

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые
источники энергии»

Методические указания
для выполнения расчетно-графической работы по дисциплине

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

для специальности
1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии
и энергетический менеджмент»

Электронное учебное издание

Минск
БНТУ
2025

УДК 621.18+66.041÷658.18 (075.8)
ББК 31.38я7
М54

С о с т а в и т е л и :

И.В. Янцевич, С.В. Климович

Р е ц е н з е н т ы :

главный специалист управления торфяной промышленности
государственного объединения по топливу и газификации «Белтопгаз»

Д.Б. Джелилов

заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции»

Белорусского национального технического университета,

д-р техн. наук, профессор *Н.Б. Карницкий*

Рекомендована к изданию:

Кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета (протокол № 4 от 06.10.2025 г.)

Методической комиссией факультета технологий управления и гуманитаризации Белорусского национального технического университета (протокол № 1 от 16.10.2025 г.)

Методические указания подготовлены в целях оказания помощи студентам специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» при выполнении расчетно-графической работы (РГР) на тему «Составление принципиальной схемы ТЭЦ».

Приводятся основные методики, расчетные формулы, а также общие сведения, необходимые студентам в ходе выполнения РГР.

Полученные в ходе расчетов знания и навыки используются в дипломном проектировании.

© Белорусский национальный
технический университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание и оформление работы	4
1 Характеристика промышленно-жилого района, расчетные тепловые нагрузки, выбор климатических данных	5
2 Определение годового расхода теплоты	6
3 Построение годовых графиков тепловой нагрузки	7
4 Основные показатели отпуска тепловой энергии	8
5 Выбор основного оборудования ТЭЦ	9
6 Описание принципиальной тепловой схемы ТЭЦ	11
Список использованных источников	15
Приложение 1 Характеристика турбин с отопительным отбором пара	16
Приложение 2 Характеристика турбин с производственным отбором пара	17
Приложение 3 Характеристика турбин с противодавлением	17
Приложение 4 Характеристика турбин с производственным и теплофикационным отборами пара	18
Приложение 5 Характеристика некоторых котельных агрегатов большой производительности	19
Приложение 6 Водогрейные теплофикационные котлы	19
Приложение 7 Технические характеристики водогрейных котлов	20

Содержание и оформление работы

Изучение дисциплины «Теплоэнергетические системы» включает расчетно-графическую работу (РГР), объект исследования которой – промышленно-жилой район с теплоснабжением от ТЭЦ. Цель работы – выбор основного оборудования ТЭЦ, составление и описание ее принципиальной схемы.

Исходные данные РГР (основные характеристики промышленно-жилого района и системы теплоснабжения, расчетные тепловые нагрузки) выдаются преподавателем в соответствии с вариантом задания.

Расчетно-графическая работа включает пояснительную записку (РПЗ) и графическую часть. РПЗ включает: титульный лист, задание на РГР, оглавление, введение, основную расчетно-графическую часть, заключение; список использованной литературы. Основная часть должна содержать расчеты и пояснения к ним. Теоретический материал в РПЗ не включается. Объем РПЗ около 15 страниц.

Во введении РГР приводят описание объекта исследования согласно заданию. В заключении приводят итоги и выводы проделанной работы.

Оформление должно соответствовать требованиям ГОСТ 2.004, 2.105, 2.106, 2.103.

Текст располагают на одной стороне листа формата А4 с соблюдением одинарного интервала и размеров полей левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 20 мм. Шрифт текста Times New Roman размером 14 пунктов. Абзацы в тексте начинают отступом, равным пяти знакам.

Нумерация страниц пояснительной записки сквозная, в правом верхнем углу страницы. Номера страниц на титульном листе и на задании не ставятся, но учитываются при этом.

Формулы, используемые в расчетах, должны быть расшифрованы в той последовательности, в которой символы приведены в формуле, с указанием размерностей всех буквенных величин. Пояснения символов и числовых коэффициентов приводятся непосредственно под формулой.

На все таблицы и рисунки должны быть сделаны ссылки в тексте до их изображения. При ссылках в тексте на порядковые номера формул, таблиц, рисунков сокращения слов не допускаются, например, «в формуле (1.1)», «на рисунке 1.1».

При оформлении цифрового материала слово «Таблица» с номером и наименованием (при наличии) указывают один раз слева над таблицей. Название таблицы (при наличии) следует помещать сразу после номера таблицы, например, «Таблица 1.1 – Основные характеристики».

Иллюстрации нумеруют в пределах раздела. Слово «Рисунок», номер и наименование помещают после рисунка и пояснительных данных (если имеются), например, «Рисунок 3.1 – Принципиальная схема ТЭЦ»

Графический материал РГР оформляется на листах формата А3 согласно ГОСТ 2.104-2006.

1 Характеристика промышленно-жилого района, расчетные тепловые нагрузки, выбор климатических данных

Объектом исследования является промышленно-жилой район, теплоснабжение которого осуществляется от ТЭЦ (рис. 1.1).

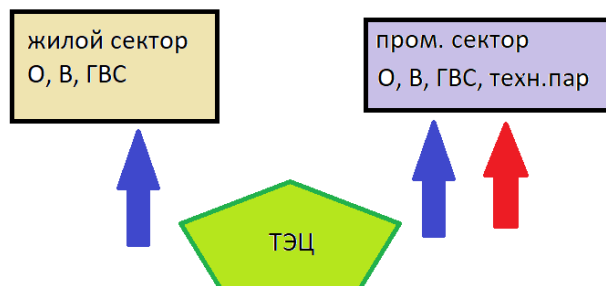


Рисунок 1.1

Описание промышленно-жилого района должно содержать его ключевые характеристики: особенности, его назначение и функциональность. Назначение объекта — это цель его создания и использования, которая определяет, для чего именно предназначен данный объект. Функция объекта — это предназначение, роль или действие, которое объект выполняет.

Значения расчетных тепловых нагрузок сводят с таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Расчетная тепловая нагрузка на нужды отопления, вентиляции, горячего водоснабжения

Значения	Расчетные расходы теплоты, кВт					
	Q_{omax}	Q_{vmax}	Q_{hm}	Q_{hmax}	Q_{shh}	ΣQ^{max}
По заданию						
С учетом потерь в тепловых сетях 5 %						

Полученные значения расчетных тепловых нагрузок используют для определения годового расхода теплоты.

Климатические данные района теплоснабжения [1]:

- расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_o – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период t_{om} ;
- продолжительность отопительного периода, n_o , час;
- средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций (оформляют в виде таблицы 1.2).

Таблица 1.2 – Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций [1, 2]

Температура воздуха, °С	Средняя продолжительность температуры воздуха различных градаций n , ч			
	Обл. город	Расчет продолжительности для указанной температуры и ниже ее		Кратно 4 °С
От –30 до –28,1 включ.		–28 °С и ниже		
“ –28 “ –26,1 “		–26 °С и ниже		
“ –26 “ –24,1 “		–24 °С и ниже		
“ –24 “ –22,1 “		–22 °С и ниже		
“ –22 “ –20,1 “		–20 °С и ниже		
“ –20 “ –18,1 “		–18 °С и ниже		
“ –18 “ –16,1 “		–16 °С и ниже		
“ –16 “ –14,1 “		–14 °С и ниже		
“ –14 “ –12,1 “		–12 °С и ниже		
“ –12 “ –10,1 “		–10 °С и ниже		
“ –10 “ –8,1 “		–8 °С и ниже		
“ –8 “ –6,1 “		–6 °С и ниже		
“ –6 “ –4,1 “		–4 °С и ниже		
“ –4 “ –2,1 “		–2 °С и ниже		
“ –2 “ –0,1 “		0 °С и ниже		
“ 0 “ 1,9 “		2 °С и ниже		
“ 2 “ 3,9 “		4 °С и ниже		
“ 4 “ 5,9 “		6 °С и ниже		
“ 6 “ 7,9 “		8 °С и ниже		*

Примечание: *значения продолжительности отопительного периода для района проектирования и областных городов могут не совпадать. Необходимо принимать значение для района проектирования.

2 Определение годового расхода теплоты

Годовой расход теплоты потребителями промышленно-жилого района определяют по отдельным видам теплового потребления, используя методику согласно [2, 3].

Годовой расход теплоты на коммунально-бытовые нужды потребителями района определяют по формуле

$$\sum Q^{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_v^{\text{год}} + Q_{hm}^{\text{год}}, \quad (2.1)$$

где Q_o^{zod} , Q_v^{zod} , Q_{hm}^{zod} – соответственно годовые расходы теплоты на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, Вт·ч:

$$Q_o^{zod} = Q_{om} \cdot n_o; \quad (2.2)$$

$$Q_v^{zod} = \frac{Q_{vm} \cdot n_o \cdot z}{24}; \quad (2.3)$$

$$Q_{hm}^{zod} = Q_{hm} \cdot n_o + Q_{hm}^s \cdot (8400 - n_o), \quad (2.4)$$

где Q_{om} , Q_{vm} – соответственно *средние* тепловые потоки на отопление и вентиляцию за отопительный период, Вт:

$$Q_{om} = Q_{omax} \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_o}, \quad (2.5)$$

$$Q_{ov} = Q_{vmax} \frac{t_i - t_{om}}{t_i - t_o}, \quad (2.6)$$

t_{om} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

n_o – продолжительность отопительного периода, ч;

z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции в течение суток (принимается 16 ч);

8400 – количество часов работы системы горячего водоснабжения в году.

3 Построение годовых графиков тепловой нагрузки

На основании известных расчетных расходов теплоты по всем видам тепловой нагрузки промышленно-жилого района строят годовые графики тепловой нагрузки (рис. 3.1), которые состоят из графика часового расхода теплоты (левой части) и графика продолжительности тепловой нагрузки (правой части) [2, 3].

Общая площадь, ограниченная осями координат Q – n и кривой расхода теплоты, представляет собой *годовой расход теплоты* потребителями данного района.

Графики теплового потребления необходимы для решения ряда вопросов централизованного теплоснабжения. В данном РГР график продолжительности тепловой нагрузки необходим для определения ориентировочного значения коэффициента теплофикации.

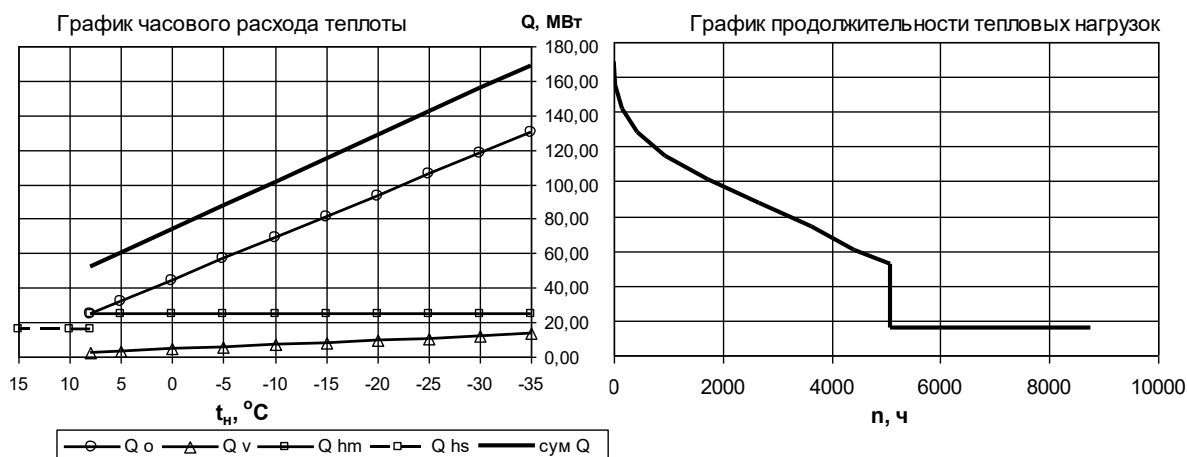


Рисунок 3.1 – Годовые графики тепловых нагрузок

Годовые графики тепловых нагрузок включают в *графическую часть* – лист формата А3. На графики наносят основные показатели отпуска тепловой энергии.

4 Основные показатели отпуска тепловой энергии

Построив график продолжительности тепловой нагрузки и определив годовой расход теплоты, по графику определяют *основные показатели* теплового потребления [3].

К *основным показателям отпуска тепловой энергии* потребителям от источника теплоснабжения относятся:

- средняя тепловая нагрузка Q_c^{cp} , Вт, за отопительный сезон;
- число часов использования $n_{и.м}$, ч, максимальной нагрузки за отопительный сезон;
- коэффициент часовой неравномерности $k_{ч}$ расхода теплоты за отопительный сезон.

Величины $n_{и.м}$ и $k_{ч}$ характеризуют *неравномерность потребления* теплоты за отопительный сезон продолжительностью n_o .

Если на *оси абсцисс* графика продолжительности построить прямоугольник с основанием, равным продолжительности отопительного периода n_o , и площадью, равной площади графика продолжительности в пределах отопительного сезона $Q_c^{год}$, то высота этого прямоугольника будет равна *среднему расходу теплоты* Q_c^{cp} , Вт, за отопительный сезон:

$$Q_c^{cp} = Q_c^{год} / n_o, \quad (4.1)$$

где $Q_c^{год}$ – годовой расход теплоты в течение зимнего сезона, ГВт·ч:

$$Q_c^{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_v^{\text{год}} + Q_{\text{hm}} n_o. \quad (4.2)$$

Если на *оси ординат* графика продолжительности построить прямоугольник высотой, равной максимальной суммарной тепловой нагрузке ΣQ^{max} , и площадью, равной площади графика продолжительности в пределах отопительного сезона $Q_c^{\text{год}}$, то основание этого прямоугольника будет равно *длительности использования* $n_{\text{и.м}}$, ч, расчетной (максимальной) тепловой нагрузки за отопительный сезон:

$$n_{\text{и.м}} = Q_c^{\text{год}} / \Sigma Q^{\text{max}}. \quad (4.3)$$

Коэффициент часовой неравномерности расхода теплоты за отопительный сезон:

$$k_{\text{ч}} = \Sigma Q^{\text{max}} / Q_c^{\text{ср}} = n_o / n_{\text{и.м}}. \quad (4.4)$$

Полученные значения величин наносят на график продолжительности тепловых нагрузок.

По значению *среднего расхода теплоты* $Q_c^{\text{ср}}$, выраженному в долях по отношению к суммарной максимальной тепловой нагрузке, можно определить *коэффициент теплофикации* α .

5 Выбор основного оборудования ТЭЦ

К основному оборудованию ТЭЦ относятся турбинные установки, энергетические парогенераторы и пиковые водогрейные котлы [3, 4].

Для ТЭЦ, работающей в энергосистеме, мощность и тип основного оборудования определяются главным образом тепловой нагрузкой потребителей. Мощность источников теплоснабжения должна быть равна тепловой нагрузке потребителей с учетом потерь в тепловых сетях при передаче тепловой энергии плюс мощность собственных нужд.

Тепловая нагрузка ТЭЦ делится на:

- *технологическую* – применяется пар с давлением более 0,4...1,8 МПа;

- *коммунально-бытовую (отопительную)* – применяется горячая вода, нагреваемая паром низкого давления до 0,3 МПа из отборов турбин.

Отпуск тепловой энергии от ТЭЦ на *технологические* цели производства осуществляется обычно в виде пара из отборов турбин типа П, ПТ или противодавления турбин типа Р.

Тепловая энергия потребителям на *отопительные* нужды в водяных системах теплоснабжения отпускается от ТЭЦ в виде горячей воды, подогреваемой в сетевых подогревателях паром из регулируемых отборов

турбин типа Т или ПТ. При этом базовую часть отопительной нагрузки покрывают за счет *основных подогревателей*, потребляющих пар из отборов турбин, пиковую часть покрывают за счет пиковых подогревателей или специальных *пиковых водогрейных котлов* (ПВК).

Производственный или теплофикационный отбор пара из турбины характеризуется *давлением P , МПа, и производительностью отбора D , т/ч*. По величине этих параметров и производят выбор типоразмера турбин согласно прил. 1...4 [4].

Величину тепловой нагрузки, отпускаемой из отборов теплофикационных турбин ТЭЦ, учитывает коэффициент теплофикации:

$$\alpha_T = Q_{отб} / Q_{ТЭЦ}, \quad (6.1)$$

где $Q_{отб}$ – количество теплоты, отпускаемое турбиной с теплофикационным отбором, кВт;

$Q_{ТЭЦ}$ – тепловая нагрузка ТЭЦ, кВт.

Количество теплоты теплофикационного отбора турбины $Q_{отб}$, кВт, определяют, принимая коэффициент теплофикации α_T в пределах 0,4...0,7, с учетом значения, определенного в пункте 4.

Расход отборного пара турбины, кг/с, определяют по формуле

$$D_T = Q_{отб} / r, \quad (6.2)$$

где r – скрытая теплота парообразования, условно принимаем 2200 кДж/кг.

При наличии у потребителя и технологической и отопительной нагрузки вначале выбирают **турбины**, отпускающие тепловую энергию на технологию. Если для производственных целей выбраны турбины типа ПТ, необходимо учесть отпуск теплоты турбинной данного типа на отопительные цели из теплофикационного отбора, т/ч, величина которого, определена маркировкой турбины. Если турбиной типа ПТ отопительная нагрузка полностью не покрывается, дополнительно выбирают турбины типа Т.

Энергетические парогенераторы ТЭЦ снабжают паром турбинную установку и должны соответствовать выбранному типоразмеру турбины. Марку парогенератора выбирают согласно паропроизводительности, т/ч, по прил. 5 [4]. Давление свежего пара на выходе из парогенератора должно быть не менее давления свежего пара, поступающего в турбину.

Паропроизводительность, т/ч, парогенератора определяют по формуле

$$G_{ПГ} = 1,03 \cdot G_T^{\max}, \quad (6.3)$$

где $G_t^{\max}$ – максимальный пропуск острого пара через турбину (или через ЧВД турбины), т/ч; определяется согласно прил. 1...4 [4] (выбирают из последней строки данных приложений);

1,03 – коэффициент, учитывающий собственные нужды и запас до 3 %.

Пиковый водогрейный котел (ПВК) устанавливается для покрытия максимума (пика) отопительной тепловой нагрузки. Типоразмер ПВК выбирают по его теплопроизводительности, Гкал/ч, согласно прил. 6, 7 [4]. Теплопроизводительность (мощность) ПВК, Гкал/ч:

$$Q_{\text{ПВК}}^{\max} = Q_{\text{ТЭЦ}}^{\max} - Q_{\text{отб}}^{\max} \quad \text{или} \quad Q_{\text{ПВК}}^{\max} = (1 - \alpha_t) Q_{\text{ТЭЦ}}^{\max}. \quad (6.4)$$

Технические характеристики основного оборудования выбирают согласно прил. 1...7 [4]. Дают *расшифровку маркировки* основного оборудования.

Характеристики выбранного оборудования ТЭЦ сводят в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Основное оборудование паротурбинной установки

Характеристика	Турбина	Парогенератор	ПВК
Типоразмер			
Количество			
Номинальная мощность, кВт		—	—
Паро- или теплопроизводительность, т/ч (Гкал/ч)			
Параметры свежего пара (давление, ата; температура, °С)			—
Параметры нагретой воды (давление, кгс/см ² ; температура, °С)	—	—	
Топливо	—		

ВНИМАНИЕ! При выборе оборудования ТЭЦ можно использовать данные других источников, а не только предлагаемые настоящими методическими указаниями. При этом необходимо указать ссылку на используемый источник.

6 Описание принципиальной тепловой схемы ТЭЦ

Согласно характеристикам выбранного к установке на ТЭЦ основного оборудования составляют и дают описание принципиальной схемы отпуски тепловой энергии от ТЭЦ. При этом можно использовать схемы, приведенные в [5] и/или в других справочных источниках.

Схему паротурбинной установки ТЭЦ включают в *графическую часть* РГР – лист формата А3.

При составлении и описании схемы должны быть отражены:

- типы основного оборудования, установленного на ТЭЦ, и его характеристика;
- регенеративный подогрев и деаэрация питательной воды;
- восполнение потерь рабочего тела в схеме ТЭЦ;
- отпуск пара внешним потребителям;
- подогрев сетевой воды, подпитка теплосети, деаэрация подпитки.

Для примера предлагается описание принципиальной схемы ТЭЦ с турбиной типа ПТ, имеющей 2 регулируемых отбора пара (рис. 5.1).

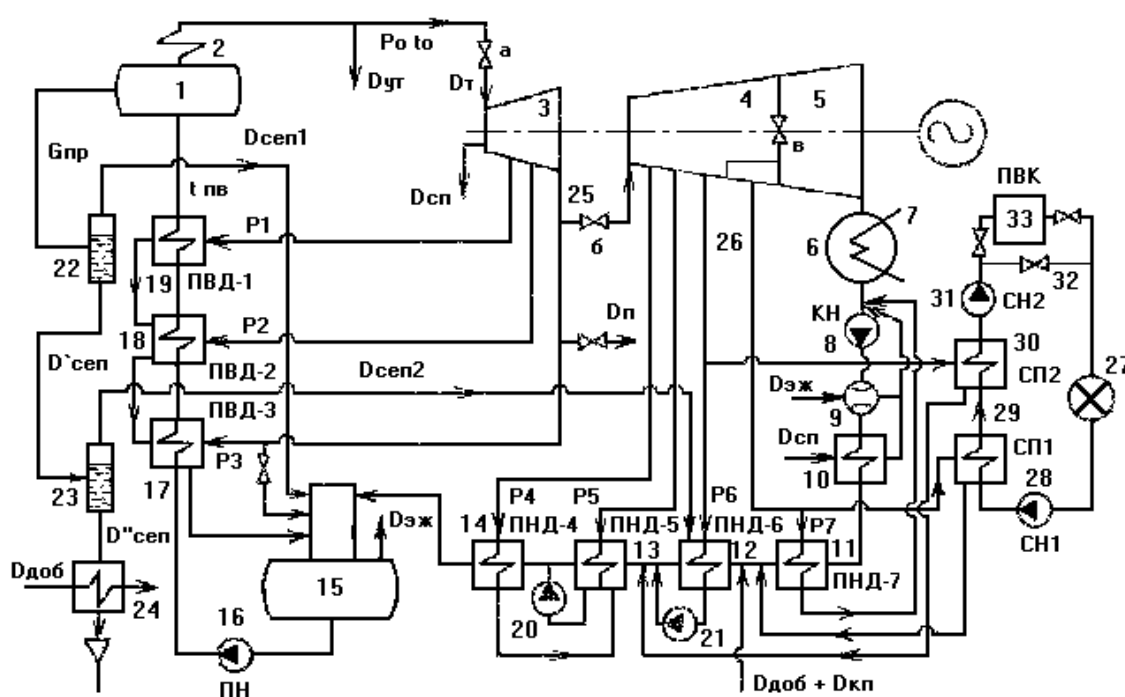


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема ТЭЦ: 1 – паровой котел; 2 – пароперегреватель; 3...5 – ЧВД, ЧСД, ЧНД турбины; 6 – конденсатор; 8 – конденсатный насос; 9 – охладитель эжекторного пара; 10 – сальниковый подогреватель; 11...14 – ПНД, подогреватель низкого давления; 15 – деаэратор; 16 – ПН, питательный насос (ПЭН, пит. электронасос); 17...19 – ПВД, подогреватель высокого давления; 20, 21 – сливные насосы; 22, 23 – РНП, РП, расширитель непрерывной продувки; 24 – подогреватель добавочной воды; 25, 26 – регулируемые отборы; 27 – тепловой потребитель; 28, 31 – СН, сетевые насосы; 29, 30 – СП, сетевой подогреватель; 32 – перемычка; 33 – ПВК, пиковый водогрейный котел; а, б, в – регулирующие органы пара турбины; Dут – утечки пара; Dт – пар на турбину; Dсп – сальниковые протечки пара; Dп – производственный отбор пара; Dэж – пар эжектора из Д; Dдоб – добавочная вода; Dкп – конденсат промышленного потребителя; Dсеп – пар на сепаратор; Gпр – продувочная вода

Пар из *парового котла 1* (барабанного типа) через *пароперегреватель 2* поступает в *турбину*, имеющую *ЧВД 3*, *ЧСД 4* и *ЧНД 5*. Промежуточный перегрев пара не предусмотрен. Отработавший пар сбрасывается в *конденсатор 6*, охлаждаемый *циркуляционной водой 7*. Образующийся конденсат *конденсатным насосом (КН) 8* прокачивается в *деаэратор 15* через *тракт регенерации низкого давления (ПНД4...ПНД7)*, обогреваемый паром отборов (*P4...P7*).

Из деаэратора 15 питательная вода *питательным насосом (ПН) 16* подается в котел 1 через подогреватели *17, 18, 19 тракта регенерации высокого давления (ПВД1...ПВД3)*.

Система регенерации состоит из *семи подогревателей*, питаемых паром соответствующих отборов (число регенеративных подогревателей можно уточнить по типу турбины). Счет регенеративных подогревателей ведется по номеру отбора, который в свою очередь нумеруется по ходу пара в турбине.

Из ПВД конденсат *каскадно сливается* в деаэратор.

В тракте низкого давления каскадный слив выполнен из ПНД-4 в ПНД-5, после которого *сливным насосом 20* конденсат греющего пара подается в *линию основного конденсата* между ПНД-5 и ПНД-4. В эту же линию *сливным насосом 21* подается конденсат греющего пара из ПНД-6 и из ПНД-7 сливается в конденсатор.

Имеющиеся в схеме **утечки** рабочего тела ($D_{\text{ут}} + D''_{\text{сеп}}$) восполняются *добавочной водой* $D_{\text{доб}}$, поступающей в линию основного конденсата между ПНД-6 и ПНД-7.

В данной схеме турбина работает с *барабанным* паровым котлом, о чем свидетельствует наличие *непрерывной продувки* из верхнего барабана котла. В схеме предусмотрена 2-хступенчатая утилизация теплоты и рабочего тела продувочной воды в *расширителях непрерывной продувки 22, 23*, которые по пару соединены с соответствующими (по давлению) точками тепловой схемы, а *засоленная вода* в *теплообменнике 24* подогревает добавочную воду и сбрасывается в канализацию.

Турбина имеет *органы (а), регулирующие* поступление пара в турбину, из ЧВД в ЧСД (*б*), а из ЧСД в ЧНД (*в*). Прикрывая регулирующие органы *б* и *в*, можно получить разный пропуск пара в *регулируемые отборы 25 и 26*. Пар из *отбора 25* поступает на *производство* $D_{\text{п}}$, на деаэратор и на регенерацию в ПНД-3. Конденсат от промышленного потребителя $D_{\text{кп}}$ возвращается в схему электростанции. Пар из *отбора 26*, выполненного *сдвоенным*, поступает в *сетевую установку* и систему регенерации.

Сетевая установка предназначена для отпуска *потребителю 27* теплоты на нужды отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Сетевая вода прокачивается через *подогреватели 29, 30 сетевыми насосами* первого (*28*) и второго (*31*) подъема и через *перемычку 32* поступает к потребителю. Ступенчатый подогрев сетевой воды вызван в

первую очередь не соображениями повышения экономичности (как в системе регенерации), а необходимостью ступенчатого (*качественного*) регулирования температуры и, следовательно, количества теплоты, отпускаемой потребителю, при неизменном расходе воды.

При низких наружных температурах имеется возможность догреть воду в *ПВК, пиковом водогрейном котле 32*.

Из сетевых подогревателей *конденсат греющего пара* сливается индивидуально в соответствующие (по температуре) точки линии основного конденсата. Каскадный слив, как правило, не применяется из-за небольшой разницы в температурах и большого количества конденсата, что вызвало бы неоправданное увеличение размера нижнего сетевого подогревателя СП1.

Принципиальные тепловые схемы являются *типовыми*. Содержание в них отдельных элементов может изменяться на конкретных ТЭЦ [5]. Схемы включения этих элементов в основной тракт и их взаимосвязь с другими элементами определяются требованиями экономичности, надежности, ремонтпригодности, удобства в эксплуатации, режимными условиями и более подробно отражаются в структурных схемах отдельных узлов и участков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении подводятся итоги проделанной работы: кратко напоминается тема и цель работы; обобщаются основные числовые значения и графические данные, полученные в ходе расчетов; формулируются общие выводы по проделанной работе.

Заключение должно быть кратким, четким и логичным, отражать суть проделанной работы и давать ясное представление о ее результатах и значимости.

Объем заключения – не более двух страниц.

Список использованных источников

1. Изменение №1 СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.
2. Методические указания по выполнению курсового проекта «Теплоснабжение жилого района» для специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» ; сост.: И. В. Янцевич, С. В. Климович. – Минск : БНТУ, 2025. – Деп. в БНТУ 04.02.2025, № DEPBNTU-2025-239.
3. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Производство, транспорт и потребление тепловой энергии» для специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет, Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» ; сост.: И. В. Янцевич, С. В. Климович, А. Э. Шандроха-Янцевич. – Минск: БНТУ, 2023. <https://rep.bntu.by/handle/data/126395>
4. Производство, транспорт и потребление тепловой энергии: практикум для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / Сост.: И.В. Янцевич, С.В. Климович, А.А. Ганжин. – Минск: БНТУ, 2007. – 83 с.
5. Тепловые электрические станции (паротурбинные энергетические установки ТЭС): Справочное пособие / Е.А. Бойко, К.В. Баженов, П.А. Грачев. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. 152 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Характеристика турбин с отопительным отбором пара [4]

Основные сведения	T-4-35	T-6-35	T-12-35	T-25-90	T-50-130	T-100-130	T-250-240
Завод-изготовитель	НЗЛ	НЗЛ	БМЗ	ТМЗ	ТМЗ	ТМЗ	ТМЗ
Номинальная мощность, кВт	4000	6000	12000	25000	500000	100000	250000
Давление свежего пара, ата	35	35	35	90	130	130	240
Температура свежего пара, °С	435	435	435	535	565	565	560
Число нерегулируемых отборов	2	2	2	5	5	5	8
Температура питательной воды, °С	154	158	156	223	230	229	263
Давление, отработавшего пара, ата	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,054	0,054
Теплофикационный отбор пара:							
давление, ата	1,2-2,5	1,2-2,5	1,2	1,2	0,5-2 (в ниж. отборе) 0,6-2,5 (в верх. отборе)		
температура, °С	127-185	127-185	166	104	-	-	-
величина отбора, т/ч	22	35	65	90	180	310	620
Расход свежего пара при номинальной нагрузке и номинальной величине теплофикационного отбора, т/ч	28,4	42,3	81,5	130	245,5	445	930
Максимальный расход пара через ЧВД, т/ч	32	47,6	90	150	268	460	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Характеристика турбин с производственным отбором пара [4]

Основные сведения	П-0,75-35/5	П-1,5-35/5	П-2,5-35/5	П-4-35/5	П-6-35/5
Завод-изготовитель	КТЗ	КТЗ	КТЗ	НЗЛ	КТЗ
Номинальная мощность, кВт	750	1500	2500	4000	6000
Число нерегулируемых отборов пара	2	2	2	1	2
Температура питательной воды, °С	150	150	150	147	150
Давление отработавшего пара, ата	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
Производственный отбор пара: давление, ата температура, °С величина отбора, т/ч	5 250 7	5 250 12	5 250 12	5 257 25	5 230 40
Расход свежего пара при номинальной нагрузке и номинальной величине производственного отбора, т/ч	9,8	17,5	26,2	36	55,8

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Характеристика турбин с противодавлением [4]

Основные сведения	Р-1,5-35/15	Р-2,5-35/5	Р-4-35/10	Р-6-35/5	Р-6-35/10	Р-6-90/31	Р-12-90/31	Р-25-90/31	Р-25-90/18	Р-40-130/31
Завод-изготовитель	КТЗ	КТЗ	КТЗ	НЗЛ	НЗЛ	ТМЗ	КТЗ	ХТГЗ	ХТГЗ	ТМЗ
Номинальная мощность, кВт	1500	2500	4000	6000	6000	6000	12000	25000	25000	40000
Давление свежего пара, ата	35	35	35	35	35	90	90	90	90	130
Температура свежего пара, °С	435	435	435	435	435	535	535	535	535	565
Противодавление, ата	15	6	11	6	11	31	31	31	18	31
Число нерегулируемых отборов	—	—	—	—	—	1	—	1	2	—
Расход пара при номинальной нагрузке, т /ч	36,8	29,2	70	69,9	99,6	97,7	188,4	360	255	456

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Характеристика турбин с производственным и теплофикационным отборами пара [4]

Основные сведения	ПТ-12-35/10	ПТ-12-90/10	ПТ-25-90/10	ПТ-50-90/13	ПТ-60-130/13	ПТ-50-130/7	ПТ-135/165-130/15
Завод-изготовитель	БМЗ	КТЗ	ТМЗ	ЛМЗ	ЛМЗ	ТМЗ	ТМЗ
Номинальная мощность, кВт	12000	12000	25000	50000	60000	50000	135000
Давление свежего пара, ата	35	90	90	90	130	130	130
Температура свежего пара, °С	435	535	535	535	565	565	565
Число нерегулируемых отборов	2	4	4	5	5	4	4
Температура питательной воды, °С	152	215	218	222	232	230	
Давление отработавшего пара, ата	0,04	0,035	0,05	0,03	0,03	0,056	0,074
Производственный отбор пара: давление, ата температура, °С величина отбора, т/ч	10 290 50	10 283 35	10 278 70(72)	13 295 140	13 275 115	7 220 218	15±3 320
Теплофикационный отбор пара:							
давление, ата	1,2	0,7-2,5	1,2	1,2-2,5	0,7-2,5	0,5-2,5	0,4-2,5
температура, °С	104	112	110	104	104	103	-
величина отбора, т/ч	40	25	53	100	86	120	210
Расход свежего пара при номинальной нагрузке и номинальных величинах отборов, т/ч	119	82,6	160	337,5	300,5	274	735
Максимальный расход пара через ЧВД, т/ч	115	91	190	385	370	300	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Характеристика некоторых котельных агрегатов большой производительности [4]

Марка котлоагрегата по ГОСТ 3619-69	Производительность, т/ч	Давление пара на выходе, ата	Температура пит. воды, °С	Топливо	Температура ух. газов, °С	Расчетный КПД брутто, %
Пп-2500/255Ж-2	2500	255	270	АШИТ	123	91,5
Пп-1600/255	1600	255	277	Назаровский бурый уголь	131	91,7
Пп-950/255ГМ	950	255	260	Газ/Мазут	120/135	94,6/93,7
Пп-950/255ГМ-2	950	255	260	Газ/Мазут	109/160	94,0/91,7
Пп-660/140ГМ	660	140	248	Газ/Мазут	129/147	93,0/92,6
Пп-640/140ГМ	640	140	240	Газ, мазут	—	—
Еп500/140ГМ	500	140	230	Газ/Мазут	133/166	92,0/91,2
Е-480/140ГМ	480	140	230	Газ/Мазут	122/151	92,84/91,73
Е-420/140ГМ	420	140	230	Газ/Мазут	—/—	91/90
Е-320-140ГМ	320	140	230	Газ/Мазут	130/170	93,0/91,5
Е-220/100ГМ	220	100	215	Газ/Мазут	123/157	92,74/91,55
Е-210-140	210	140	230	Фрезерный торф	162	87,3
Е-160-100ГМ	160	100	215	Прир. газ/Мазут	130/170	93,0/91,5
Е-120-100ГМ	120	100	215	Прир. газ/Мазут	130/170	93,0/91,5
Е-75-40ГМ	75	40	145	Газ/Мазут	140/189	91,0/88,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Водогрейные теплофикационные котлы [4]

Марка котла	Теплопроизводительность, Гкал/ч	Давление воды на выходе, кгс/см ³	Температура воды, °С		Расход воды, т/ч
			на входе	на выходе	
ПТВМ-180	180	25	104	150	3860
ПТВМ-100	100	25	104	150	1235/1240
ПТВМ-50	50	25	70	150	618/1250
ТВГМ-30	30	25	70	150	372
ТВГ-8	8,3	25	70	150	-
ТВГ-4	4,3	25	70	150	-

Технические характеристики водогрейных котлов [4]

Марка котла	Теплопроизводительность, Гкал/ч (ГДж/ч)	Расчетный расход воды в основном режиме (четырёхходовая схема), т/ч	Расчетные гидравлические потери котла в основном режиме, м
КВГМ-4	4 (16,7)	49,5	11,9
КВТС-4	4 (16,7)	49,5	10,4
ГВГМ-6,5	6,5 (27,2)	80,0	12,0
КВТС-6,5	6,5 (27,2)	80,0	10,7
КВГМ-10	10 (41,2)	123,5	15,0
КВТС-10	10 (41,2)	123,5	11,0
КВГМ-20	20 (83,7)	247,0	23,0
КВТС-20	20 (83,7)	247,0	15,0
КВГМ-30	30 (125,6)	370,0	19,0
КВТС-30	30 (125,6)	370,0	12,4
КВГМ-50	50 (209,3)	618,0	13,3
КВГМ-100	100 (418,7)	1235,0	16,5
ПТВМ-30	40 (167,5)	495,0	17,0
ПТВМ-30	35 (146,5)	430,0	17,0
ПТВМ-50	50 (209,3)	625,0	9,6
ПТВМ-100	100 (418,7)	1235,0	21,5
ПТВМ-180	180 (753,7)	3860 (пик. реж.)	10,6 (пик. реж.)
КВТК-100	100 (418,7)	1236,0	17,0