МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

К Г Э У

ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ

Практикум

Казань
2021

К 621.311
ББК 31.37
Т38

Т38 **Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты** : практикум / составитель А. Ш. Низамова. – Казань : КГЭУ, 2021. – 23 с.

Приведено описание полномасштабного тренажера конденсационного энергоблока на 300 МВт, а также методика определения энергетических показателей работы энергоблока на компьютерном тренажере и термического коэффициента полезного действия энергетического блока с промежуточным перегревом пара.

Предназначен для студентов всех форм обучения по образовательной программе направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, профиль (направленность) «Тепловые электрические станции».

УДК 621.311
ББК 31.37

© КГЭУ, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью выполнения лабораторных работ является изучение компьютерного тренажера блока К-300-240. Тренажер может смоделировать весь комплекс возникающих при эксплуатации энергоблока задач. Но выполнение лабораторных работ ставит более узкую задачу – изучив мнемосхемы тренажера, снять необходимые параметры турбоустановки для проведения расчетов энергетических показателей турбоустановки.

В результате выполнения лабораторных работ у студентов формируется способность проводить расчеты по типовым методикам, участвовать в проектировании технологического оборудования котельных, центральных тепловых пунктов, тепловых электростанций с использованием стандартных средств автоматизации проектирования в соответствии с техническим заданием.

В результате студент должен уметь:

– выполнять тепловые и материально-балансовые расчеты тепловых схем котельных, центральных тепловых пунктов, тепловых электростанций;

– принимать участие в разработке и оформлении проектной документации в соответствии с требованиями нормативных документов на проектную документацию котельных, центральных тепловых пунктов, тепловых электростанций с использованием стандартных средств автоматизированного проектирования;

– выполнять чертежи отдельных узлов и элементов тепломеханической части котельных, центральных тепловых пунктов, тепловых электростанций;

– выбирать оборудование, трубопроводы и арматуру котельных, центральных тепловых пунктов, тепловых электростанций.

Знания, полученные в результате выполнения лабораторных работ, необходимы при выполнении материально-балансовых расчетов на энерго-предприятиях, а умения – будут являться фундаментом знаний основного и вспомогательного оборудования энергетических блоков тепловых электрических станций.

Основное назначение практикума – оказать помощь студентам при подготовке и выполнении лабораторных работ, а преподавателю – иметь возможность системно организовать проведение лабораторных занятий.

Вдумчивое и серьезное отношение к выполнению лабораторных работ позволит студенту овладеть знаниями и умениями в области расчетов и проектирования в теплоэнергетике.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Лабораторная установка представляет собой полномасштабный компьютерный тренажер энергоблока 300 МВт, применяемый для выработки у студентов интеллектуальных навыков управления энергетическим оборудованием при различных режимах работы. Поля отображения информации тренажера разделяются по функциональному назначению и разносятся по мониторам с целью создания полной картины работы оборудования с максимальным приближением к функциональному построению блочного щита управления. Составными частями тренажера являются программные комплексы – «Схемы», «Приборы», «Графики переходных процессов», «Сигнализация», «Пульт оператора».

Данный тренажер имитирует работу оборудования конкретного энергоблока и позволяет отрабатывать навыки работы с технологическим оборудованием электростанции.

Включение компьютерного тренажера

Запускаем программу сетевой связи «TrenRez.exe». Расположена программа в папке «TrRez» компьютерного тренажера (TrRez/TrenRez.exe). Данная программа организует сетевое взаимодействие между составными частями тренажера. Эта программа должна быть запущена на каждом компьютере тренажерного комплекса, в противном случае работа составных частей тренажера (рабочего места машиниста котла, схем, приборов, сигнализации, трендов и автоматизированного рабочего места инструктора) не будет скоординирована с работой основной модели тренажера. Запуск программы «TrenRez.exe» не требует никаких параметров. После запуска иконка программы появляется в области уведомлений в правом нижнем углу экрана. Вызов панели настроек программы осуществляется щелчком левой клавиши компьютерной мыши на иконке программы. Закрывается панель настроек щелчком на кнопке «Закрыть». Диалоговое окно программы сетевой связи представлено на рис. 1.

Выставление галочек в секторах ячеек «Схемы», «Сигнализация», «Приборы», «Тренды» в секции «Модуль» диалогового окна (рис. 1) осуществляется щелчком левой клавиши компьютерной мыши и позволяет запускать данные программные комплексы при запуске программы «Oper.exe».

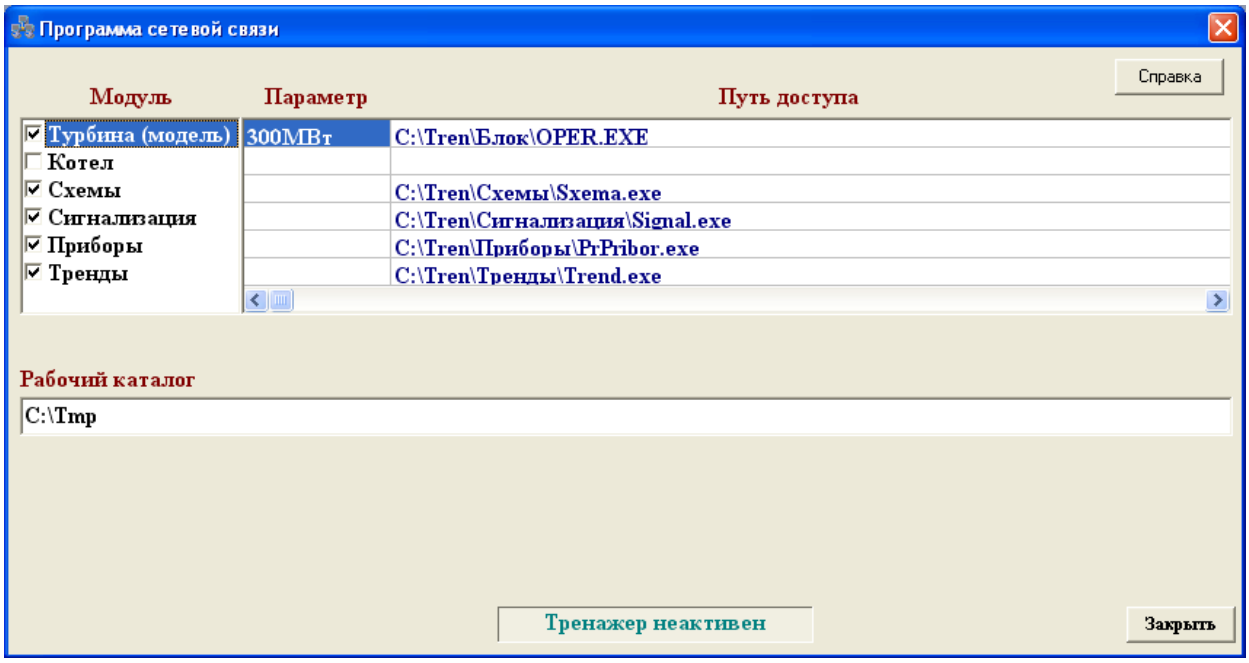

Рис. 1. Внешний вид диалогового окна программы сетевой связи

Запускаем программу «Oper.exe». Расположена программа в папке «Блок» компьютерного тренажера (Блок/Oper.exe). В нижней части окна программы сетевой связи отображается надпись «Тренажер активен». В панели задач персонального компьютера (рис. 2) отображается информация о запуске программных комплексов, отмеченных галочками в секции «Модуль» программы сетевой связи.

Рис. 2. Внешний вид панели задач

При запуске программы «Oper.exe» на экране остается окно «Тренажер блока 300 МВт – рабочее место машиниста».

Описание принципиальной тепловой схемы блока К-300-240

Рассмотрим принцип работы конденсационного блока сверхкритического давления мощностью 300 МВт. Принципиальная тепловая схема блока К-300-240 показана на рис. 3.

Блок К-300-240 состоит из прямоточного парогенератора (ПГ) и конденсационной турбоустановки. Перегретый пар, полученный в парогенераторе, в количестве D_0, с параметрами p_0 и t_0 направляется в турбину.

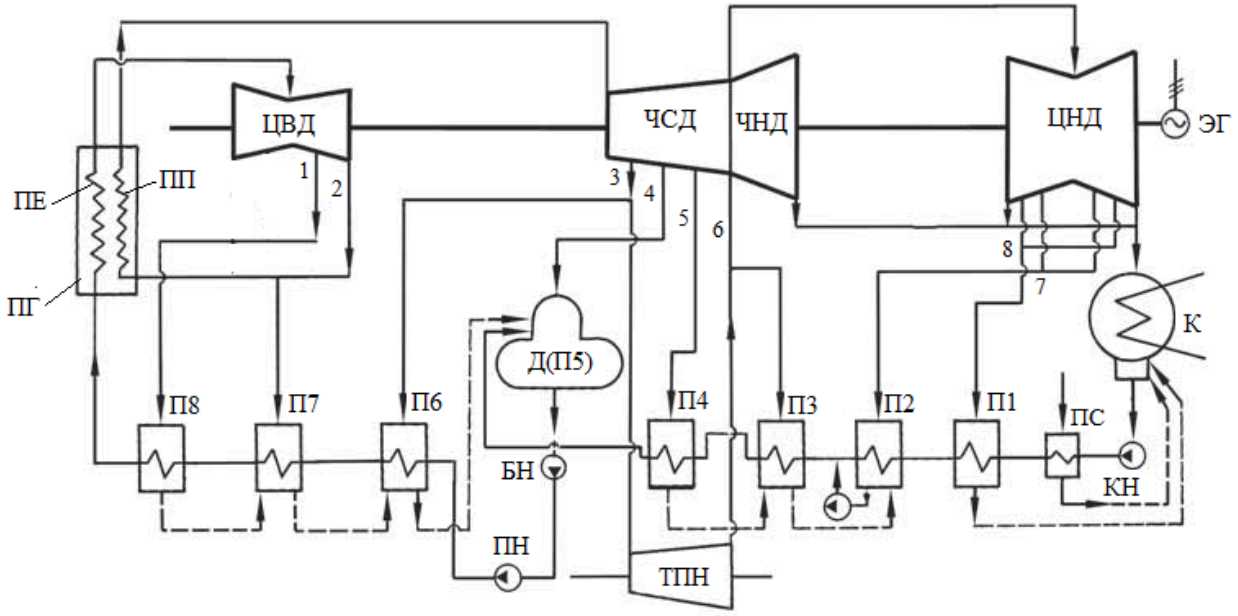

Рис. 3. Принципиальная тепловая схема блока К-300-240

Турбина установки состоит из трех цилиндров, а именно из цилиндра высокого давления (ЦВД), цилиндра среднего давления (ЦСД) и цилиндра низкого давления (ЦНД). ЦВД имеет петлевую схему движения пара, т. е. пар, поступивший из парогенератора, направляется сначала в ступени левой части ЦВД, затем поворачивается между стенками двух корпусов на 180 ° и продолжает свою работу в ступенях правой части. Отработавший в ЦВД пар направляется вновь в ПГ на промежуточный перегрев (ПП). После ПП пар в количестве $D_{\text{ПП}}^{\text{Г}}$ и с параметрами $p_{\text{ПП}}^{\text{Г}}$ и $t_{\text{ПП}}^{\text{Г}}$ направляется в часть среднего давления ЦСД. Затем 1/3 часть пара продолжает свой путь в часть низкого давления ЦСД, отработав в котором направляется в конденсатор турбины. 2/3 пара из части среднего давления (ЧСД) направляется в двухпоточный ЦНД, в котором поток делится пополам и направляется в противоположные стороны. Далее из двух выхлопных патрубков ЦНД пар направляется в конденсатор. Таким образом, турбина К-300-240 имеет три выхлопных патрубка в конденсатор – один из ЦСД и два из ЦНД. После конденсации пара в конденсаторе при давлении ниже атмосферного конденсат отработавшего пара конденсатным насосом (КН) направляется последовательно для регенеративного подогрева в подогреватели низкого давления (ПНД) П1, П2, П3, П4. В ПНД основной конденсат нагревается паром из отборов турбины *8, 7, 6* и *5* соответственно. Далее конденсат направляется в деаэратор питательной воды Д (П5). Основное назначение деаэратора – это удаление из воды агрессивных газов, а именно кислорода и углекислого газа. С целью выполнения этой функции в деаэратор подается пар из 4-го отбора турбины. Следовательно, в то же время деаэратор является

и подогревателем смешивающего типа. В качестве деаэратора питательной воды всегда устанавливаются деаэраторы повышенного давления, рассчитанные на 0,6–0,7 МПа. Такому давлению соответствует температура насыщения в деаэраторе 158–164 °С. После деаэратора питательная вода сначала бустерным насосом (БН), а затем питательным насосом (ПН) для дальнейшего подогрева направляется в подогреватели высокого давления (ПВД) в П6, П7 и П8 последовательно. В ПВД питательная вода подогревается паром из отборов турбины *3, 2* и *1* соответственно. В ПГ питательная вода направляется с температурой питательной воды $t_{\text{пв}}$. ПН и БН работают от приводной турбины, которая питается паром из 3-го отбора. Отработавший в приводной турбине пар может быть вновь возвращен в главную турбину.

Принципиальная тепловая схема простейшей конденсационной электростанции с промежуточным перегревом пара

Промежуточный перегрев пара применяется на паротурбинных электростанциях с целью повышения их коэффициента полезного действия (КПД), а также для ограничения конечной влажности пара в турбине при высоком его начальном давлении, когда повышение начальной температуры ограничено по технологическим или экономическим причинам. При промежуточном перегреве пар, проработавший в ряде ступеней (обычно в части высоких давлений (ЧВД)) турбины, отводится в промежуточный перегреватель, использующий тепло топлива, и после перегрева возвращается к следующим ступеням (ЧСД) турбины (рис. 4).

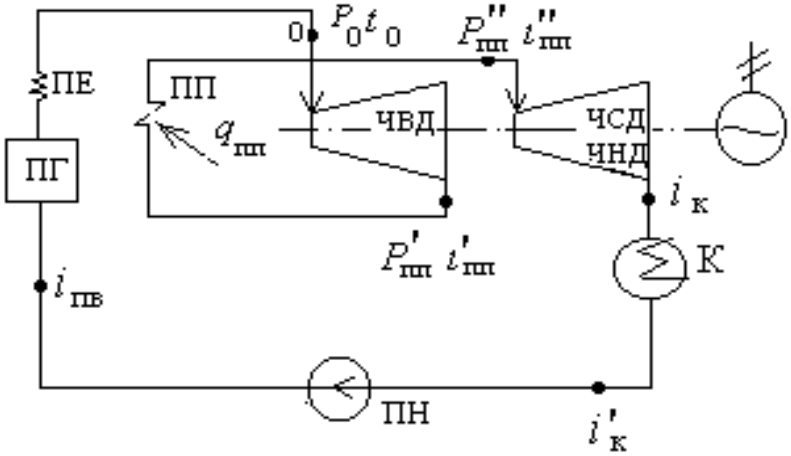

Рис. 4. Принципиальная тепловая схема простейшей конденсационной электростанции с промежуточным перегревом пара:
ПЕ – первичный перегрев пара; ПП – промежуточный перегреватель пара;
$q_{\text{ПП}}$ – тепло промежуточного перегрева

Парные значения начальной температуры и начального давления, соответствующие заданной конечной влажности пара в турбине, называются сопряженными начальными параметрами пара. Промежуточный перегрев пара осуществляется с целью предотвращения недопустимой (более 12–14 %) конечной влажности пара и повышения внутреннего относительного КПД отсеков турбины, которые расположены после промперегрева. При высоких давлениях промперегрева он позволяет еще и повысить термический КПД цикла (рис. 5).

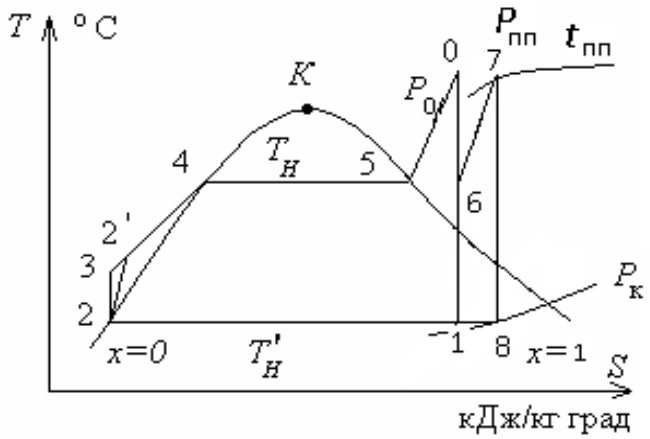

Рис. 5. Цикл Ренкина водяного пара в *T*-, *s*-диаграмме:
2–3 – сжатие питательной воды в питательном насосе (увеличение температуры), *3–4* – нагрев воды в парогенераторе до температуры насыщения; *4–5* – парообразование в парогенераторе; *5–0* – первичный перегрев сухого пара в парогенераторе; *0–6* – расширение пара в ЦВД турбины; *6–7* – промежуточный (вторичный) перегрев пара в парогенераторе; *7–8* – расширение пара в последующих цилиндрах турбины; *8–2* – конденсация пара в конденсаторе турбины

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТУРБОУСТАНОВКИ К-300-240 НА КОМПЬЮТЕРНОМ ТРЕНАЖЕРЕ ЭНЕРГОБЛОКА МОЩНОСТЬЮ 300 МВт

Цель работы

Настоящая лабораторная работа имеет целью изучение компьютерного тренажера и ознакомление студентов с методикой определения энергетических показателей работы турбоустановки К-300-240 с помощью всережимного компьютерного тренажера энергоблока мощностью 300 МВт.

Предварительное задание

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, каждый студент должен ознакомиться с данным описанием и изучить предлагаемую литературу [1–4].

Рабочее задание

В ходе выполнения лабораторной работы каждому студенту необходимо:

– изучить описание данных методических указаний;

– включить тренажер;

– ознакомиться с основными элементами компьютерного тренажера;

– произвести снятие необходимых параметров турбоустановки;

– построить процесс расширения пара в паровой турбине в *h*-, *s*-диаграмме;

– провести расчет технико-экономических показателей работы турбоустановки;

– составить итоговый отчет и сделать выводы по лабораторной работе.

Порядок выполнения работы

1. Для расчета технико-экономических показателей работы турбоустановки К-300-240 необходимо найти на мнемосхемах следующие параметры работы энергоблока:

$N_э$ – электрическая мощность энергоблока, МВт;

D_0 – расход свежего пара, т/ч;

$D_{ПП}^{х}$ – расход пара, направляемого на промежуточный перегрев, т/ч;

$D_{ПП}^{г}$ – расход пара после промежуточного перегревателя, т/ч;

$D_{ПВ}$ – расход питательной воды, т/ч;

p_0 – давление острого пара перед турбиной, МПа;

t_0 – температура острого пара перед турбиной, °С;

$p_{ПГ}$ – давление свежего пара за котлом, МПа;

$t_{ПГ}$ – температура острого пара за котлом, °С;

p_i – давление пара в отборах турбины (i – номер отбора), МПа;

t_i – температура пара в отборах турбины (i – номер отбора), °С;

$p_{ПВ}$ – давление питательной воды перед котлом, МПа;

$t_{ПВ}$ – температура питательной воды перед котлом, °С;

$p_{ПП}^{х}$ – давление пара, направляемого на промежуточный перегрев, МПа;

$t_{ПП}^{х}$ – температура пара, направляемого на промежуточный перегрев, °С;

$p_{ПП}^{г}$ – давление пара после промежуточного перегревателя, МПа;

$t_{ПП}^{г}$ – температура пара после промежуточного перегревателя, °С;

$p_{ПН}$ – давление воды, создаваемое питательным насосом, МПа;

$p_{Д}^{В}$ – давление воды на всасе питательного насоса, МПа.

Электрическая мощность турбины $N_{э}$, расходы пара за котлом $D_{ПГ}$ в линии «холодного» $D_{ПП}^{Х}$ и «горячего» $D_{ПП}^{Г}$ промежуточного перегрева определяются по графикам переходных процессов. Температуры и давление пара в отборах турбины (p_i, t_i) также могут быть определены по графикам, однако удобнее воспользоваться мнемосхемой № 10 «Параметры пара в отборах», которая показана на рис. 6. Следует отметить, что значения параметров рабочих сред энергоблока, представленные на мнемосхемах, выражаются в следующих величинах: давление – кгс/см^2; температура – °С, расход – т/ч.

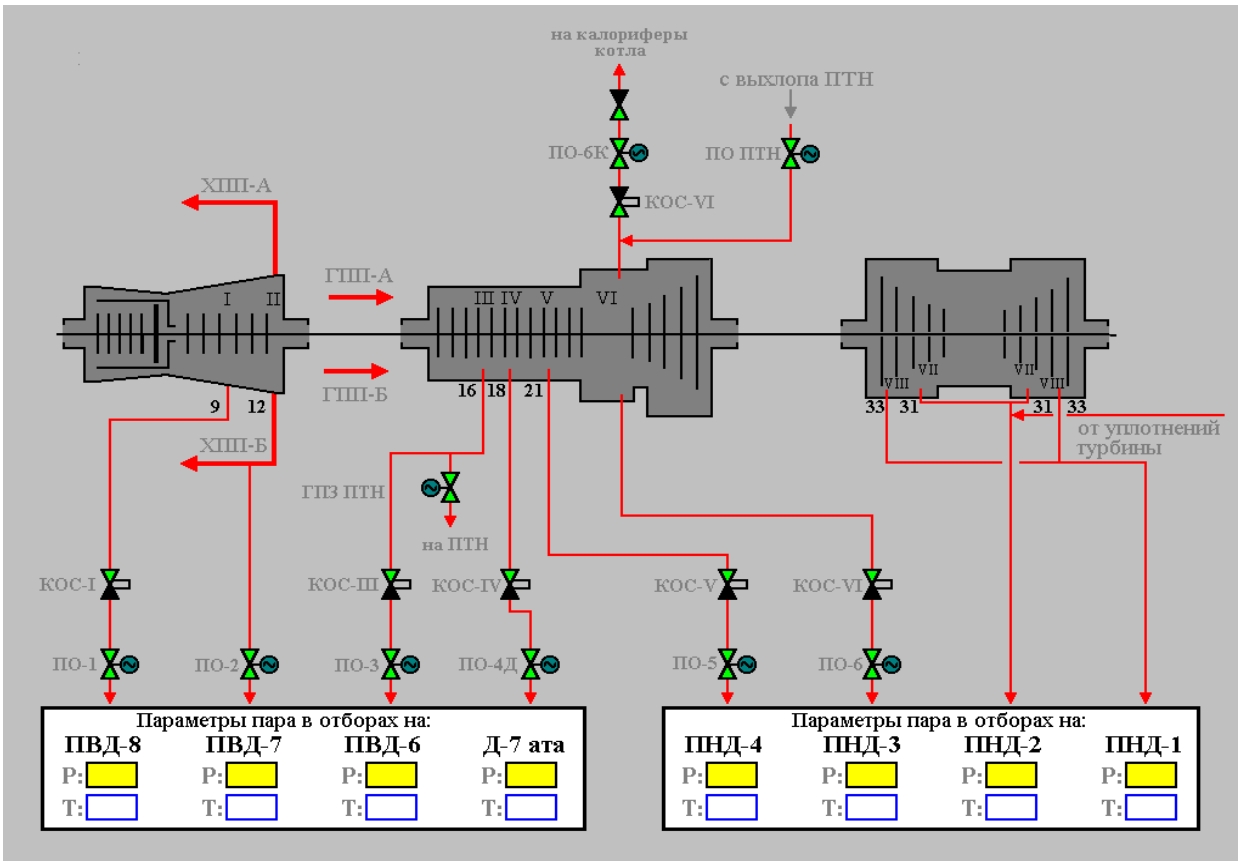

Рис. 6. Мнемосхема «Параметры пара в отборах турбины»:
ПО-1, ПО-2, ПО-3 – задвижки на линии отборного пара на подогреватели высокого давления; ПО-4Д – задвижка на линии отборного пара на деаэратор;
ПО-5, ПО-6 – задвижки на линии отборного пара на подогреватели низкого давления;
ПО-6К – задвижка на линии отборного пара на калориферы котла;
КОС-I, КОС-III, КОС-IV, КОС-V, КОС-VI – клапаны обратные соленоидные на отборах пара турбины; ГПЗ ПТН – главная паровая задвижка линии отборного пара на питательный турбонасос; ПО ПТН – задвижка на паровой линии выхлопа турбопривода;
ХПП-А, ХПП-Б – линии «холодного» промежуточного перегрева пара ниток А и Б котла;
ГПП-А, ГПП-Б – линия «горячего» промежуточного перегрева пара ниток А и Б котла

Параметры промежуточного перегрева пара представлены на мнемосхеме № 5 «Промежуточный перегрев пара», которая показана на рис. 7. На этой схеме также представлены расходы пара в линии промежуточного перегрева.

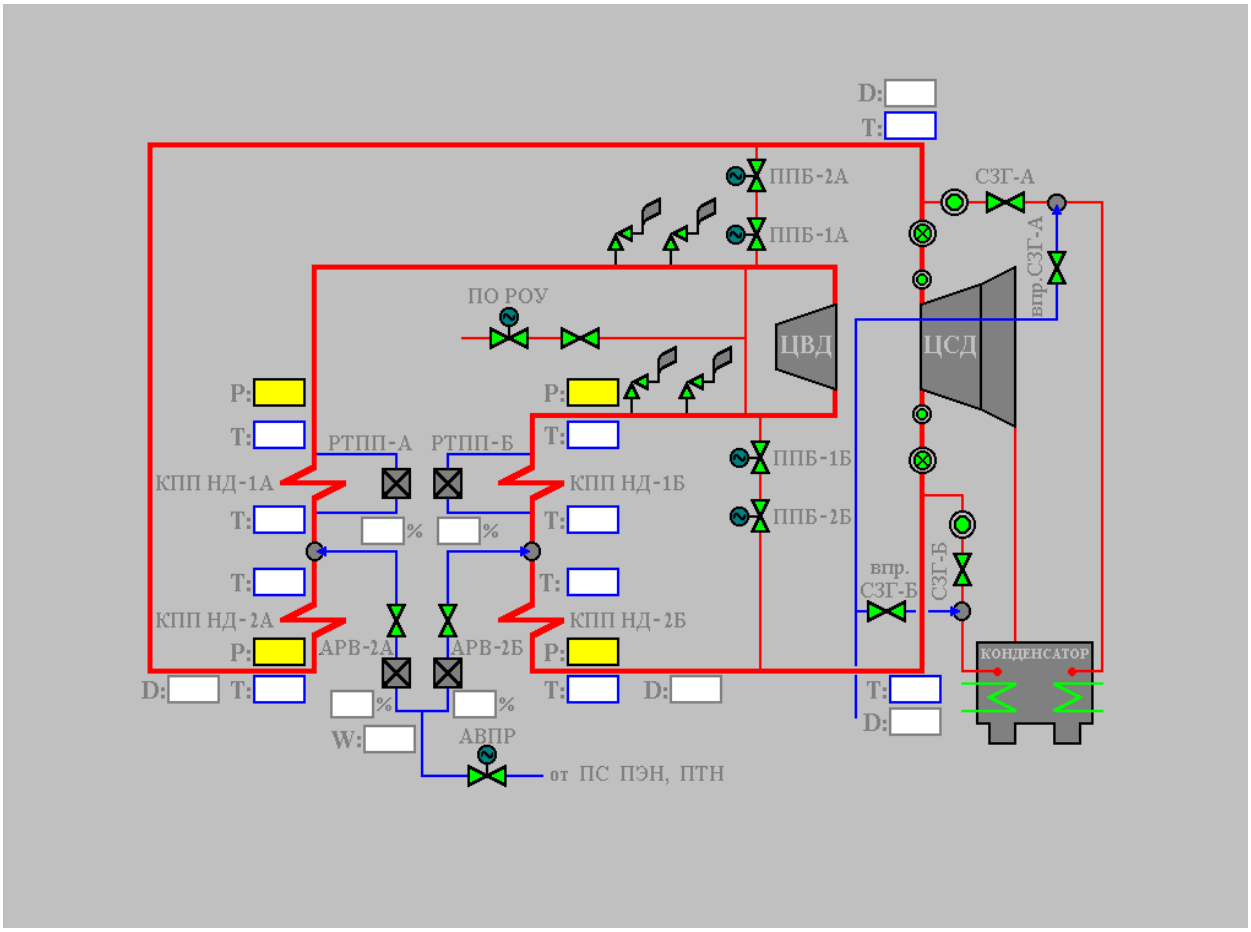

Рис. 7. Мнемосхема «Промежуточный перегрев пара»:
РТПП-А, РТПП-Б – регуляторы температуры перегретого пара ниток А и Б котла; КПП НД-1А, КПП НД-1Б – первые конвективные пароперегреватели низкого давления ниток А и Б котла; КПП НД-2А, КПП НД-2Б – вторые конвективные пароперегреватели низкого давления ниток А и Б котла; ПС ПЭН – промежуточная ступень питательного электронасоса; ПС ПТН – промежуточная ступень питательного турбонасоса; ППБ-1А, ППБ-1Б – первые задвижки на линии байпаса промежуточного перегрева пара ниток А и Б; ППБ-2А, ППБ-2Б – вторые задвижки на линии байпаса промежуточного перегрева пара ниток А и Б; АРВ-2А, АРВ-2Б – вторые автоматические регуляторы впрысков ниток А и Б котла; АВПР – задвижка на линии впрысков в систему промежуточного перегрева пара

Давление воды, создаваемое питательным насосом $p_{\text{ПН}}$, и давление воды на всасе питательного насоса $p_{\text{Д}}^{\text{В}}$ определяются по мнемосхеме № 19 «Питательная установка», которая показана на рис. 8.

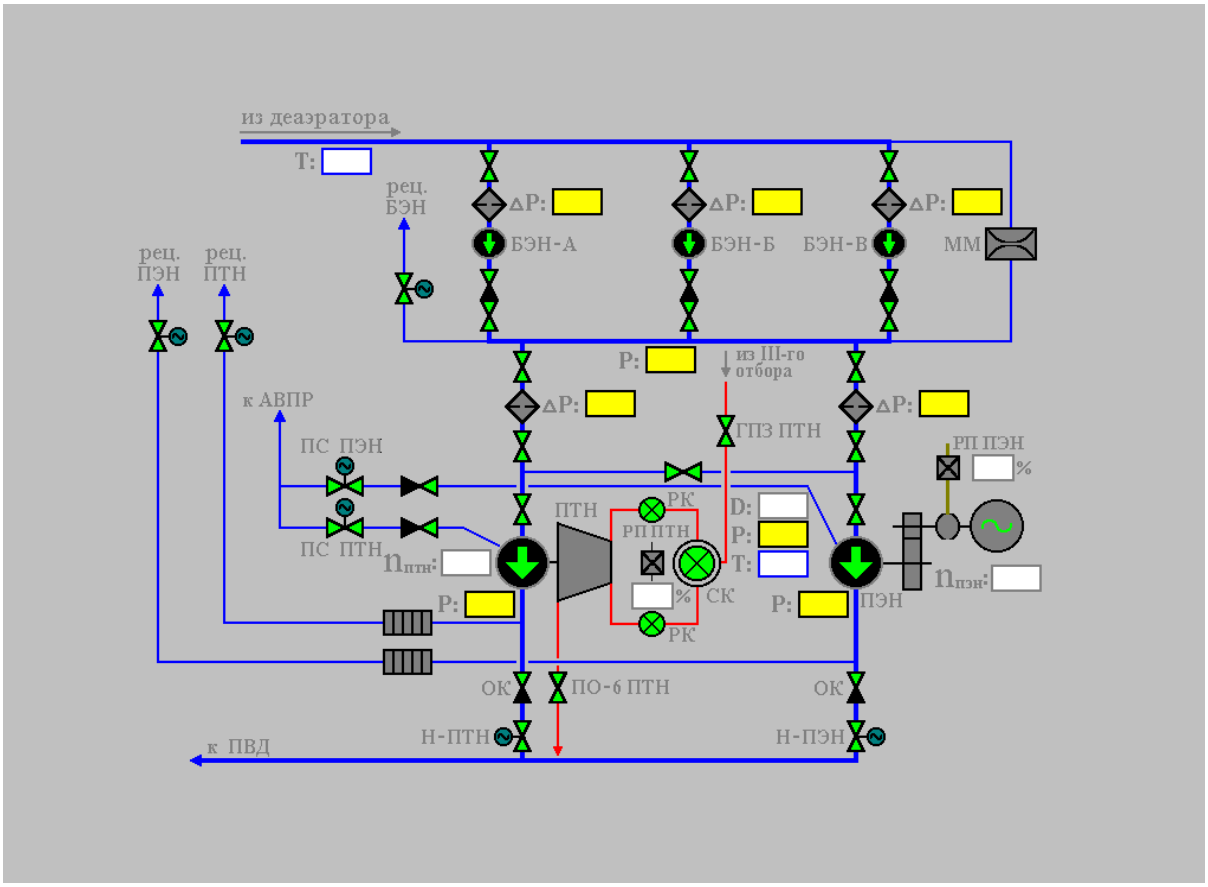

Рис. 8. Мнемосхема «Питательная установка»:
ПТН – питательный турбонасос; РК – регулирующий клапан; СК – стопорный клапан; РП ПЭН – регулятор привода питательного электронасоса; РП ПТН – регулятор привода питательного турбонасоса; БЭН-А, БЭН-Б, БЭН-В – бустерные электронасосы ниток А, Б и В; ММ – мембранный модуль; рец. ПЭН – линия рециркуляции питательного электронасоса; рец. ПТН – линия рециркуляции питательного турбонасоса; рец. БЭН – линия рециркуляции бустерного электронасоса; ПО-6 ПТН – задвижка на линии выхлопа приводной турбины ПТН; ГПЗ ПТН – главная паровая задвижка линии отборного пара на питательный турбонасос; ОК – обратный клапан; Н-ПТН – напорная задвижка на трубопроводе питательной воды от питательного турбонасоса; Н-ПЭН – напорная задвижка на трубопроводе питательной воды от питательного электронасоса

Параметры питательной воды перед котлом ($D_{\text{пв}}$, $p_{\text{пв}}$, $t_{\text{пв}}$) представлены на мнемосхеме № 20 «Группа ПВД», которая показана на рис. 9.

2. Выполнить расчет энергетических показателей работы турбоустановки по следующей методике:

2.1. Полный расход теплоты на турбоустановку, ГДж/ч:

$$Q_{\text{ТУ}} = D_0(h_0 - h_{\text{пв}}) + D^{\text{х}}_{\text{ПП}}(h^{\text{г}}_{\text{ПП}} - h^{\text{х}}_{\text{ПП}}),$$

где h_0 – энтальпия свежего пара перед турбиной, кДж/кг; $h_{\text{пв}}$ – энтальпия

питательной воды перед котлом, кДж/кг; $h_{пп}^{г}$, $h_{пп}^{х}$ – энтальпии пара соответственно в линии «горячего» и «холодного» промежуточного перегрева на входе в турбину и на выходе из турбины, кДж/кг.

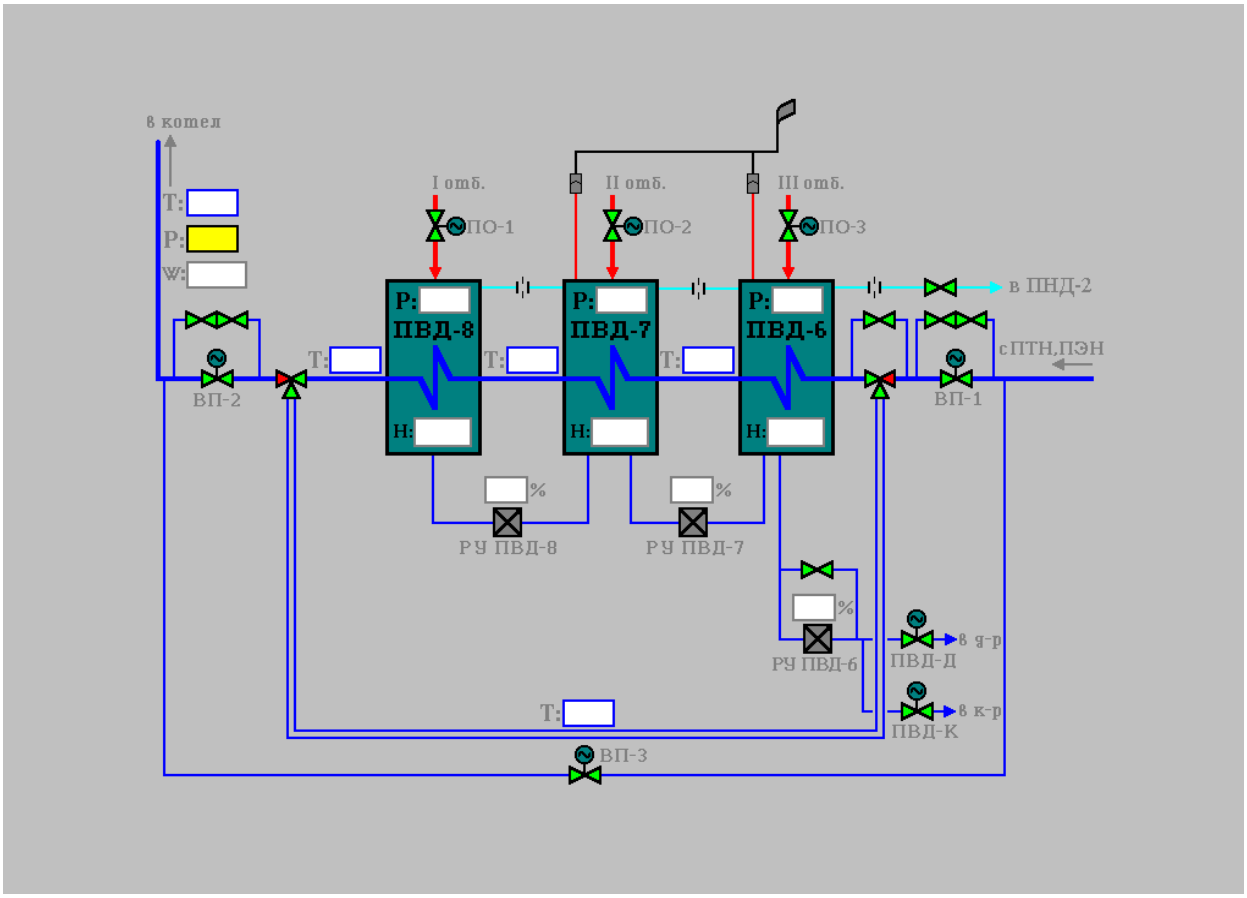

Рис. 9. Мнемосхема «Группа ПВД»:
ВП-1, ВП-2, ВП-3 – первая, вторая и третья задвижки на трубопроводе питательной воды; ПО-1, ПО-2, ПО-3 – задвижки на линии отборного пара на подогреватели высокого давления; ПВД-Д – задвижка на линии слива дренажей в деаэратор; ПВД-К – задвижка на линии слива дренажей в конденсатор; РУ ПВД-8, РУ ПВД-7, РУ ПВД-6 – регуляторы уровней воды в подогревателях высокого давления ПВД-8, ПВД-7 и ПВД-6

Энтальпии рабочего тела (воды и водяного пара) энергоблока определяются по таблицам [4] по температуре и давлению соответствующей среды.

2.2. Эффективная мощность приводной турбины питательного насоса, кВт:

$$N_{тп} = \frac{D_{пв} \nu_{ср} (p_{пн} - p_{в}^{д}) 10^3}{\eta_{н}},$$

где $\eta_{н}$ – КПД насоса ($\eta_{н}$ = 0,833); $\nu_{ср}$ – средний удельный объем среды ($\nu_{ср} \approx 0{,}0011$ м^3/кг).

2.3. Расход теплоты турбоустановки на выработку электроэнергии, ГДж/ч:

$$Q_{\text{ту}}^{\text{э}} = Q_{\text{ту}} - Q_{\text{т}},$$

где $Q_{\text{т}}$ – расход теплоты на отопление, ГДж/ч. Для конденсационного энергоблока $Q_{\text{т}} = 0$.

2.4. Удельный расход тепла турбоустановки на выработку электроэнергии, ГДж/(кВт·ч):

$$q_{\text{ту}}^{\text{э}} = \frac{Q_{\text{ту}}^{\text{э}}}{N_{\text{э}} + N_{\text{тп}}},$$

где $N_{\text{э}}$ – электрическая мощность турбины.

2.5. КПД турбоустановки по выработке электроэнергии:

$$\eta_{\text{ту}}^{\text{э}} = \frac{3600}{q_{\text{ту}}^{\text{э}}}.$$

2.6. Абсолютный электрический КПД турбоустановки:

$$\eta_{\text{ту}}^{\text{а}} = 3600\frac{N_{\text{э}}}{Q_{\text{ту}}}.$$

2.7. Тепловая нагрузка парогенератора, ГДж/ч:

$$Q_{\text{пг}} = D_0(h_{\text{пг}} - h_{\text{пв}}) + D_{\text{пп}}^{\text{х}}(h_{\text{пп}}^{\text{г}} - h_{\text{пп}}^{\text{х}}),$$

где $h_{\text{пг}}$ – энтальпия свежего пара на выходе из котла, кДж/кг; $h_{\text{пв}}$ – энтальпия питательной воды перед котлом, кДж/кг; $h_{\text{пп}}^{\text{г}}$, $h_{\text{пп}}^{\text{х}}$ – энтальпии пара соответственно в линии «горячего» и «холодного» промежуточного перегрева на выходе из парогенератора и на входе в него, кДж/кг.

2.8. КПД транспорта тепла:

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{ту}}}{Q_{\text{пг}}}.$$

2.9. Количество теплоты топлива на паровой котел, ГДж/ч:

$$Q_{\text{с}} = \frac{Q_{\text{пг}}}{\eta_{\text{пг}}},$$

где $\eta_{\text{пг}}$ – КПД парового котла ($\eta_{\text{пг}}$ = 0,9 – 0,94).

2.10. КПД энергоблока:

$$\eta_{\text{с}} = \eta_{\text{ту}}^{\text{а}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{пг}}.$$

2.11. КПД энергоблока нетто:

$$\eta_{\text{с}}^{\text{н}} = \eta_{\text{с}} (1 - э_{\text{сн}}),$$

где $э_{\text{сн}}$ – расход электрической энергии на собственные нужды (4 – 10 %).

2.12. Удельный расход тепла энергоблока нетто, кДж/(кВт·ч):

$$q_{\text{с}}^{\text{н}} = \frac{3600}{\eta_{\text{с}}^{\text{н}}}.$$

2.13. Часовой расход условного топлива:

$$B_{\text{у}} = \frac{Q_{\text{с}}}{Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}},$$

где $Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}$ – теплота сгорания условного топлива ($Q_{\text{н.у}}^{\text{р}}$ = 29308 кДж/кг).

2.14. Удельный расход условного топлива нетто:

$$b_{\text{у}}^{\text{н}} = \frac{123}{\eta_{\text{с}}^{\text{н}}}.$$

3. Составить отчет по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать:

– задание;

– исходные данные турбоустановки;

– процесс расширения пара в паровой турбине в *h*-, *s*-диаграмме;

– расчет технико-экономических показателей работы турбоустановки;
– анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Какими показателями характеризуется тепловая экономичность турбоустановки?
2. Как определяется расход тепла на турбоустановку?
3. Как определяется эффективная мощность приводной турбины?
4. Как определяется удельный расход тепла турбоустановки на выработку электроэнергии?
5. Как определяется КПД турбоустановки по выработке электроэнергии?
6. Как определяется тепловая нагрузка парогенератора?
7. Как определяется КПД транспорта тепла?
8. Как определяется КПД энергоблока?
9. Как определяется КПД энергоблока нетто?
10. Как определяется удельный расход тепла энергоблока нетто?
11. Что означает понятие условное топливо?
12. Как определяется удельный расход условного топлива нетто?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО КПД ТУРБОУСТАНОВКИ К-300-240 НА КОМПЬЮТЕРНОМ ТРЕНАЖЕРЕ

Цель работы

Настоящая лабораторная работа имеет целью познакомить студентов с методикой определения термического КПД турбоустановки К-300-240 с промежуточным перегревом пара и проведения сравнительного анализа изменения термического КПД при изменении температуры промежуточного перегрева пара с помощью всережимного компьютерного тренажера энергоблока мощностью 300 МВт.

Предварительное задание

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, каждый студент должен ознакомиться с данным описанием и изучить предлагаемую литературу [1–4].

Рабочее задание

В ходе выполнения лабораторной работы каждому студенту необходимо:

– изучить описание данных методических указаний;

– включить тренажер;

– ознакомиться с основными элементами компьютерного тренажера;

– произвести снятие необходимых параметров турбоустановки;

– провести расчет термического КПД турбоустановки при различных значениях температуры промежуточного перегрева пара;

– составить итоговый отчет и сделать выводы по лабораторной работе.

Порядок выполнения работы

1. Для расчета термического КПД турбоустановки К-300-240 необходимо найти на мнемосхемах тренажера следующие параметры работы энергоблока:

p_0 – давление острого пара перед турбиной, МПа;

t_0 – температура острого пара перед турбиной, °С;

$p_{\text{ПВ}}$ – давление питательной воды перед котлом, МПа;

$t_{\text{ПВ}}$ – температура питательной воды перед котлом, °С;

$p_{\text{ПП}}^{\text{Х}}$ – давление пара, направляемого на промежуточный перегрев, МПа;

$t_{\text{ПП}}^{\text{Х}}$ – температура пара, направляемого на промежуточный перегрев, °С;

$p_{\text{ПП}}^{\text{Г}}$ – давление пара после промежуточного перегревателя, МПа;

$t_{\text{ПП}}^{\text{Г}}$ – температура пара после промежуточного перегревателя, °С;

$p_{\text{ПН}}$ – давление воды, создаваемое питательным насосом, МПа;

$p_{\text{Д}}^{\text{В}}$ – давление воды на всасе питательного насоса, МПа;

$\text{t}_{\text{ПВ}}$ – температура питательной воды на входе в парогенератор.

Параметры промежуточного перегрева пара представлены на мнемосхеме № 5 «Промежуточный перегрев пара», которая показана на рис. 10. На этой схеме также представлены расходы пара в линии промежуточного перегрева.

Давление воды, создаваемое питательным насосом $p_{\text{ПН}}$, и давление воды на всасе питательного насоса $p_{\text{Д}}^{\text{В}}$ определяются по мнемосхеме № 19 «Питательная установка», которая показана на рис. 11.

Для снижения температуры промежуточного перегрева пара необходимо на небольшую величину открыть задвижки ППБ-2 А, ППБ-2 Б (≈ 10 %) и проследить за снижением температуры промперегрева.

Параметры питательной воды перед котлом ($p_{\text{пв}}$, $t_{\text{пв}}$) представлены на мнемосхеме № 20 «Группа ПВД», которая показана на рис. 12.

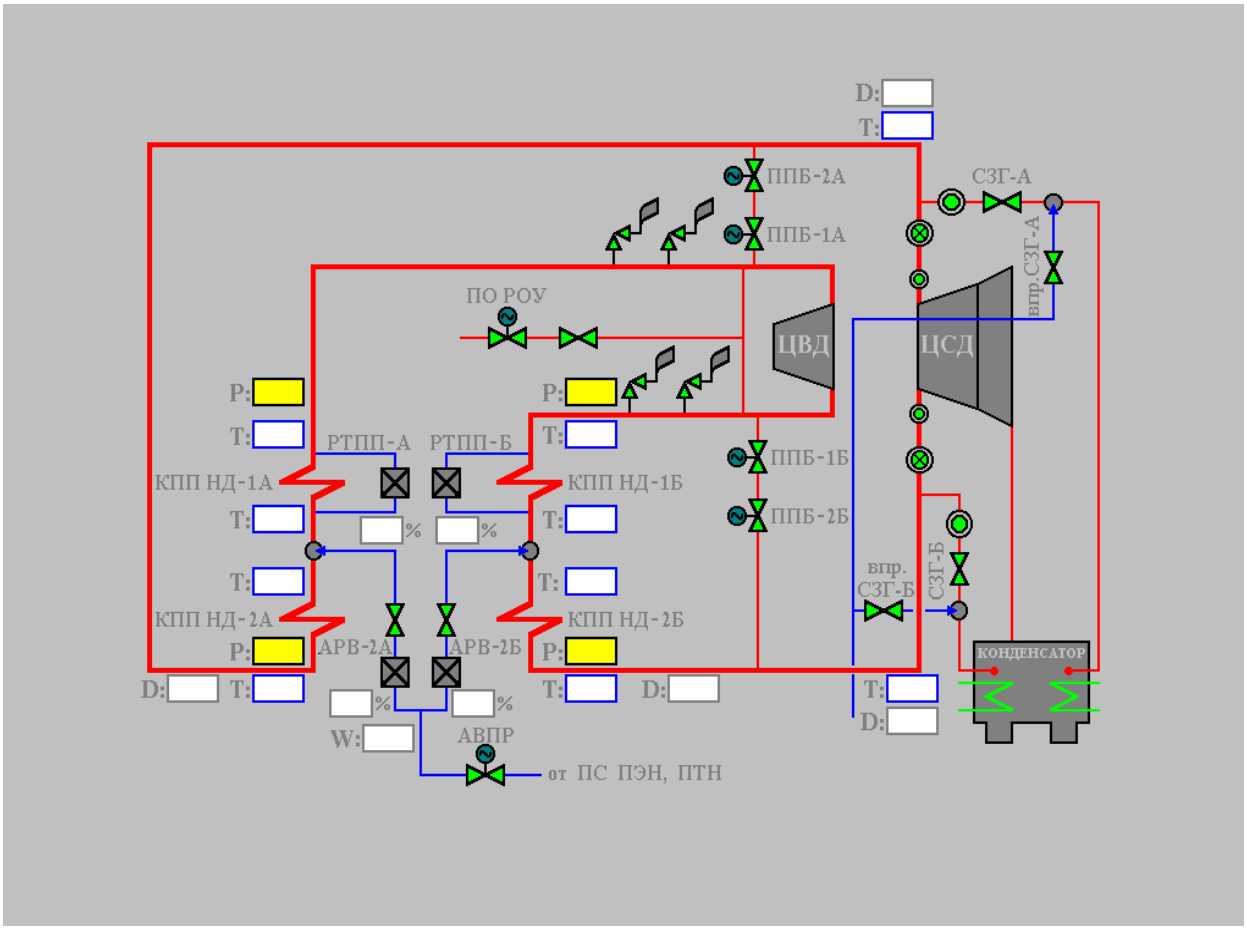

Рис. 10. Мнемосхема «Промежуточный перегрев пара»:
РТПП-А, РТПП-Б – регуляторы температуры перегретого пара ниток А и Б котла; КПП НД-1А, КПП НД-1Б – первые конвективные пароперегреватели низкого давления ниток А и Б котла; КПП НД-2А, КПП НД-2Б – вторые конвективные пароперегреватели низкого давления ниток А и Б котла; ПС ПЭН – промежуточная ступень питательного электронасоса; ПС ПТН – промежуточная ступень питательного турбонасоса; ППБ-1А, ППБ-1Б – первые задвижки на линии байпаса промежуточного перегрева пара ниток А и Б; ППБ-2А, ППБ-2Б – вторые задвижки на линии байпаса промежуточного перегрева пара ниток А и Б; АРВ-2А, АРВ-2Б – вторые автоматические регуляторы впрысков ниток А и Б котла; АВПР – задвижка на линии впрысков в систему промежуточного перегрева пара

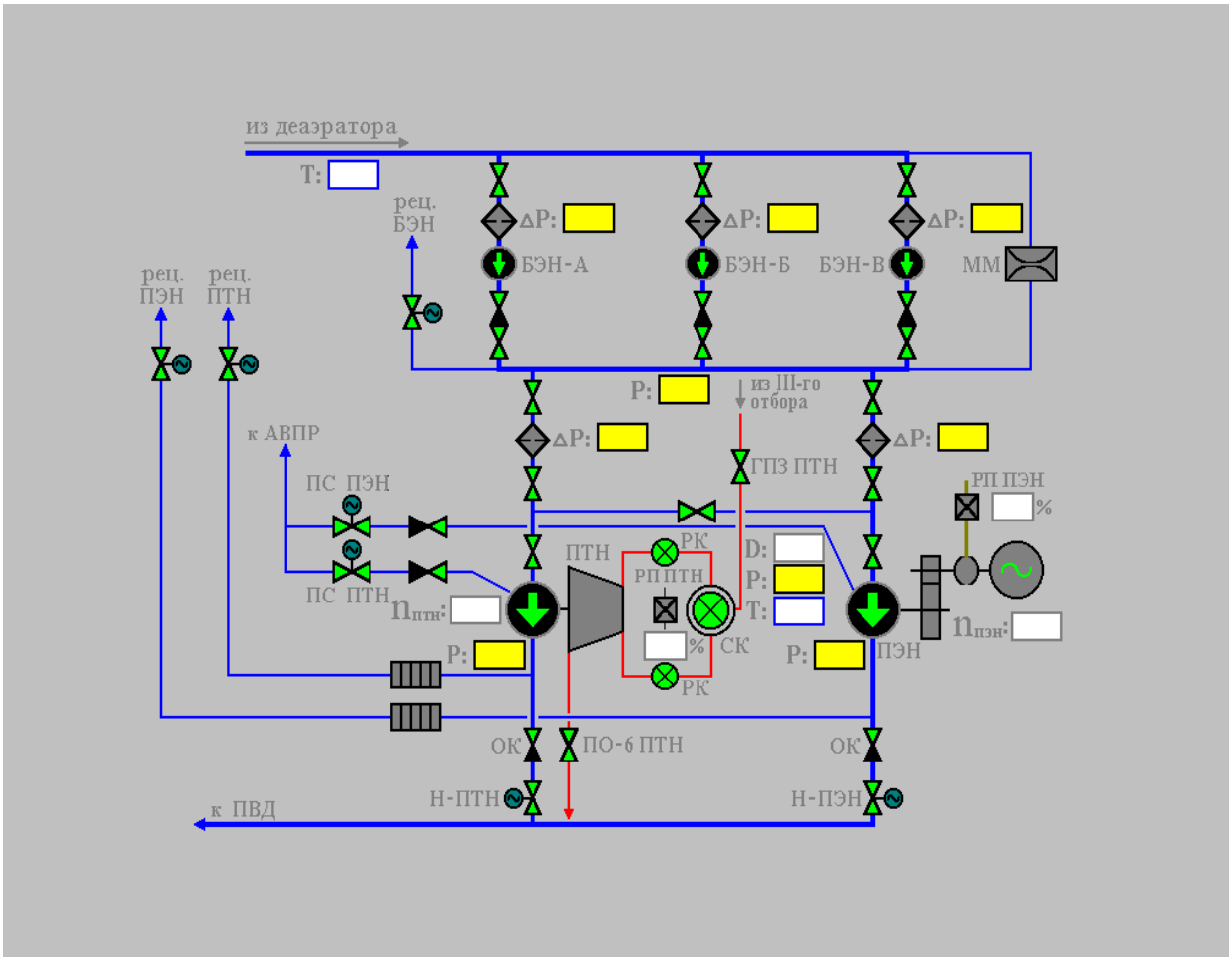

Рис. 11. Мнемосхема «Питательная установка»:
ПТН – питательный турбонасос; РК – регулирующий клапан; СК – стопорный клапан; РП ПЭН – регулятор привода питательного электронасоса; РП ПТН – регулятор привода питательного турбонасоса; БЭН-А, БЭН- Б, БЭН-В – бустерный электронасос ниток А, Б и В; ММ – мембранный модуль; рец. ПЭН – линия рециркуляции питательного электронасоса; рец. ПТН – линия рециркуляции питательного турбонасоса; рец. БЭН – линия рециркуляции бустерного электронасоса; ПО-6 ПТН – задвижка на линии выхлопа приводной турбины; ГПЗ ПТН – главная паровая задвижка линии отборного пара на питательный турбонасос; ОК – обратный клапан; Н-ПТН – напорная задвижка на трубопроводе питательной воды от питательного турбонасоса; Н-ПЭН – напорная задвижка на трубопроводе питательной воды от питательного электронасоса

2. Расчет термического КПД турбоустановки проводится по следующей формуле (рис. 5):

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{(i_0 - i_3) + (i_7 - i_6) - (i_8 - i_2)}{(i_0 - i_3) + (i_7 - i_6)}.$$

Если учесть регенеративный подогрев питательной воды, то формула изменится следующим образом:

$$\eta_t = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{(i_0 - i'_к) + (i_7 - i_6) - (i_8 - i_2)}{(i_0 - i'_к) + (i_7 - i_6)}.$$

Для определения энтальпий пара и воды необходимо воспользоваться таблицами [5].

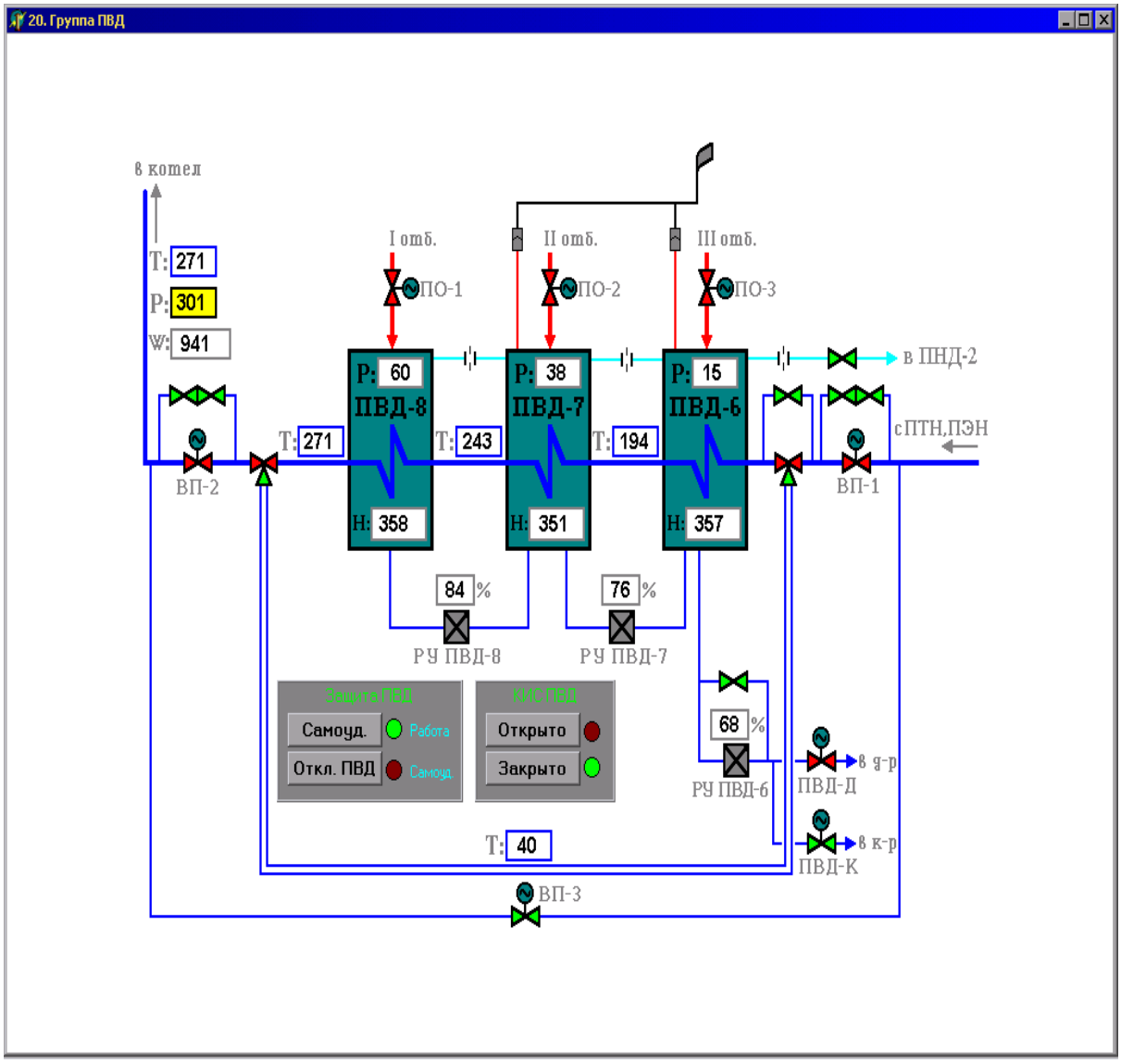

Рис. 12. Мнемосхема «Группа ПВД»:
ВП-1, ВП-2, ВП-3 – первая, вторая и третья задвижки на трубопроводе питательной воды; ПО-1, ПО-2, ПО-3 – задвижка на линии отборного пара на подогреватели высокого давления; ПВД-Д – задвижка на линии слива дренажей в деаэратор; ПВД-К – задвижка на линии слива дренажей в конденсатор; РУ ПВД-8, РУ ПВД-7, РУ ПВД-6 – регуляторы уровней воды в подогревателях высокого давления ПВД-8, ПВД-7 и ПВД-6

3. Составить отчет по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом и должен содержать:

– задание;

– исходные данные турбоустановки;

– расчет термического КПД турбоустановки при нескольких значениях температуры промежуточного перегрева пара;

– графики изменения термического КПД от температуры промежуточного перегрева пара;

– анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Как влияет изменение температуры промежуточного перегрева пара на термический КПД турбоустановки?
2. Как определяется термический КПД турбоустановки?
3. Какие потери в турбоустановке учитывает термический КПД турбоустановки?
4. Каким образом можно повысить термический КПД турбоустановки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжкин, В. Я. Тепловые электрические станции : учебник / В. Я. Рыжкин. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

2. Чичирова, Н. Д. Компьютерные тренажеры ТЭС : учебное пособие / Н. Д. Чичирова. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2009. – 204 с.

3. Низамова, А. Ш. Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты : учебное пособие / А. Ш. Низамова. – 2-е изд., испр. и доп. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2017. – 124 с.

4. Шашкин, А. В. Компьютерный тренажер энергоблока К-300-240 : методические указания / А. В Шашкин, А. И. Ляпин. – Казань : Казанский государственный энергетический университет, 2009. – 76 с.

5. Александров, А. А. Таблица теплофизических свойств воды и водяного пара : справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2006. – 168 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение ……..… 3
Краткие теоретические сведения ……..…. 4
Лабораторная работа № 1. Определение энергетических показателей работы турбоустановки К-300-240 на компьютерном тренажере энергоблока мощностью 300 МВт ……. 8
Лабораторная работа № 2. Определение термического КПД турбо-установки К-300-240 на компьютерном тренажере …..……..…… 16
Библиографический список ……..……. 21

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ

Практикум

Составитель: **Низамова** Альфия Шарифовна

Кафедра тепловых электрических станций КГЭУ

Редактор *С. Н. Чемоданова*
Компьютерная верстка *Т. И. Лунченковой*

Подписано в печать 22.03.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 0,66. Заказ № 336/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51