
% Температура горячей воды, подаваемой потребителям
tgvspotr = 60;
% Расход воды в подающей линии системы ГВС потребителей
% для максимально-зимнего режима
Ggvspotr = 860*Qgvs/(tgvspotr-tsv)
Ggvspotr =
    234.5455
```

7. Тепловая нагрузка (МВт) подогревателя I ступени (на обратной линии сетевой воды) для режима НХМ вычисляется по формуле (8):

```
>> %7. Исходные данные:
% Минимальная разность температур греющей и подогреваемой воды
deltv = 10;
% Тепловая нагрузка (МВт) подогревателя I ступени
%(на обратной линии сетевой воды) для режима наиболее холодного месяца
QIgvsnhm = 0.00116*Ggvspotr*(t2nhm-(deltv+tsv))
QIgvsnhm =
    10.4375
```

8. Тепловая нагрузка (МВт) подогревателя II ступени для режима НХМ вычисляется по формуле (9):

```

>> %8. Исходные данные:
% Максимальные расходы теплоты на ГВС
Qrgvc = 15;
% Тепловая нагрузка (МВт) подогревателя II ступени
% для режима наиболее холодного месяца
QIIgvsnhm = Qrgvc-QIgvsnhm
QIIgvsnhm =
    4.5625

```

9. Расход сетевой воды (т/ч) на местный теплообменник II ступени, т.е. на ГВС, для режима НХМ вычисляется по формуле (6):

```

>> % 9. Расход сетевой воды (т/ч) на местный теплообменник II ступени,
%т.е. на ГВС, для режима наиболее холодного месяца
GIIgvsnhm = 860*QIIgvsnhm/(t1nhm-t2nhm)
GIIgvsnhm =
    81.7452

```

10. Расход сетевой воды (т/ч) на местный теплообменник для ЛР вычисляется по формуле (10):

```

>> % 10. Исходные данные:
% Максимальные расходы теплоты на ГВС на лето
Qgvs1 = 12;
% Температура воды на выходе из водогрейных котлов летом
t11 = 70;
% Температура сырой воды летом
tsv1 = 15;
% Расход сетевой воды (т/ч) на местный теплообменник
% для летнего режима
Ggvs1 = 860*Qgvs1/(t11-(deltv+tsv1))
Ggvs1 =
    229.3333

```

11. Расход сетевой воды (т/ч) на отопление и вентиляцию вычисляется по формуле (11):

– для МЗР

```

>> % 11. Исходные данные:
% Температура воды на выходе из водогрейных котлов
t1mzr = 110;
% Температура воды на входе из водогрейных котлов
t2mzr = 70;
% Расход сетевой воды (т/ч) на отопление и вентиляцию:
% для максимально-зимнего режима
Govmzr = 860*Qovmzr/(t1mzr-t2mzr)
Govmzr =
    1.1094e+03

```



- для режима НХМ

```
>> % 11.1 Расход сетевой воды (т/ч) на отопление и вентиляцию:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Govnhm = 860*Qovnhm/(t1nhm-t2nhm)  
Govnhm =  
554.7000
```

12. Расход сетевой воды (т/ч) на отопление, вентиляцию и ГВС вычисляется по формуле (12):

- для МЗР

```
>> % 12. Расход сетевой воды (т/ч) на отопление, вентиляцию и ГВС:  
% для максимально-зимнего режима  
Govgmzr = Govmzr+0  
Govgmzr =  
1.1094e+03
```

- для режима НХМ

```
>> % 12.1. Расход сетевой воды (т/ч) на отопление, вентиляцию и ГВС:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Govgnhm = Govnhm+GIIgvsnhm  
Govgnhm =  
636.4452
```

- для ЛР

```
>> % 12.2. Расход сетевой воды (т/ч) на отопление, вентиляцию и ГВС:  
% для летнего режима  
Govglr = 0+Ggvs1  
Govglr =  
229.3333
```

13. Температура (°C) обратной сетевой воды после внешних потребителей вычисляется по формуле (14):

- для МЗР

```
>> % 13. Исходные данные:  
eta = 0.98; %КПД подогревателей  
% Температура обратной сетевой воды после внешних потребителей:  
% для максимально-зимнего режима  
tobrmzr=t2mzr-(860*Qpgvc/(Govgmzr*eta))  
tobrmzr =  
58.1348
```

- для режима НХМ вычисляется по формуле (14)

```
>> % 13.1. Температура обратной сетевой воды после внешних потребителей
% для наиболее холодного месяца
tobrnhm=t2nhm-(860*QIgvsnhm/(Govgnhm*eta))
tobrnhm =
    38.9713
```

- для ЛР вычисляется по формуле (15)

```
>> % 13.2. Температура обратной сетевой воды после внешних потребителей
% для летнего режима
tobrllr=t1l-(860*Qgvsl/(Govglr*eta))
tobrllr =
    24.0816
```

14. Расход подпиточной воды (т/ч) для восполнения утечек в тепловой сети внешних потребителей вычисляется по формуле (16):

- для МЗР

```
>> % 14. Исходные данные:
% Потери воды в закрытой системе теплоснабжения и в системе потребителей
Kts = 2;
% Расход подпиточной воды (т/ч) для восполнения утечек
% в тепловой сети внешних потребителей:
% для максимально-зимнего режима
Gutmzr = 0.01*Kts*Govgmzr
Gutmzr =
    22.1880
```

- для режима НХМ

```
>> % 14.1. Расход подпиточной воды (т/ч) для восполнения утечек
% в тепловой сети внешних потребителей:
% для режима наиболее холодного месяца
Gutnhm = 0.01*Kts*Govgnhm
Gutnhm =
    12.7289
```

- для ЛР

```
>>
% 14.2. Расход подпиточной воды (т/ч) для восполнения утечек
% в тепловой сети внешних потребителей:
% для летнего режима
Gutllr = 0.01*Kts*Govglr
Gutllr =
    4.5867
```

15. Расход сырой воды (т/ч), поступающей на ХВО, вычисляется по формуле (17):

– для МЗР

```
>> % 15. Расход сырой воды (т/ч), поступающей на ХВО:
% для максимально-зимнего режима
Gsvmzr=1.25*Gutmzr
Gsvmzr =
    27.7350
```

– для режима НХМ

```
>> % 15.1 Расход сырой воды (т/ч), поступающей на ХВО:
% для режима наиболее холодного месяца
Gsvnhm=1.25*Gutnhm
Gsvnhm =
    15.9111
```

– для ЛР

```
>> % 15.2 Расход сырой воды (т/ч), поступающей на ХВО:
% для летнего режима
Gsvlr=1.25*Gutlr
Gsvlr =
     5.7333
```

16. Температура ХОВ (°С) после охладителя деаэрированной воды вычисляется по формуле (18):

– для МЗР

```
>> % 16. Исходные данные:
G1hov = 12; % Предварительно принятый расход ХОВ
t1podp = 104; % Температура подпиточной воды после деаэратаора
% Температура подпиточной воды после охладителя деаэрированной воды
t2podp = 70;
t1hov = 19; % Температура подогретой сы-рой воды перед ХВО
% Температура ХОВ после охладителя деаэрированной воды:
% для максимально-зимнего режима
t2hovmzr=(Gutmzr/G1hov)*(t1podp-t2podp)*eta+t1hov
t2hovmzr =
    80.6087
```

– для режима НХМ

```
>> % 16.1 Температура ХОВ после охладителя деаэрированной воды:
% для режима наиболее холодного месяца
t2hovnhm=(Gutnhm/G1hov)*(t1podp-t2podp)*eta+t1hov
t2hovnhm =
    54.3439
```

– для ЛР

```
>> % 16.2 Температура ХОВ после охладителя деаэрированной воды:
% для летнего режима
t2hovlvr=(Gutlvr/Glhov)*(t1podp-t2podp)*eta+t1hov
t2hovlvr =
    31.7356
```

17. Температура ХОВ (°C), поступающей в деаэрактор, вычисляется по формуле (19):

– для МЗР

```
>> % 17.Исходные данные:
Gpodgr = 6; % Расход греющей воды на подогреватель ХОВ
Gpodgrlvr=1; % Расход греющей воды на подогреватель ХОВ, летний режим
Glhov=12; % Предварительно принятый расход ХОВ
Glhovlvr=4.5; % Предварительно принятый расход ХОВ, летний режим
tvk1=110; % Температура воды на выходе из водогрейного котла
tvk1lvr=109; % Температура воды на выходе из водогрейного котла, летний
t2gr=108; % Температура греющей воды после подогревателя ХОВ
% Температура ХОВ, поступающей в деаэрактор:
% для максимально-зимнего режима
tdhovmzr = (Gpodgr/Glhov)*(tvk1-t2gr)*eta+t2hovmzr
tdhovmzr =
    81.5887
```

– для режима НХМ

```
>> % 17.1 Температура ХОВ, поступающей в деаэрактор:
% для режима наиболее холодного месяца
tdhovnhm = (Gpodgr/Glhov)*(tvk1-t2gr)*eta+t2hovnhm
tdhovnhm =
    55.3239
```

– для ЛР

```
>> % 17.2 Температура ХОВ, поступающей в деаэрактор:
% для летнего режима
tdhovlvr = (Gpodgr/Glhov)*(tvk1-t2gr)*eta+t2hovlvr
tdhovlvr =
    32.7156
```

18. Проверяется температура сырой воды (°C) перед ХВО, вычисляется по формуле (20):

– для МЗР

```
>> % 18.Исходные данные:
% Температура подпиточной воды после охладителя деаэрированной воды
t2podp=70;
% Проверяется температура сырой воды перед ХВО:
% для максимально-зимнего режима
t1hovmzr=(Gpodgr/Gsvmzr)*(t2gr-t2podp)*eta+tstv
t1hovmzr =
    13.0562
```

– для режима НХМ

```
>> % 18.1 Проверяется температура сырой воды перед ХВО:
% для режима наиболее холодного месяца
t1hovnhm=(Gpodgr/Gsvnhm)*(t2gr-t2podp)*eta+tstv
t1hovnhm =
    19.0430
```

– для ЛР

```
>> % 18.2 Проверяется температура сырой воды перед ХВО:
% для летнего режима
t1hovlr=(Gpodgrlr/Gsvlr)*(t2gr-t2podp)*eta+tsvl
t1hovlr =
    21.4953
```

19. Расход греющей воды (т/ч) на деаэратор вычисляется по формуле (21):

– для МЗР

```
>> % 19.Исходные данные:
% Температура воды на выходе из водогрейного котла
t1vklr=90;
% Расход греющей воды (т/ч) на деаэратор:
% для максимально-зимнего режима
Gdgrmzr=(Gutmzr*t1podp-G1hov*tdhovmzr)/t1mzr
Gdgrmzr =
    12.0772
```

– для режима НХМ

```
>> % 19.1 Расход греющей воды (т/ч) на деаэратор:
% для режима наиболее холодного месяца
Gdgrnhm=(Gutnhm*t1podp-G1hov*tdhovnhm)/t1mzr
Gdgrnhm =
    5.9993
```

– для ЛР

```
>> % 19.2 Расход греющей воды (т/ч) на деаэратор:  
% для летнего режима  
Gdgrlr=(Gutlr*t1podp-Gihov*tdhovlr)/t1vklr  
Gdgrlr =  
0.9381
```

20. Проверяется расход ХОВ (т/ч) на подпитку тепловой сети, вычисляется по формуле (22):

– для МЗР

```
>> % 20. Проверяется расход ХОВ (т/ч) на подпитку тепловой сети:  
% для максимально-зимнего режима  
Ghovmzr=Gutmzr-Gdgrmzr  
Ghovmzr =  
10.1108
```

– для режима НХМ

```
>> % 20.1 Проверяется расход ХОВ (т/ч) на подпитку тепловой сети:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Ghovnhm=Gutnhm-Gdgrnhm  
Ghovnhm =  
6.7296
```

– для ЛР

```
>> % 20.2 Проверяется расход ХОВ (т/ч) на подпитку тепловой сети:  
% для летнего режима  
Ghovlr=Gutlr-Gdgrlr  
Ghovlr =  
3.6486
```

21. Расход теплоты (МВт) на подогрев сырой воды вычисляется по формуле (23):

– для МЗР

```
>> % 21. Расход теплоты (МВт) на подогрев сырой воды:  
% для максимально-зимнего режима  
Qsvmzr=0.00116*(Gsvmzr/eta)*(t1hovmzr-tsv)  
Qsvmzr =  
0.2645
```

– для режима НХМ

```
>> % 21.1 Расход теплоты (МВт) на подогрев сырой воды:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Qsvnhm=0.00116*(Gsvnhm/eta)*(t1hovnhm-tsv)  
Qsvnhm =  
0.2645
```

– для ЛР

```
>> % 21.2 Расход теплоты (МВт) на подогрев сырой воды:  
% для летнего режима  
Qsvlr=0.00116*(Gsvlr/eta)*(tihovlr-tsvl)  
Qsvlr =  
0.0441
```

22. Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ вычисляется по формуле (24):

– для МЗР

```
>> % 22. Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ:  
% для максимально-зимнего режима  
Qhovmzr=0.00116*(Ghovmzr/eta)*(tdhovmzr-t2hovmzr)  
Qhovmzr =  
0.0117
```

– для режима НХМ

```
>> % 22.1 Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Qhovnhm=0.00116*(Ghovnhm/eta)*(tdhovnhm-t2hovnhm)  
Qhovnhm =  
0.0078
```

– для ЛР

```
>> % 22.2 Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ:  
% для летнего режима  
Qhovlr=0.00116*(Ghovlr/eta)*(tdhovlr-t2hovlr)  
Qhovlr =  
0.0042
```

23. Расход теплоты (МВт) на деаэрактор вычисляется по формуле (25):

– для МЗР

```
>> % 23. Исходные данные:  
% Температура подпиточной воды после деаэрактора для летнего режима  
t1podplr = 70;  
% 23. Расход теплоты (МВт) на деаэрактор:  
% для максимально-зимнего режима  
Qdmzr=0.00116*(Gdgrmzr/eta)*(t1mzr-t1podp)  
Qdmzr =  
0.0858
```

– для режима НХМ

```
>> % 23.1 Расход теплоты (МВт) на деаэрактор:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Qdnhm=0.00116*(Gdgrnhm/eta)*(t1mzr-t1podp)  
Qdnhm =  
0.0426
```

– для ЛР

```
>> % 23.1 Расход теплоты (МВт) на деаэратор:  
% для летнего режима  
Qd1r=0.00116*(Gdgr1r/eta)*(t1vklr-t1podplr)  
Qd1r =  
    0.0222
```

24. Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ в охладителе деаэрированной воды вычисляется по формуле (26):

– для МЗР

```
>> % 24. Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ в охладителе  
% деаэрированной воды:  
% для максимально-зимнего режима  
Qohl1mzr=0.00116*(Ghov1mzr/eta)*(t2hov1mzr-t1hov)  
Qohl1mzr =  
    0.7373
```

– для режима НХМ

```
>> % 24.1 Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ в охладителе  
% деаэрированной воды:  
% для режима наиболее холодного месяца  
Qohl1nhm=0.00116*(Ghov1nhm/eta)*(t2hov1nhm-t1hov)  
Qohl1nhm =  
    0.2815
```

– для ЛР

```
>> % 24.2 Расход теплоты (МВт) на подогрев ХОВ в охладителе  
% деаэрированной воды:  
% для летнего режима  
Qohl1lr=0.00116*(Ghov1lr/eta)*(t2hov1lr-t1hov)  
Qohl1lr =  
    0.0550
```

25. Суммарный расход теплоты (МВт), необходимый в водогрейных котлах, вычисляется по формуле (28):

– для МЗР

```
>> % 25. Суммарный расход теплоты, необходимый в водогрейных котлах  
% для максимально-зимнего режима  
SIGM_Qmzr=Qmzr+Qsvmzr+Qhov1mzr+Qdmzr-Qohl1mzr  
SIGM_Qmzr =  
    66.2247
```



- для режима НХМ

```
>> % 25.1 Суммарный расход теплоты, необходимый в водогрейных котлах
% для режима наиболее холодного месяца
SIGM_Qnhm=Qnhm+Qsvnhm+Qhovnhm+Qdnhm-Qohlhnm
SIGM_Qnhm =
45.9934
```

- для ЛР

```
>> % 25.2 Суммарный расход теплоты, необходимый в водогрейных котлах
% для летнего режима
SIGM_Qlr=Qpgvc+Qsvlr+Qhovlr+Qdlr-Qohlrlr
SIGM_Qlr =
15.0155
```

26. Расход воды (т/ч) через водогрейные котлы вычисляется по формуле (29):

- для МЗР

```
>> % 26. Расход воды (т/ч) через водогрейные котлы
% для максимально-зимнего режима
Gkmzr=860*SIGM_Qmzr/(t1mzr-t2mzr)
Gkmzr =
1.4238e+03
```

- для режима НХМ

```
>> % 26.1 Расход воды (т/ч) через водогрейные котлы
% для режима наиболее холодного месяца
Gknhm=860*SIGM_Qnhm/(t1mzr-t2mzr)
Gknhm =
988.8571
```

- для ЛР

```
>> % 26.2 Расход воды (т/ч) через водогрейные котлы
% для летнего режима
Gklr=860*SIGM_Qlr/(t1vklr-t2mzr)
Gklr =
645.6672
```

27. Расход воды (т/ч) на рециркуляцию вычисляется по формуле (30):

- для МЗР

```
>> % 27. Расход воды (т/ч) на рециркуляцию
% для максимально-зимнего режима
Grezmzr=Gkmzr*(t2mzr-tobrmzr)/(t1mzr-tobrmzr)
Grezmzr =
325.7298
```

- для режима НХМ

```
>> % 27.1 Расход воды (т/ч) на рециркуляцию
% для режима наиболее холодного месяца
Greznhm=Gknhm*(t2mzr-tobrnhm)/(t1mzr-tobrnhm)
Greznhm =
431.9797
```

- для ЛР

```
>> % 27.2 Расход воды (т/ч) на рециркуляцию
% для летнего режима
Grezlzr=Gklzr*(t2mzr-tobrlzr)/(t1vklzr-tobrlzr)
Grezlzr =
449.7682
```

28. Расход воды (т/ч) по перепускной линии вычисляется по формуле (31):

- для МЗР

```
>> % 28. Расход воды (т/ч) по перепускной линии
% для максимально-зимнего режима
Gpermzr=Govgmzr*(t1mzr-t1mzr)/(t1mzr-tobrmzr)
Gpermzr =
0
```

- для режима НХМ

```
>> % 28.1 Расход воды (т/ч) по перепускной линии
% для режима наиболее холодного месяца
Gpernhm=Govgnhm*(t1mzr-t1nhm)/(t1mzr-tobrnhm)
Gpernhm =
77.3926
```

- для ЛР

```
>> % 28.2 Расход воды (т/ч) по перепускной линии
% для летнего режима
Gperlzlzr=Govglzlzr*(t1vklzr-t1l)/(t1vklzr-tobrlzr)
Gperlzlzr =
69.5810
```

29. Расход сетевой воды (т/ч) от внешних потребителей через обратную линию вычисляется по формуле (32):

- для МЗР

```
>> % 29.Расход сетевой воды от внешних потребителей через обратную лин
% для максимально-зимнего режима
Gobrmzr=Govgmzr-Gutmzr
Gobrmzr =
  1.0872e+03
```

– для режима НХМ

```
>> % 29.1 Расход сетевой воды от внешних потребителей через обратную л
% для режима наиболее холодного месяца
Gobrnhm=Govgnhm-Gutnhm
Gobrnhm =
  623.7163
```

– для ЛР

```
>> % 29.2 Расход сетевой воды от внешних потребителей через обратную л
% для летнего режима
Gobrlr=Govglr-Gutlr
Gobrlr =
  224.7467
```

30. Расчетный расход воды (т/ч) через котлы вычисляется по формуле (33):

– для МЗР

```
>> % 30.Расчетный расход воды (т/ч) через котлы
% для максимально-зимнего режима
G1kmzr=Govgmzr+Gpodgr+Grezmzr-Gpermzr
G1kmzr =
  1.4411e+03
```

– для режима НХМ

```
>> % 30.1 Расчетный расход воды (т/ч) через котлы
% для режима наиболее холодного месяца
G1knhm=Govgnhm+Gpodgr+Greznhm-Gpernhm
G1knhm =
  997.0323
```

– для ЛР

```
>> % 30.2 Расчетный расход воды (т/ч) через котлы
% для летнего режима
G1klr=Govglr+Gpodgrlr+Grezlr-Gperlr
G1klr =
  610.5205
```

31. Расход воды (т/ч), поступающей к внешним потребителям по прямой линии, вычисляется по формуле (34):

– для МЗР

```
>> % 31. Расход воды, поступающей к внешним потребителям по прямой линии
% для максимально-зимнего режима
G1mzr=G1kmzr-Gdgrmzr-Gpodgr-Grezmzr+Gpermrz
G1mzr =
1.0973e+03
```

– для режима НХМ

```
>> % 31.1 Расход воды, поступающей к внешним потребителям по прямой ли
% для режима наиболее холодного месяца
G1nhm=G1knhm-Gdgrnhm-Gpodgr-Greznhm+Gpernhm
G1nhm =
630.4460
```

– для ЛР

```
>> % 31.2 Расход воды, поступающей к внешним потребителям по прямой ли
% для летнего режима
G1lr=G1klr-Gdgrlr-Gpodgrlr-Grezlr+Gperlr
G1lr =
228.3953
```

32. Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды внешними потребителями вычисляется по формуле (35):

– для МЗР

```
>> % 32. Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды
% внешними потребителями
% для максимально-зимнего режима
DELTA_mzr=(Govgmzr-G1mzr)*100/Govgmzr
DELTA_mzr =
1.0886
```

– для режима НХМ

```
>> % 32.1 Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды
% внешними потребителями
% для режима наиболее холодного месяца
DELTA_nhm=(Govgnhm-G1nhm)*100/Govgnhm
DELTA_nhm =
0.9426
```

– для ЛР

```
>> % 32.2 Разница между найденным ранее и уточненным расходом воды
% внешними потребителями
% для летнего режима
DELTA_lr=(Govglr-Gllr)*100/Govglr
DELTA_lr =
    0.4090
```

### 3. Технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Теплопроизводительность номинальная, МВт	58,2
Максимальная температура нагрева воды, °С, не более	150
Температура воды на входе в котел, °С, не менее	70
Рабочее давление, МПа, не более	2,25
Расход воды через котел, т/ч	618
Габаритные размеры, мм:	
– длина	9420
– ширина	7250
– высота	13 646

Расшифровка обозначения ПТВМ-30М:

П – прямоточный;

Т – теплофикационный;

В – водогрейный;

М – мазутный;

30 – максимальная (номинальная) теплопроизводительность в Гкал/ч.

Котел ПТВМ-30М является глубокой модернизацией котла ПТВМ-30.

Котел ПТВМ-30М водотрубный с прямоточной схемой циркуляции воды, имеет П-образную компоновку поверхностей нагрева.

Далее распишем параметры, необходимые для выбора котла, в табл. 4.

Расчетный расход воды через один котел при МЗР 1442/2 = 721 т/ч, что меньше 618 т/ч.

При ЛР теплоснабжения потребители будут обеспечены одним котлом, который будет загружен примерно на 20%.

При режиме НХМ в работе будут находиться два котла.

Далее представлены исходные данные для выполнения лабораторной работы (табл. 5).

#### 4. Параметры для выбора котла

Наименование	Единица измерения	Значения величины при характерных режимах работы котельной		
		МЗР	НХМ	ЛР
Суммарный расход теплоты, необходимый в водогрейных котлах	МВт	66,42	45,993	11,992
Расчетный расход воды через котлы	т/ч	1442	1015	541,2
Температура воды на выходе из водогрейных котлов	°С	110	110	90

#### 5. Исходные данные по вариантам для лабораторной работы

№ п/п	График теплосети	Тип системы теплоснабжения	Тип деаэратора	$Q_{гв}$ , МВт	Город
1	110/70	Закрытая	Атм.	12	Архангельск
2	120/70	Закрытая	Вак.	10	Барнаул
3	120/70	Закрытая	Атм.	5	Белгород
4	105/70	Закрытая	Вак.	7	Брянск
5	110/70	Закрытая	Атм.	3	Владивосток
6	110/70	Закрытая	Вак.	1	Владикавказ
7	120/70	Закрытая	Атм.	10	Владимир
8	115/70	Закрытая	Вак.	5	Волгоград
9	120/70	Закрытая	Атм.	3	Воронеж
10	120/70	Закрытая	Атм.	2	Иркутск
11	110/70	Закрытая	Вак.	8	Казань

*Продолжение табл. 5*

№ п/п	График теплосети	Тип системы теплоснабжения	Тип деаэратора	$Q_{гв}$ , МВт	Город
12	110/70	Закрытая	Атм.	4	Краснодар
13	105/70	Закрытая	Вак.	8	Красноярск
14	120/70	Закрытая	Атм.	3	Курск
15	110/70	закрытая	Вак.	4	Липецк
16	120/70	Закрытая	Атм.	9	Москва
17	105/70	Закрытая	Вак.	5	Н. Новгород

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения лабораторной работы при определенных исходных данных можно подобрать водогрейные котлы и вспомогательное оборудование котельной для различных регионов.

Программа расчета тепловой схемы котельной с водогрейными котлами позволяет быстро и точно рассчитать суммарный расход теплоты, необходимый в водогрейных котлах, расход воды через водогрейные котлы, расход подпиточной воды для восполнения утечек в тепловой сети внешних потребителей.

Так же программный продукт позволяет определить разницу между найденным ранее и уточненным расходом воды внешними потребителями котельной.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Эстеркин, Р. И.** Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие для техникумов / Р. И. Эстеркин. – СПб. : Интеграл, 2011. – 280 с.
2. **СП 131.13330.2020** «Строительная климатология» от 25.06.2021 / Официальный интернет-портал правовой информации. – 24.12.2020.
3. **СанПиН 2.2.4.548–96** «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. № 21). Взамен Санитарных норм микроклимата производственных помещений, утвержденных Минздравом СССР от 31 марта 1986 г. № 4088-86.
4. **ГОСТ 30494–2011** «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2012 г. № 191-ст). Дата введения : 1 января 2013 г.
5. **СНиП II-Г.10–73\*** (II-36-73\*) Тепловые сети. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 52 с.

Учебное электронное издание

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

Методические указания

С о с т а в и т е л ь

БАЛАШОВ Алексей Александрович

Редактор Л. В. Комбарова

Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова

Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбаровой

Подписано к использованию 29.06.2023.

Тираж 50 шт. Заказ № 69

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»

392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Тел./факс (4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru