

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБОУСТАНОВОК

Издательство
Томского политехнического университета
2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. ОПИСАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ..... | 3 |
| 1.1 Турбина паровая К-210-130 | 3 |
| 1.2 Турбина паровая К-300-240..... | 4 |
| 1.3 Турбина паровая К-500-166..... | 7 |
| 1.4 Турбина паровая К-500-240..... | 8 |
| 1.5 Турбина паровая К-800-240 | 9 |
| 1.5 Турбина паровая К-1200-240 | 10 |
| 1.6 Турбина паровая ПТ-135-130..... | 11 |
| 1.7 Турбина паровая Т-100-130..... | 12 |
| 1.8 Турбина паровая Т-175-130..... | 13 |
| 1.9 Турбина паровая Т-250-240..... | 14 |
| 2. ЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ..... | 14 |
| 3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ | 18 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 29 |

1. ОПИСАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ

1.1 Турбина паровая К-210-130

Конденсационная паровая турбина типа К-200-130 без регулируемых отборов пара с одним газовым промежуточным перегревом пара, номинальной мощностью 200000 кВт, с числом оборотов 3000 об/мин предназначена для непосредственного привода генератора переменного тока типа ТГВ-200, мощностью 200000 кВт, монтируемого на общем фундаменте с турбиной.

Турбина представляет собой одновальный трёхцилиндровый агрегат - один однопоточный цилиндр высокого давления (ЦВД) и среднего давления (ЦСД) и один двухпоточный цилиндр низкого давления (ЦНД), с двумя конденсаторами.

Парораспределение турбины дроссельного типа. Пар из парогенератора поступает к четырем стопорным клапанам, которые непосредственно вмонтированы в паропроводы, после чего подводится к четырем регулирующим клапанам, из которых два расположены сверху, а два - по бокам турбины. Из ЦВД пар отводится в промежуточный перегреватель по двум нижним ресиверам 1200 мм. После перегревателя пар по двум боковым ресиверам отводится в цилиндр среднего давления. На ресиверах установлено по 10 линзовых компенсаторов, обеспечивающих необходимую свободу расширения. Пар из ЦСД поступает в ЦНД. Отработавший пар из ЦНД направляется в конденсаторы.

Валопровод турбины К-200-130 состоит из трех роторов – ротора высокого давления (РВД), ротора среднего давления (РСД) и ротора низкого давления (РНД). Каждый ротор опирается на два опорных подшипника, у РВД один из подшипников - опорно-упорный.

Пар, вырабатываемый парогенераторами, поступает к турбине с давлением 134 кгс/см^2 и температурой $572 \text{ }^\circ\text{C}$. Пройдя последовательно стопорные и регулирующие клапаны пар поступает в цилиндр высокого давления. Отработавший в ЦВД пар направляется в пароперегреватель, где перегревается газами парогенератора. Пройдя стопорно-регулирующие заслонки пар поступает в цилиндр среднего давления, а далее в цилиндр низкого давления. Отработавший в ЦНД пар поступает в конденсатор турбины, где охлаждается и конденсируется. В конденсаторе поддерживается давление $0,034 \text{ кгс/см}^2$ (вакуум).

Конденсат из конденсатора конденсатными насосами подаётся через подогреватели низкого давления в деаэратор. После деаэратора пи-

тательная вода питательными насосами подаётся через подогреватели высокого давления в парогенераторы с температурой 240 °С.

1.2 Турбина паровая К-300-240

Конденсационная паровая турбина К-300-240 номинальной мощностью 300 МВт, с начальным давлением пара 23,5 МПа предназначена для привода генератора переменного тока типа ТВВ-320-2 с частотой вращения ротора 50 с^{-1} ; для несения базовой части графиков нагрузок и участия в нормальном и аварийном регулировании мощности энергосистемы с возможностью привлечения для покрытия переменной части графиков нагрузок.

Главный питательный насос имеет паровой турбопривод. Пар на турбопривод отбирается из турбины за 16-й ступенью при давлении 1,5 МПа в количестве 108 т/ч при номинальной мощности. Отработанный пар из турбопривода возвращается в турбину за 24-ю ступень и частично – в ПНД № 3.

В турбине, кроме регенеративных отборов, допускаются следующие отборы пара без снижения номинальной мощности:

- 1) на подогрев воздуха, подаваемого в котлоагрегат в количестве 3 % от расхода пара на турбину (максимально 30 т/ч). Пар отбирается из паропровода возврата пара в турбину после турбопровода (отбор на ПНД № 3);
- 2) на подогреватели сетевой воды для покрытия теплофикационных нужд, в том числе, на основной сетевой подогреватель в количестве 19 т/ч. Пар отбирается из паропровода возврата пара после турбопривода и на пиковый подогреватель из паропровода пятого отбора (на ПНД № 4) в количестве 7 т/ч.

Допускаются дополнительные отборы пара со снижением мощности ниже номинальной.

При максимальном расходе пара, выключенных всех отборах пара, кроме системы регенерации, и номинальных параметрах пара, номинальных расходе и температуре охлаждающей воды может быть получена мощность 314 МВт.

При этих же условиях, но отключенных ПВД, развиваемая максимальная мощность составляет 345 МВт.

Допускается длительная работа турбины при отклонениях (в любых сочетаниях) параметров пара от номинальных в следующих пределах:

- давление свежего пара от 23,04 до 24,02 МПа;

- температура свежего пара (540+5+10) °С;
- температура охлаждающей воды на входе в конденсатор не выше 36°С.

Допускается кратковременная непрерывная работа турбины в течение не более 30 мин при повышении сверх номинальных значений температуры свежего пара и промежуточного перегрева на +10 °С или начального давления на 0,98 МПа. При достижении этих значений в любых сочетаниях суммарная продолжительность работы турбины не более 200 часов в год.

Турбина представляет собой одновальный трехцилиндровый агрегат с тремя выхлопами в один общий конденсатор.

Турбина выполнена с сопловым парораспределением. Свежий пар подводится в среднюю часть ЦВД турбины через два блока стопорных и регулирующих клапанов, расположенных по обе стороны цилиндра. ЦВД имеет внутренний и наружный корпусы с горизонтальными разъемами каждый. Четыре паровпускных штуцера вварены в среднюю часть наружного корпуса и подвижно соединены при помощи поршневых колец с горловинами внутреннего корпуса, к которым приварены сопловые коробки. ЦВД имеет 12 ступеней давления, в том числе, одновенечную регулируемую.

Проточная часть ЦВД разделена на два последовательных отсека. Первый (левый) отсек состоит из одновенечной регулирующей ступени и пяти ступеней давления, пар в которых направлен от середины цилиндра в сторону генератора, правый - из шести ступеней давления. По выходе из ЦВД пар отводится для промежуточного перегрева в котлоагрегат, из которого направляется в ЦСД через две паровые коробки. В каждой коробке расположен один автоматический стопорный клапан и один регулирующий.

ЦСД – прямоточный и конструктивно выполнен из трех частей. Проточная часть ЦСД делится на ЧСД и ЧНД. Парораспределение ЦСД - дроссельное. Регулирующие клапаны работают одновременно и подводят пар через общую камеру по всей окружности направляющего аппарата.

Прямоточная проточная часть ЦСД состоит из 12 ступеней давления, образующих собственно ЧСД турбины. Из расположенной за 12-й ступенью камеры ЦСД две трети парового потока отводятся по перепускным трубам, помещенным под площадками по обе стороны турбины, в среднюю часть ЦНД. Остальная треть парового потока проходит через пять ступеней давления, образующих ЧНД ЦСД, и выхлопной па-

трубок в один общий конденсатор, принимающий также пар из выхлопных патрубков ЦНД.

ЦНД - двухпоточный, причем проточная часть каждого потока содержит по пять ступеней давления (встречного вращения) на общем валу. Конструкция подвески внутренней средней части ЦНД допускает ее свободное тепловое расширение в наружном корпусе.

Рабочие лопатки последней ступени ЦНД имеют рабочую длину 960 мм при среднем диаметре 2480 мм, что соответствует торцевой площади каждого из трех выхлопов – 7,48 м². Ротор ЦВД - цельнокованный.

Ротор ЦСД имеет 12 дисков, откованных заодно с валом, и пять насадных дисков ЧНД.

Ротор ЦНД состоит из вала, на который насажено десять дисков, по пять на каждый поток. Все роторы турбины выполнены гибкими. Роторы ЦВД и ЦСД соединены жесткой муфтой и имеют общий комбинированный опорно-упорный средний подшипник, фиксирующий осевое положение всего валопровода турбины и генератора. Роторы среднего и низкого давлений турбины соединены жесткой муфтой, роторы турбины и генератора тоже соединены жесткой муфтой.

Для сокращения времени прогрева и улучшения условий пуска в турбине осуществляется паровой обогрев фланцев и шпилек. Допускается автоматический пуск и последующее нагружение турбины после простоя любой продолжительности. Предусматривается пуск турбины на скользящих параметрах пара из холодного и различной степени неостывшего состояний.

Общее число пусков за срок службы – не более 1500. Турбина снабжена паровыми лабиринтовыми уплотнениями. В предпоследние отсеки концевых уплотнений ЦНД подается пар из коллектора уплотнений, в котором с помощью регуляторов устанавливается давление 0,107-0,117 МПа. При этом давление в камерах уплотнения поддерживается равным 0,101-0,103 МПа.

Концевые уплотнения ЦВД и ЦСД работают по принципу самоуплотнения. Отсосы пара из двух камер отсоса ЦВД и ЦСД направляются в ПНД-3. Из концевых камер всех цилиндров паровоздушная смесь отсасывается эжектором через вакуумный охладитель. Схема питания концевых уплотнений ЦВД и ЦСД позволяет производить подачу горячего пара от постороннего источника при пусках турбины из неостывшего состояния.

Для обеспечения правильного режима работы и дистанционного управления системой дренажа при пусках и остановках турбины предусмотрено групповое дренирование в конденсатор.

Фикспункт турбины расположен на боковых рамах задней части ЦНД, и агрегат расширяется в сторону переднего подшипника и незначительно в сторону генератора.

Турбина снабжена валоповоротным устройством с приводом от электродвигателя, вращающего ротор турбины с частотой 3,4 об/мин. Устанавливается автоматическое устройство поворота ротора, которое обеспечивает поворот ротора остывающей турбины через каждые 10 мин на 180° С.

Лопаточный аппарат турбины рассчитан и настроен на работу при частоте тока в сети 50 Гц, что соответствует частоте вращения ротора турбоагрегата 50 с⁻¹ (3000 об/мин). Допускается длительная работа турбины при отклонениях частоты тока в сети 49,0-50,5 Гц.

1.3 Турбина паровая К-500-166

Турбина К-500-166-1 изготовлена для электростанций Германии и Польши на параметры свежего пара, отличающиеся от принятых в отечественной энергетике. Турбина предназначена для повторно-кратковременного режима работы, допускается ежедневный пуск и останов.

Четырехцилиндровая конденсационная турбина с промежуточным перегревом пара, четырьмя выхлопами в конденсатор и развитой системой регенеративного подогрева питательной воды.

Возможны нерегулируемые отборы пара на собственные нужды станции.

Паровая турбина состоит из ЦВД, ЦСД и четырехпоточного ЦНД и рассчитана на работу с номинальной частотой 50 с⁻¹ (3000 об/мин).

Начальные параметры пара:

- давление пара перед стопорно-регулирующими клапанами 16,3 МПа,
- температура пара 540 °С.

Параметры пара после промперегрева:

- давление 3,7 МПа,
- температура 535 °С.

Турбина представляет собой одновальный агрегат и имеет семь отборов пара для регенеративного подогрева питательной воды. Номинальный расход свежего пара составляет 1715 т/ч.

Регенеративная система турбоустановки включает подогреватели, утилизирующие теплоту пара из уплотнений и эжекторов, поверхностные ПНД, деаэратор и ПВД.

1.4 Турбина паровая К-500-240

Конденсационный энергоблок 500 МВт предназначен преимущественно для установки на крупных ГРЭС и спроектирован на начальные параметры – давление перед стопорно-регулирующими клапанами $p_0=23,5$ МПа, начальная температура пара $t_0=540$ °С с промежуточным перегрева пара.

Одновальная паровая конденсационная турбина К-500-240 номинальной мощностью 500 МВт состоит из однопоточных цилиндров высокого и среднего давления и двух двухпоточных цилиндров низкого давления. Турбина предназначена для непосредственного привода генераторов переменного тока, который монтируется на общем фундаменте с турбиной. Частота вращения ротора 50 с^{-1} (3000 об/мин), направление вращения – по часовой стрелке со стороны переднего подшипника турбины в сторону генератора.

Турбина представляет собой одновальный агрегат и имеет восемь отборов пара для регенеративного подогрева питательной воды.

Конденсаторная установка включает два поверхностных конденсатора, основные эжекторы для удаления воздуха, конденсатные насосы I и II ступеней, циркуляционные насосы, водяные фильтры, трубопроводы, арматура и т.д. Выхлоп отработавшего пара осуществляется из каждого ЦНД в свой конденсатор. Для возможности эксплуатации турбоагрегата с нагрузкой до 70 % номинальной при отключенном конденсаторе между переходными патрубками конденсаторов выпущены два перепуска коробчатого сечения общей площадью 12 м^2 . Установка конденсаторов – перпендикулярная относительно оси турбоагрегата.

Турбоустановка К-500-240 снабжена развитой системой регенеративного подогрева питательной воды и всережимными питательными насосами с конденсационными турбинными приводами. Кроме отборов на регенерацию, обеспечивается отпуск пара на теплофикационную установку, состоящую из двух подогревателей сетевой воды, на подогрев воздуха, подаваемого в котел, а также на подогрев добавка в цикл химически обессоленной воды, подаваемой в конденсаторы.

Система регенерации выполнена одноточной, с минимальным количеством параллельных связей по пару, конденсату и питательной воде.

Параметры пара, конденсата и питательной воде соответствуют режиму эксплуатации турбины при эксплуатации турбины при расходе свежего пара.

Теплофикационная установка предназначена для подогрева сетевой воды, используемой для нужд теплоснабжения. Установка состоит из основного и пикового бойлеров, а также охладителей дренажей бойлеров. Питание основного и пикового бойлеров осуществляется соответственно из VII и V отборов.

В состав питательно-деаэрационной установки входят деаэраторы, предвключенные (бустерные) и питательные насосы, приводные турбины питательных насосов со своим вспомогательным оборудованием.

Деаэраторы обеспечивают удаление неконденсирующихся газов из питательной воды и осуществляют ее подогрев.

Блок комплектуется двумя деаэраторами на рабочее давление 0,69 МПа с деаэрационными колонками типа ДСП-800 производительностью 800 т/ч каждая. Деаэраторы соединены между собой паровыми и водяными уравнительными трубопроводами и работают как сообщающиеся сосуды. Суммарная емкость деаэрационных баков 200 м³, что обеспечивает более чем пятиминутный запас воды при номинальной нагрузке блока.

1.5 Турбина паровая К-800-240

Турбина К-800-240 ЛМЗ мощностью 800 МВт, рассчитанная на параметры пара 24,5 МПа и 555°С с промежуточным перегревом пара до 555°С, с давлением в конденсаторе 3,5 кПа и частотой вращения 50 1/с. Турбина устанавливается в блоке с прямоточным котлом.

Турбина имеет пять цилиндров – 1 ЦВД, 1 двухпоточный ЦСД и 3 двухпоточных ЦНД.

Турбина имеет семь регенеративных отборов пара: два – из ЦВД, четыре из ЦСД и один из ЦНД.

Из конденсатора насосами первой ступени конденсат прокачивают через блочную обессоливающую установку, в которой из конденсата извлекают соли железа, меди и т.п. Установка БОУ для 100%-ной очистки конденсата обязательна для блоков с прямоточным котлом, т.к. он надежно работает только на питательной воде высокой чистоты. Конденсатные насосы второй ступени служат для прокачки конденсата в деаэрацию питательной воды.

Конденсат турбины подогревается в охладителях уплотнений, охладителе эжекторов и системе ПНД. Питательная вода бустерным и

питательным насосами прокачивается через три ПВД. Все ПВД, ПНД-4 и ПНД-5 (поверхностного типа) имеют встроенные пароохладители и охладители дренажа греющего пара.

Наличие бустерного насоса позволяет создать гарантированное давление на всасывающей стороне основного насоса и обеспечить его надежную работу.

Питательная установка имеет конденсационный турбопривод, питаемый паром из третьего отбора и включающий редуктор для понижения частоты вращения бустерного насоса. Конденсат турбопривода конденсатным насосом направляется в основной конденсатор.

1.5 Турбина паровая К-1200-240

Схема проектируемой турбины К-1200-240 мощностью 1200 МВт, рассчитанная на параметры пара 23,7 МПа и 560°С с промежуточным перегревом пара до 560°С, с давлением в конденсаторе 3,0 кПа и частотой вращения 50 1/с. Турбина устанавливается в блоке с прямоточным котлом.

Турбина имеет пять цилиндров – 1 ЦВД, 1 ЦСД и 3 двухпоточных ЦНД.

Турбина имеет девять регенеративных отборов пара: два – из ЦВД, три из ЦСД и пять из ЦНД.

Конденсатные насосы служат для подачи основного конденсата в ПНД, для прокачки конденсата в деаэрактор питательной воды.

Питательная вода бустерным и питательным насосами прокачивается через три ПВД. Наличие бустерного насоса позволяет создать гарантированное давление на всасывающей стороне основного насоса и обеспечить его надежную работу.

Питательная установка имеет конденсационный турбопривод, питаемый паром из четвертого отбора и включающий редуктор для понижения частоты вращения бустерного насоса. После расширения в турбоприводе пар из него направляется в конденсатор турбопривода, после которого конденсатным насосом перекачивается в основной конденсатор турбины.

Тепловой схемой турбоустановки предусмотрена двухступенчатая сетевая установка, состоящая из нижнего и верхнего сетевых подогревателей, общей тепловой нагрузкой 60 МВт.

Для восполнения потери рабочего тела в тепловую схему к пятому отбору подключен испаритель.

1.6 Турбина паровая ПТ-135-130

Турбоустановка типа ПТ-135-130 Уральского ТМЗ имеет электрическую мощность 135 МВт.

Теплофикационная паровая турбина ПТ-135-130 одновальная, двухцилиндровая. Оба теплофикационных отбора выполнены в средней части ЦНД и разделены промежуточным отсеком. Парораспределение ЦВД и ЦНД сопловое. Регулирование давления отопительных отборов независимое и осуществляется с помощью поворотных диафрагм. Производственный отбор пара осуществляется из выходного патрубка ЦВД.

Регенеративная система турбоустановки включает подогреватели, утилизирующие теплоту пара из уплотнений и эжекторов, четыре ПНД, деаэратор и три ПВД. Подогреватели низкого давления питаются греющим паром из ЦНД турбины, а ПВД и деаэратор – из ЦВД.

Каждый из роторов валопровода лежит в двух опорных подшипниках. Задний подшипник ЦВД – комбинированный: диски первых шести ступеней откованы за одно с валом, остальные диски – насадные. Для уменьшения осевого усилия на валу в области переднего концевого уплотнения ЦНД выполнен ступенчатый разгрузочный диск больших размеров.

Корпус ЦНД имеет два технологических разъема. Передняя и средняя части – литые, задняя – сварная. Все диафрагмы установлены в обоймах, пространство между которыми использовано для размещения патрубков отборов.

С учетом работы в области значительной влажности из-за отсутствия промежуточного перегрева пара лопатки последней ступени выполнены умеренной длины, что обеспечивает её надёжность против эрозийного износа.

Система регулирования турбины выполнена электрогидравлической. Рассматриваемая турбина имеет четыре регулируемых параметра (давление в трех отборах и электрическая мощность).

Система регулирования обеспечивает все режимы, важные для турбины с отборами пара. В частности, турбина может работать как турбина с двумя отборами, если диафрагма верхнего отопительного отбора открыта полностью, а соответствующий регулятор давления отключен. Полное закрытие диафрагмы ЧНД позволяет осуществить режим работы с противодавлением: при этом тепло пара, пропускаемого через ЧНД для вентиляции, используется для подогрева сетевой воды.

Электрическая часть системы регулирования обеспечивает хорошее качество регулирования мощности и давления в отборах и ускоряет срабатывание системы защиты в аварийных ситуациях.

1.7 Турбина паровая Т-100-130

Электрическая мощность энергоблока с турбиной типа Т-100-130 Уральского турбинного завода составляет 100 МВт.

Пар к стопорному клапану подводится по двум паропроводам и затем по четырем перепускным трубам направляется к четырем регулирующим клапанам. Открываясь последовательно, регулирующие клапаны подают пар в четыре вваренные в корпус сопловые коробки, откуда пар поступает на двухвенечную регулируемую ступень. Пройдя её и восемь нерегулируемых ступеней, пар через два патрубка покидает ЦВД и по четырем паровпускам подводится к кольцевой коробке ЦСД, отлитой заодно с корпусом. ЦСД содержит 14 ступеней. После 12 ступени производится верхний, а после последней ступени – нижний теплофикационный отбор.

Из ЦСД по двум ресиверным трубам, установленным над турбиной, пар направляется в ЦНД двухпоточной конструкции. На входе каждого потока установлена поворотная регулирующая диафрагма с одним ярусом окон, реализующая дроссельное парораспределение в ЦНД. В каждом потоке ЦНД имеются по две ступени.

Валопровод турбоагрегата состоит из ротора ЦВД, ЦСД, ЦНД и генератора. Роторы ЦВД и ЦСД соединены жесткой муфтой, причем полумуфта ЦСД откована заодно с валом. Между роторами ЦСД и ЦНД, ЦНД и генератора установлены полужесткие муфты. Каждый из роторов уложен в двух опорных подшипниках. Комбинированный опорно-упорный подшипник расположен в корпусе среднего подшипника между ЦВД и ЦСД.

Ротор ЦСД – комбинированный: диски первых восьми ступеней откованы заодно с валом, а остальные насажены на вал с натягом.

Корпус ЦСД имеет вертикальный технологический разъем, соединяющий литую переднюю часть и заднюю сварную.

Ротор ЦНД – сборный: четыре рабочих диска посажены на вал с натягом.

Корпус ЦНД состоит из трех частей: средней сварно-литой и двух выходных сварных.

Корпуса ЦВД и ЦСД опираются на корпуса подшипников с помощью лап. Выходная часть ЦСД опирается лапами на переднюю часть ЦНД.

ЦНД имеет встроенные подшипники и опирается на фундаментальные рамы своим опорным поясом. Фикспункт находится на пересечении продольной оси турбины и осей двух поперечных шпонок, установленных на продольных рамах в области левого (переднего) выходного патрубка. Взаимная центровка корпусов цилиндров и подшипников осуществляется системой вертикальных и поперечных шпонок, установленных между лапами цилиндров и их опорными поверхностями. Расширение турбины происходит в основном от фикспункта в сторону переднего подшипника и частично – в сторону генератора.

Регенеративная система турбоустановки включает подогреватели, утилизирующие теплоту пара из уплотнений и эжекторов, четыре ПНД, деаэратор и три ПВД.

1.8 Турбина паровая Т-175-130

Электрическая мощность энергоблока с турбиной типа Т-175-130 Уральского турбинного завода составляет 175 МВт.

Предусмотрен двухступенчатый нагрев сетевой воды и использование регулирующих диафрагм для поддержания давления в теплофикационных отборах.

Пар из стационарного коллектора через стопорный клапан подводится к четырем регулирующим клапанам, установленным на ЦВД турбины. Турбина состоит из трех цилиндров. Парораспределение турбины – сопловое. Проточная часть ЦСД включает девять ступеней, из них две последние образуют промежуточный отсек.

Ротор ЦСД – комбинированный, с цельнокованой передней частью. В связи с тем, что на выходе ЦСД расположен промежуточный отсек, на который действует значительная разность давлений, зависящая от расхода пара, в районе переднего уплотнения выполнен думмис большого диаметра, уравнивающий осевое усилие, возникающее в проточной части. Корпус ЦСД состоит из передней (литой) и выходной (сварной) частей, соединенных вертикальным технологическим разъемом.

Ротор ЦНД – сборный, корпус – сварной, двухстенный.

Корпуса ЦВД и ЦСД подвешены лапами на ступля подшипников; первые два из них – выносные, третий и четвертый – встроены в выходные патрубки ЦНД. Под лапами корпусов установлены поперечные шпонки. Фикспункт турбины образован пересечением осей продольных

и поперечных шпонок, расположенных на боковых фундаментных рамах ЦНД в зоне выходного патрубка, соседствующего с ЦСД, перемещающая корпуса подшипников вдоль продольных шпонок по фундаментным рамам.

Регенеративная система турбоустановки включает подогреватели, утилизирующие теплоту пара из уплотнений и эжекторов, четыре ПНД, деаэратор и три ПВД. Подогреватели низкого давления, первые два ПВД по ходу питательной воды и деаэратор питаются греющим паром из ЦСД турбины, а последний перед котлом ПВД – из ЦВД.

1.9 Турбина паровая Т-250-240

Турбина выполнена на сверхкритические параметры пара. Высокое давление потребовало введение промежуточного перегрева пара до 550 °С для снижения влажности в последних ступенях турбины. Турбина состоит из ЦВД, ЦСД-I, ЦСД-II и ЦНД. Свежий пар с параметрами 23 МПа, 540 °С подводится к двум отдельным блокам клапанов. Каждый блок представляет собой комбинацию одного стопорного и трех регулирующих клапанов и обслуживает три группы сопел. Пар от регулирующих клапанов по десяти трубам подводится к четырем сопловым коробкам. Конечное давление в конденсаторе составляет 0,003 МПа.

Турбина имеет девять регенеративных отборов пара: два - из ЦВД, три – из ЦСД-I, два из ЦСД-II и один – из ЦНД. Конденсат турбины подогревается в охладителе основных эжекторов (ОЭ) и в подогревателе уплотнений (ПУ) далее в пяти поверхностных подогревателях низкого давления (ПНД). После деаэратора питательная вода питательным насосом прокачивается через три подогревателя высокого давления (ПВД) и подается в котел.

Питательная установка имеет приводную турбину, питаемую перегретым паром из третьего отбора ЦСД-I. Отработавший пар приводной турбины направляется в поверхностный подогреватель (ПВД 5).

Греющий пар для сетевой подогревательной установки отбирается из шестого и седьмого отборов турбины.

2. ЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Значения основных измеряемых параметров турбоагрегатов приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Значения основных параметров турбоагрегатов

| № | Параметр | Ед.изм. | К-210-130 | К-300-240 | К-500-240 | К-500-166 | К-800-240 | К-1200-240 | Т-250-240 | Т-100-130 | Т-175-130 | ПТ-135-130 |
|-----|--|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | Число цилиндров | шт. | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| 2 | Мощность | МВт | 210 | 300 | 500 | 500 | 800 | 1200 | 250 | 100 | 175 | 135 |
| 3 | Отбор пара на производство | т/ч | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3200,4 |
| 4 | Материал и диаметр: | | 15XM1Ф | 12X1MФ | 12MX | 12MX | 12MX | 12MX | 12X1MФ | 15XM | 15XM | 15XM |
| 4.1 | Паропроводов свежего пара | мм | 325x60 | 325x60 | 2x377x56 | 2x377x56 | 2x530x100 | 4x377x60 | 325x60 | 273x32 | 273x32 | 325x38 |
| 4.2 | Питательных трубопроводов | мм | 377x45 | 377x45 | 530x65 | 530x65 | 630x75 | 2x530x65 | 377x45 | 273x32 | 235x40 | 325x40 |
| 4.3 | паропроводов промперегрева | мм | 2x465x16 | 2x465x16 | 2x630x17 | 2x630x17 | 2x290x22 | 2x920x25 | 352x13 | - | - | - |
| 4.4 | то же горячей нитки | мм | 2x630x25 | 2x630x25 | 2x720x22 | 2x720x22 | 2x920x36 | 2x650x35 | 465x19 | - | - | - |
| 5 | Температура пара перед ГПЗ | °С | 565 | 560 | 540 | 535 | 540 | 540 | 565 | 555 | 555 | 555 |
| 6 | Температура металла турбины | °С | 565 | 560 | 540 | 535 | 540 | 540 | 565 | 555 | 555 | 555 |
| 7 | Температура металла в стопорных клапанах ЦВД | °С | 565 | 560 | 540 | 535 | 540 | 540 | 565 | 555 | 555 | 555 |
| 8 | Температура пара после ПП перед стопорными клапанами ЦСД | °С | 565 | 560 | 540 | 535 | 540 | 540 | 565 | - | - | - |
| 9 | Температура пара производственных отборов | °С | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 275 |
| 10 | Температура баббита опорных подшипников | °С | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| 11 | Температура конденсата греющего пара | °С | 78 | 62 | 56 | 56 | 60 | 60 | 135 | 130 | 99 | 127 |
| 12 | Температура пара в холодных паропроводах промперегрева | °С | 347 | 309 | 234 | 294 | 289 | 295 | 300 | 337 | 333 | 325 |
| 13 | Температура пара в паропроводе к ПТН | °С | - | 445 | 374 | 374 | 440 | 450 | 485 | - | - | - |
| 14 | Температура основного конденсата после конденсатора/ перед деаэратором | °С | 26/157 | 26/155 | 27/148 | 27/148 | 25/156 | 26/143 | 32/152 | 34/153 | 32/159 | 26/148 |

| № | Параметр | Ед.изм. | К-210-130 | К-300-240 | К-500-240 | К-500-166 | К-800-240 | К-1200-240 | Т-250-240 | Т-100-130 | Т-175-130 | ПТ-135-130 |
|----|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 15 | Температура питательной воды за группой ПВД | °С | 240 | 265 | 265 | 244 | 274 | 274 | 263 | 229 | 232 | 232 |
| 16 | Температура пара в камере регулирующей ступени ЦВД | °С | 365 | 437 | 437 | 437 | 437 | 407 | 437 | 555 | 555 | 410 |
| 17 | Давление пара перед ГПЗ | МПа | 12,75 | 23,5 | 23,54 | 23,54 | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 12,75 | 12,75 | 12,75 |
| 18 | Давление пара перед стопорными клапанами ЦВД | МПа | 12,75 | 23,5 | 23,54 | 23,54 | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 12,75 | 12,75 | 12,75 |
| 19 | Давление пара перед стопорными клапанами ЦСД | МПа | 2,52 | 3,53 | 3,65 | 3,55 | 3,24 | 3,51 | 3,65 | - | - | - |
| 20 | Давление пара в холодной линии ПП | МПа | 2,52 | 3,92 | 4,07 | 4,07 | 3,77 | 3,9 | 4,07 | - | - | - |
| 21 | Давление пара в горячей линии ПП | МПа | 2,12 | 3,53 | 3,65 | 3,65 | 3,37 | 3,5 | 3,43 | - | - | - |
| 22 | Давление пара в камере регулирующей ступени ЦВД | МПа | 8,25 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 9,8 | 8,25 | 8,25 | 9,6 |
| 23 | Давление пара в камере ЦСД | МПа | 1,82 | 3,23 | 3,35 | 3,3 | 3,07 | 3,2 | 3,03 | - | - | - |
| 24 | Давление пара в паропроводе регулируемого отбора пара на производство | МПа | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,16 |
| 25 | Давление пара в паропроводе регулируемого отбора на теплофикацию | МПа | - | - | - | - | - | - | 0,093/0,027 | 0,098/0,037 | 0,098/0,049 | 0,078/0,019 |
| 26 | Давление питательной воды и основного конденсата на входе системы регенерации | МПа | 20 | 34 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 20 | 20 | 20 |
| 27 | Вакуум в конденсаторе | МПа | 0,0034 | 0,0034 | 0,0035 | 0,0035 | 0,00343 | 0,00358 | 0,0049 | 0,0053 | 0,0049 | 0,0034 |
| 28 | Расход свежего пара | т/ч | 670 | 930 | 1510 | 1715 | 2400 | 3950 | 380 | 485 | 760 | 760 |
| 29 | Расход пара на производство | т/ч | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 14,6 |
| 30 | Расход питательной воды на ПВД | т/ч | 600 | 930 | 1510 | 960 | 2400 | 3957 | 988 | 493 | 768 | 766 |

| № | Параметр | Ед.изм. | К-210-130 | К-300-240 | К-500-240 | К-500-166 | К-800-240 | К-1200-240 | Т-250-240 | Т-100-130 | Т-175-130 | ПТ-135-130 |
|----|---|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 31 | Расход основного конденсата | т/ч | 586 | 747 | 1330 | 1330 | 2257 | 3228 | 801 | 432 | 659 | 663 |
| 32 | Уровень в конденсаторе/в ПВД | мм | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 | 750/500 |
| 33 | Абсолютное тепловое расширение цилиндров турбины | мм | 8 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 | 8 | 8 |
| 34 | Давление пара перед турбиной | МПа | - | 1,559 | 1,098 | 1,098 | 1,63 | 1,82 | 2,48 | - | - | - |
| 35 | Температура воды на входе/выходе сетевых подогревателей | °С | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 | 110/70 |
| 36 | Частота вращения ротора | с ⁻¹ | 50 | 60 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 37 | Осевой сдвиг ротора | мм | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 38 | Вибрация подшипников турбин | мм | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 39 | Эксцентриситет ротора | мм | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

3. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ

Принципиальные тепловые схемы турбоустановок приведены на рис. 3.1–3.10.

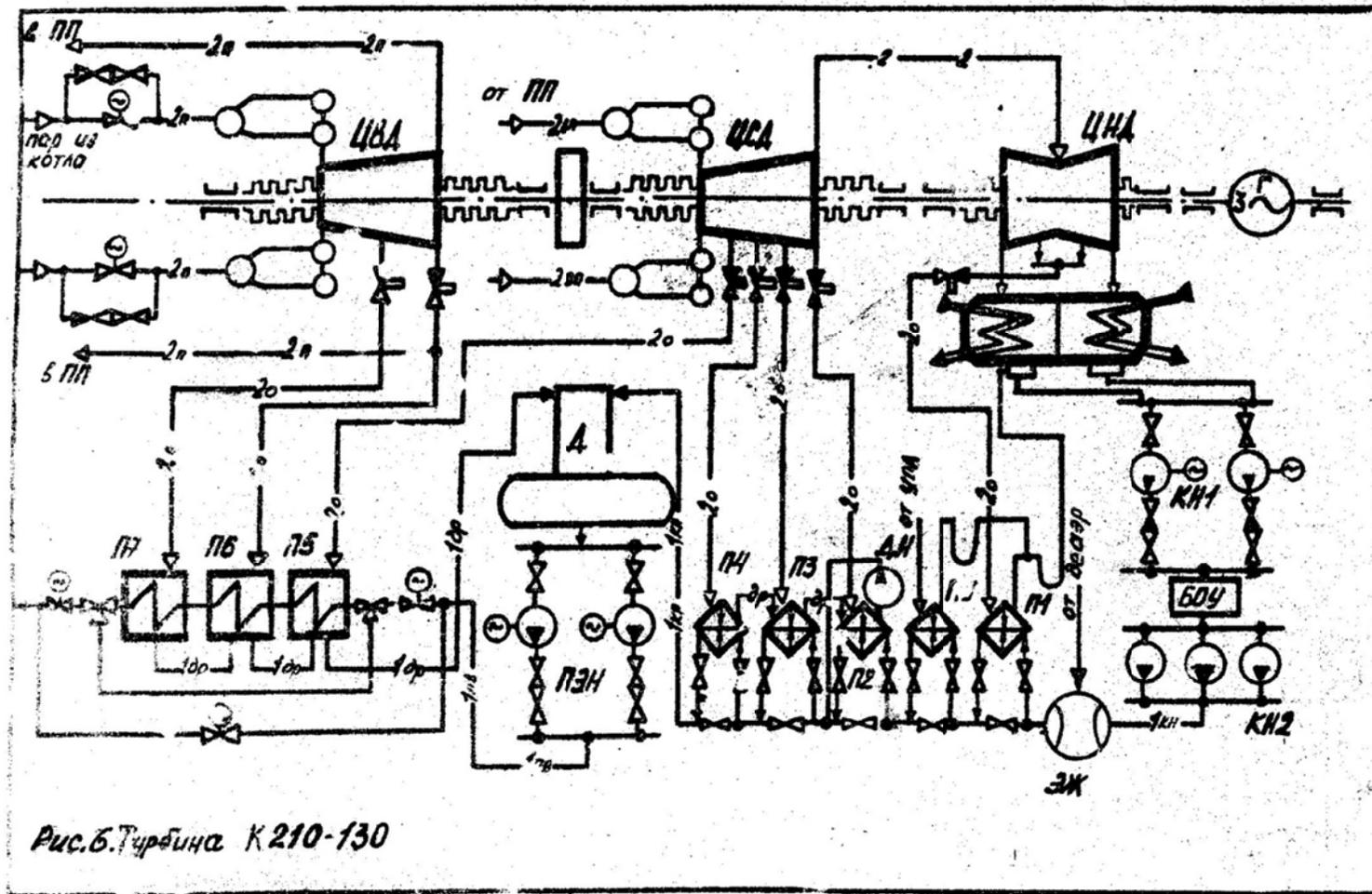


Рис. 3.1. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа К-210-130

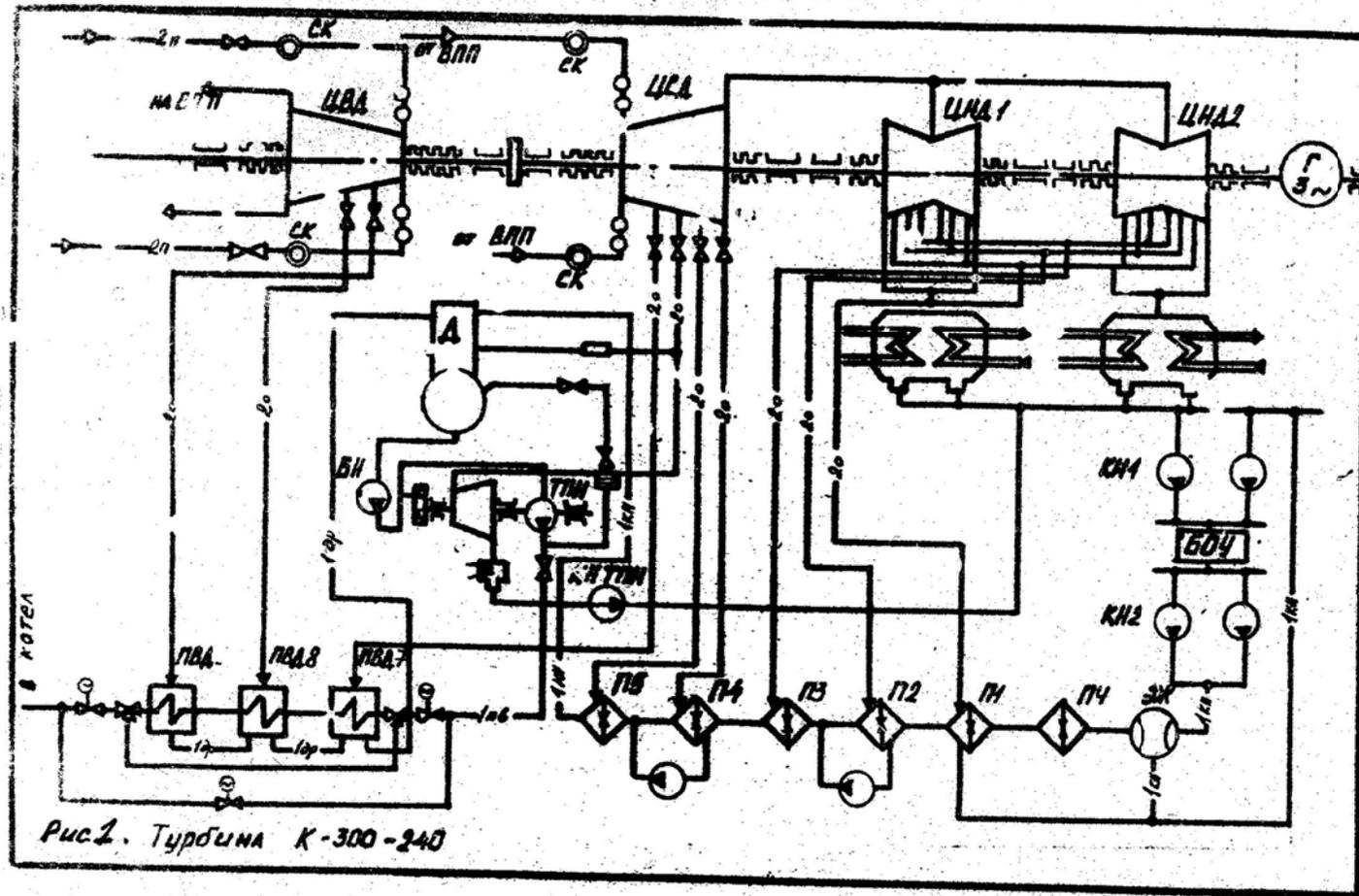


Рис. 3.2. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа К-300-240

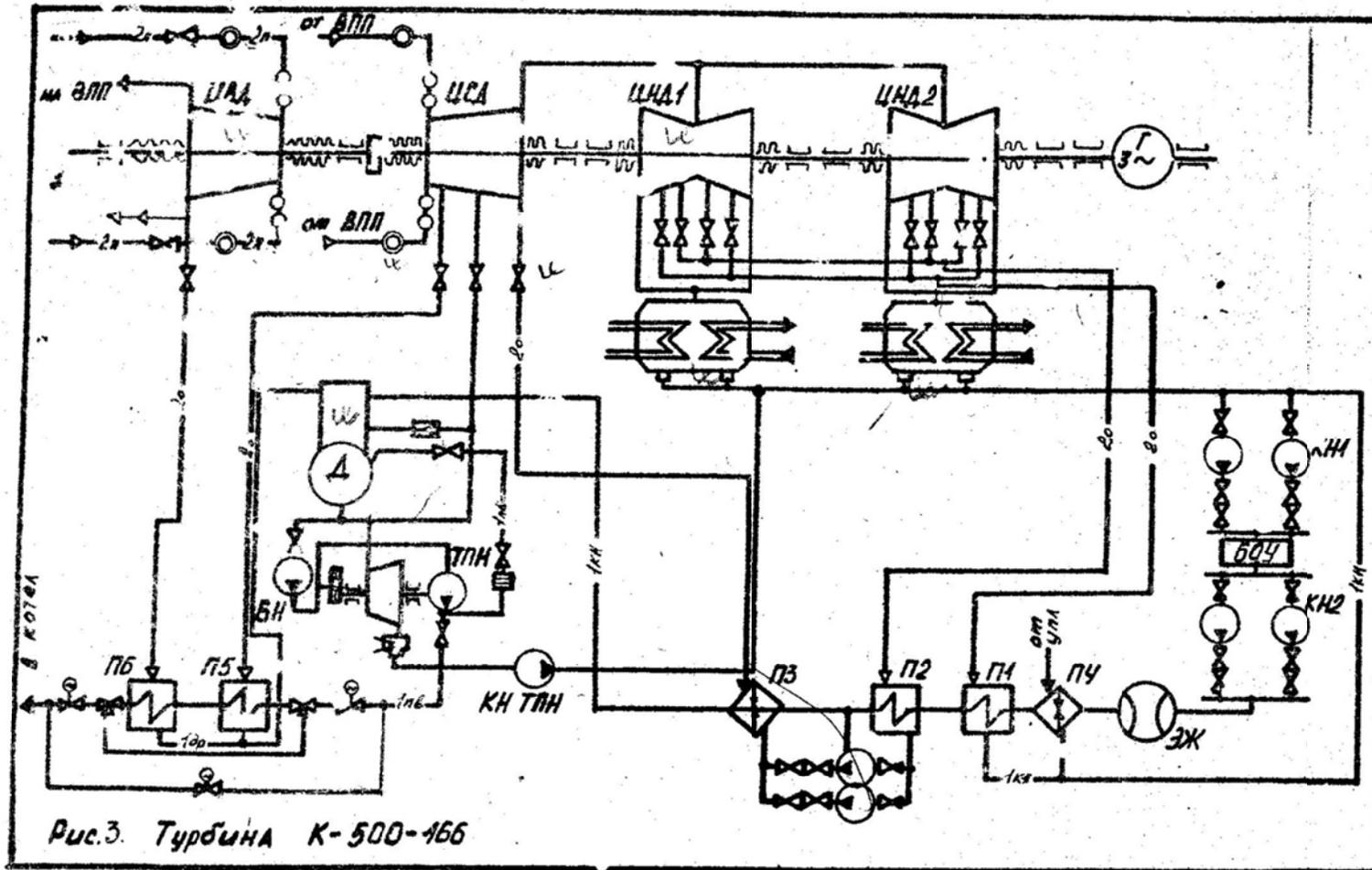


Рис. 3.3. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа К-500-166

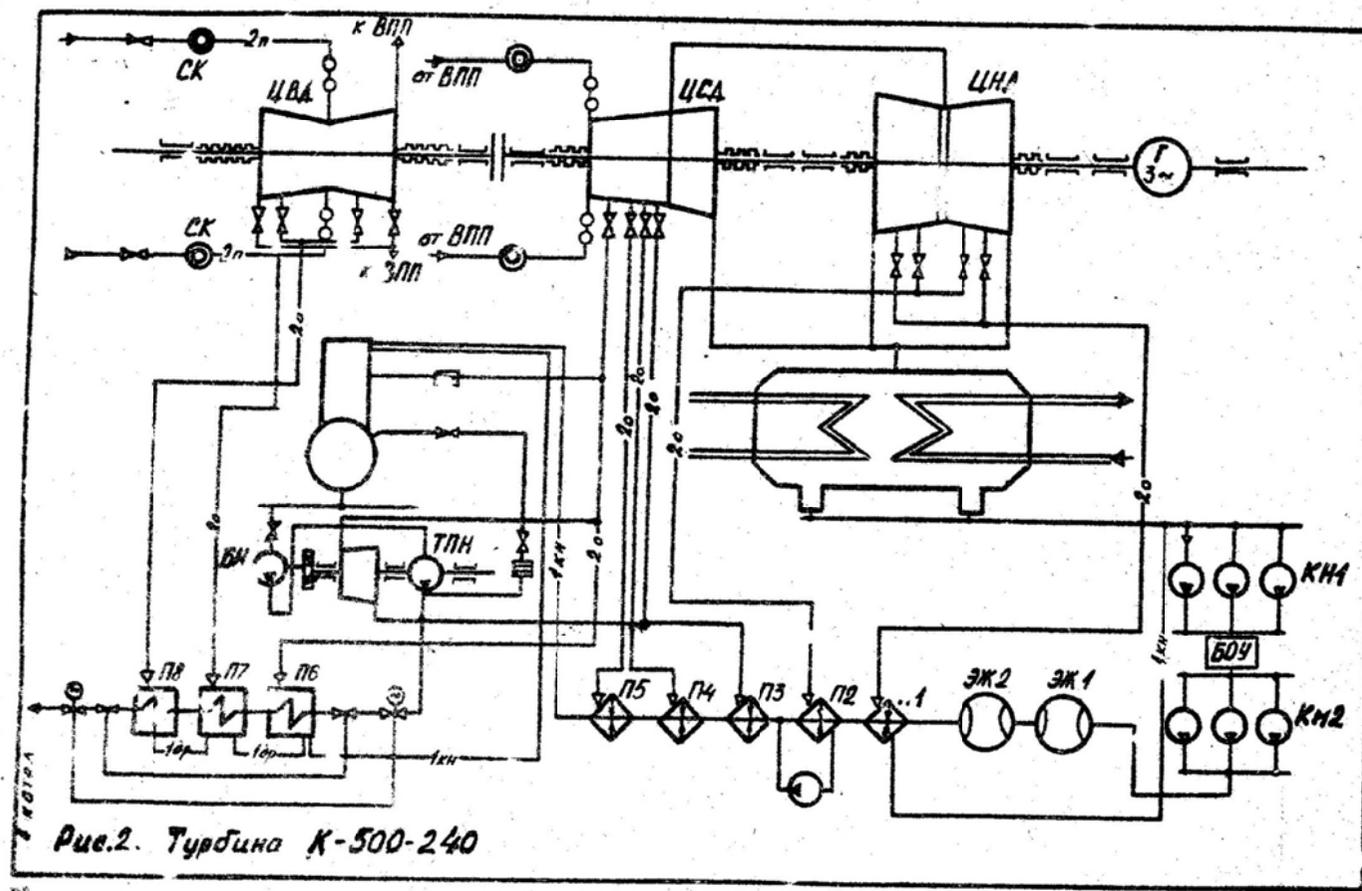


Рис. 3.4. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа К-500-240

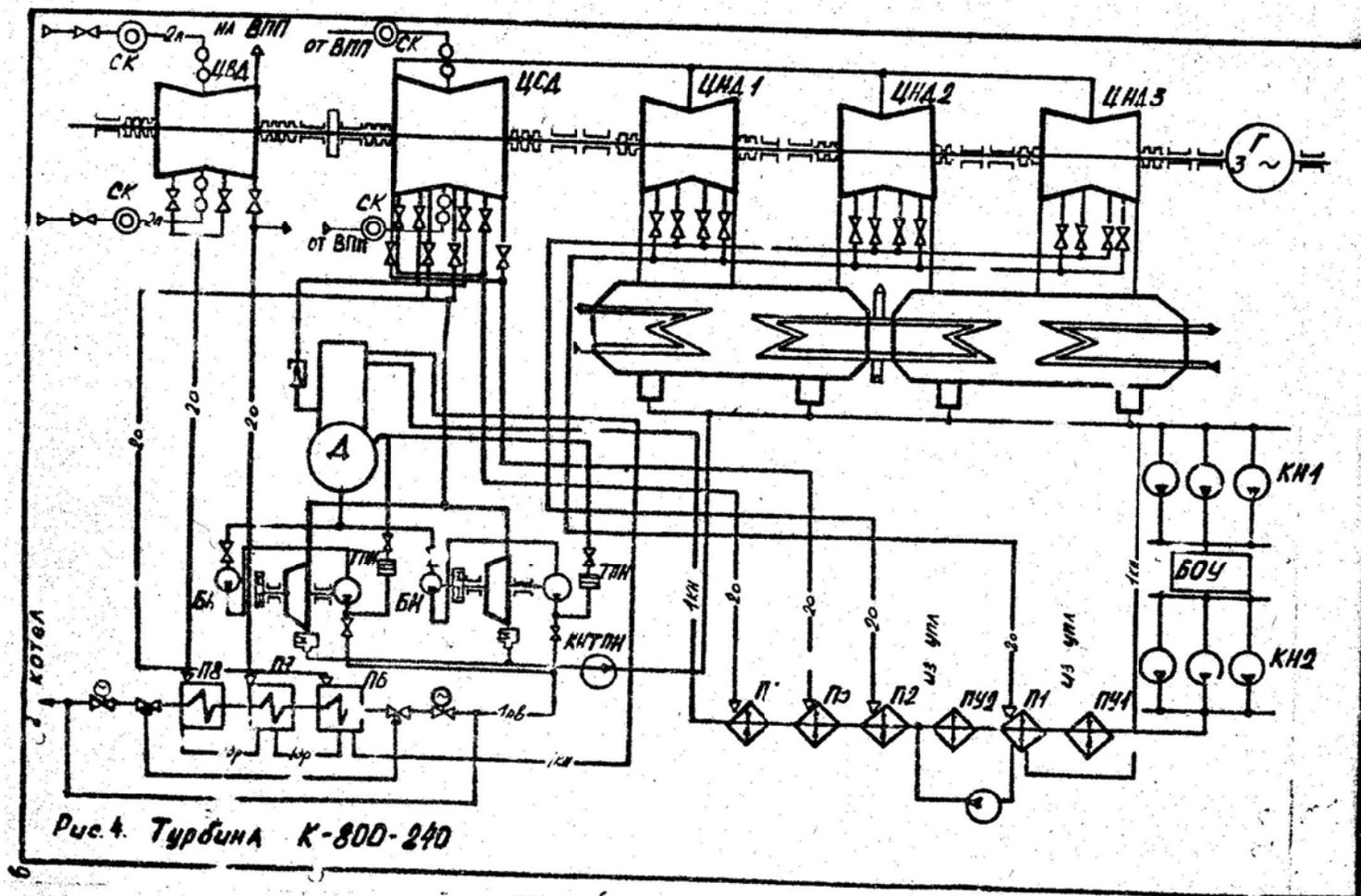


Рис. 3.5. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа К-800-240

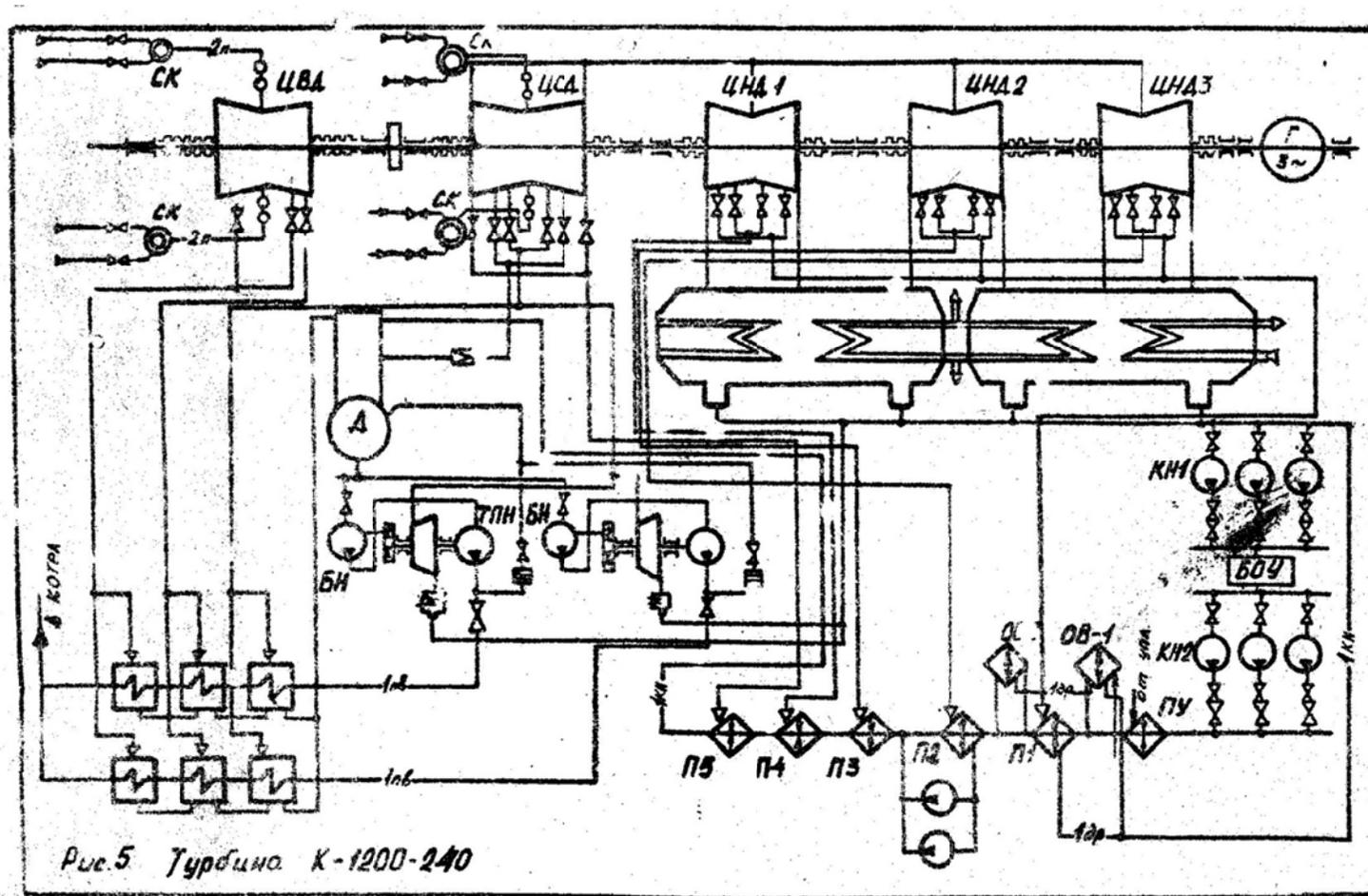


Рис. 3.6. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа К-1200-240

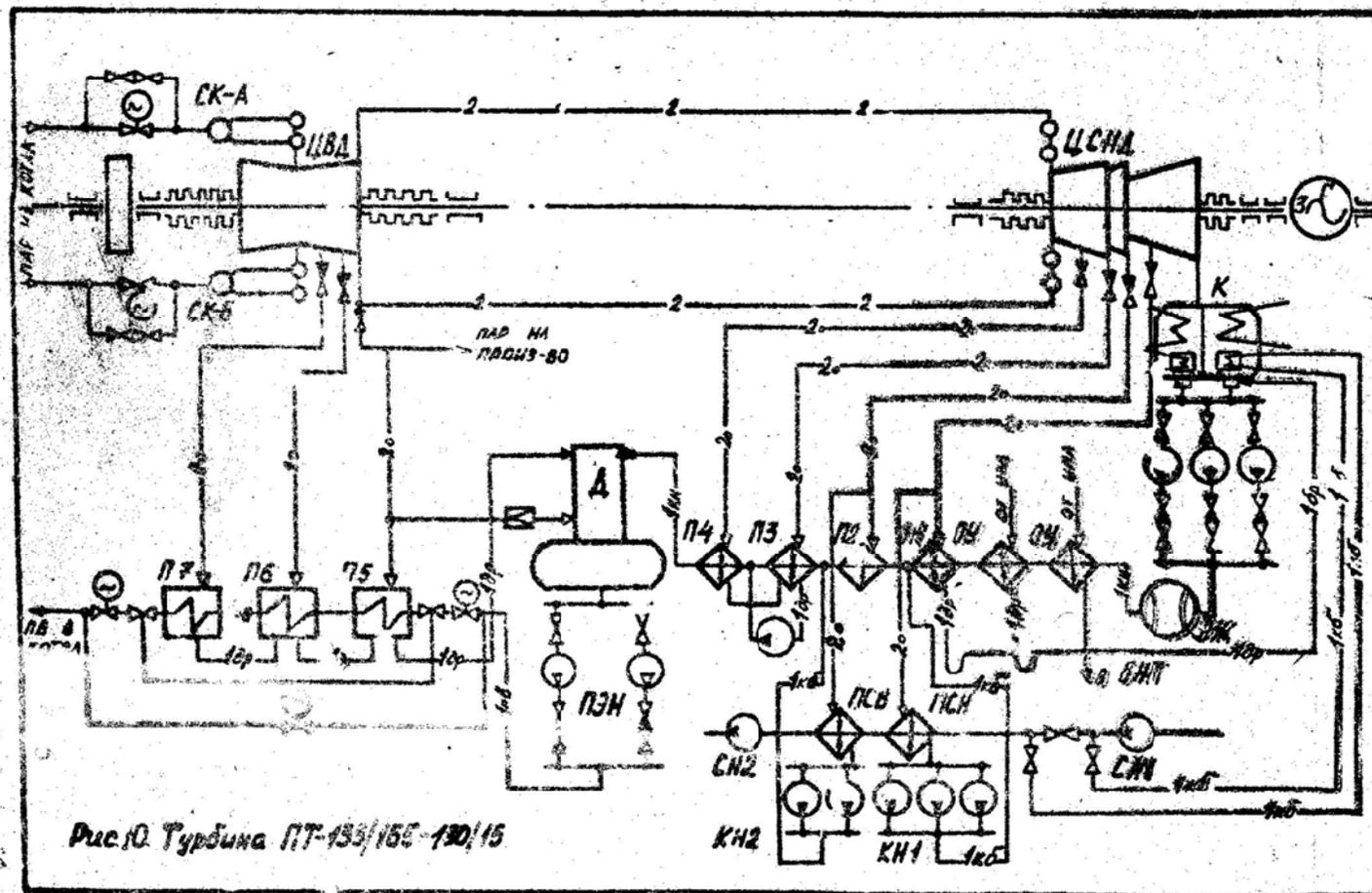


Рис. 3.7. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа ПТ-135-130

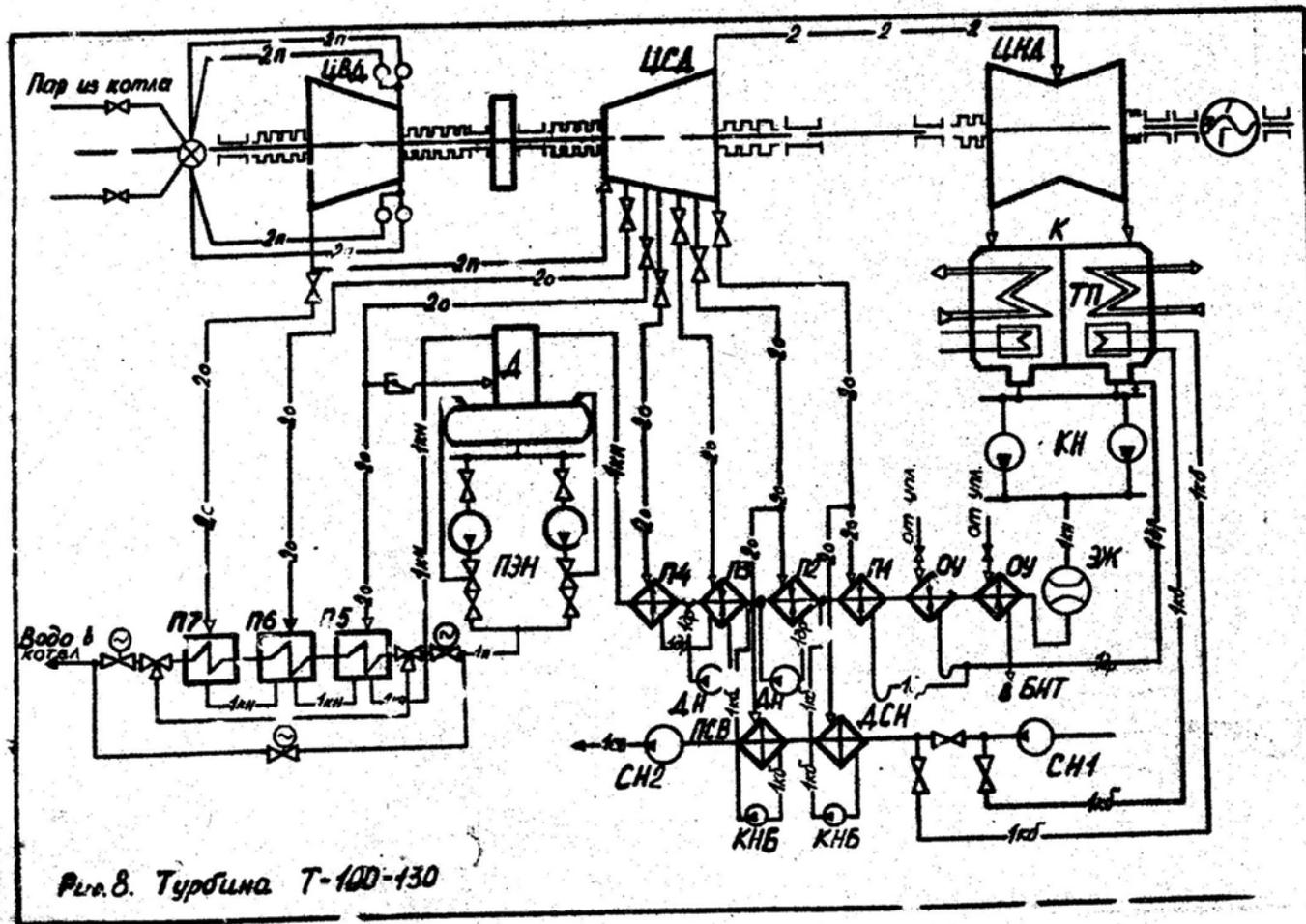


Рис. 3.8. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа Т-100-130

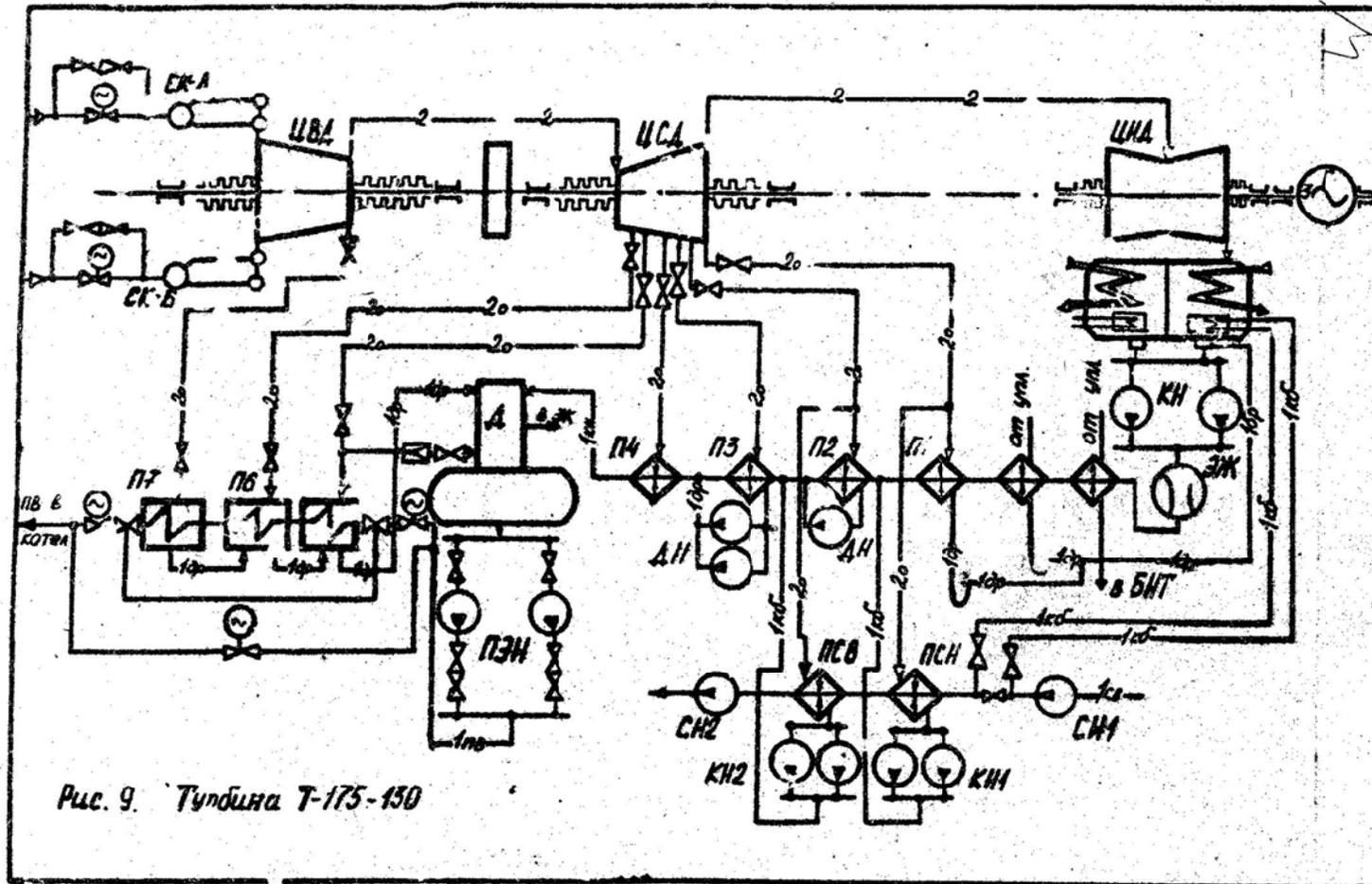


Рис. 9. Турбина Т-175-130

Рис. 3.9. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа Т-175-130

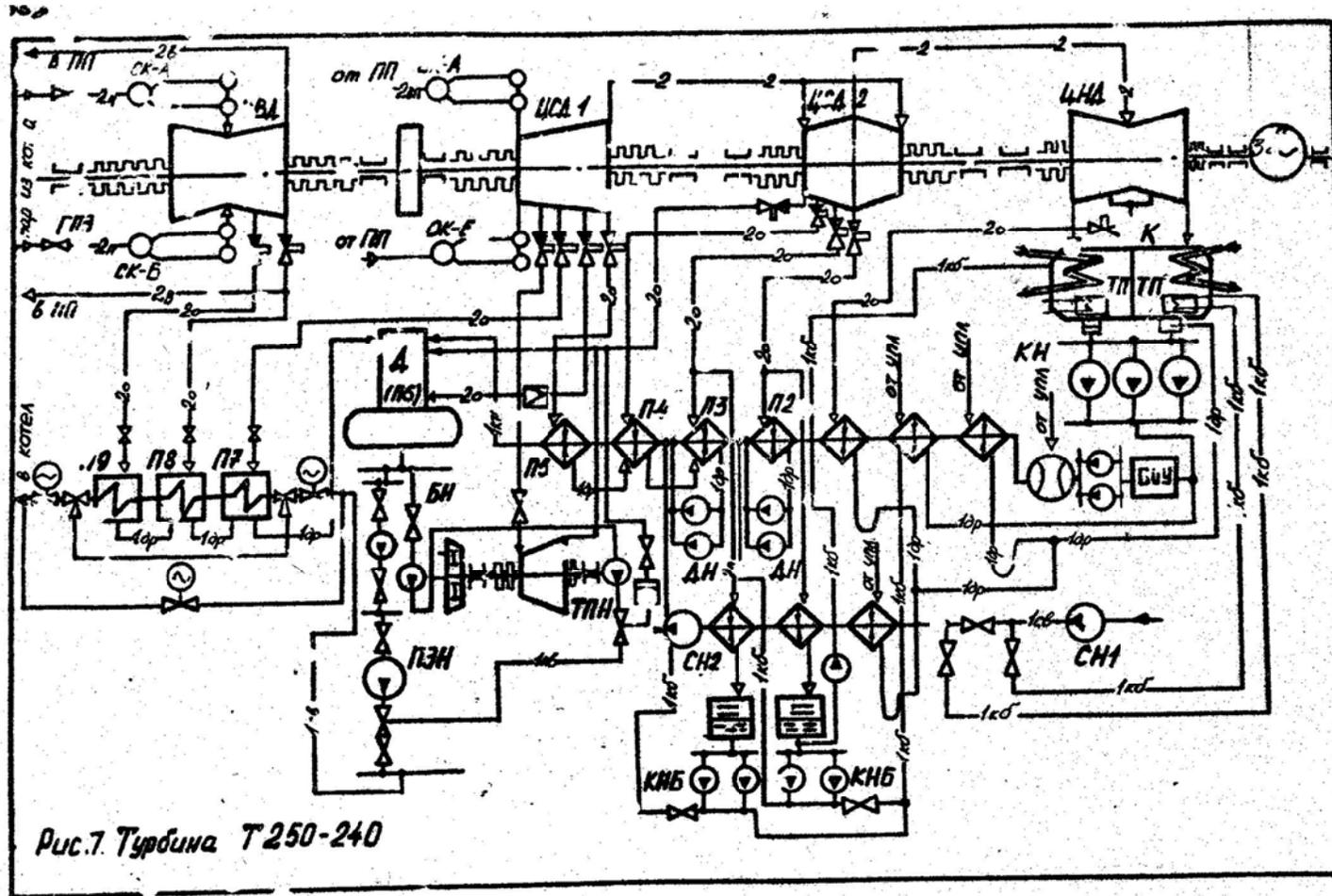


Рис. 3.10. Принципиальная тепловая схема турбоустановки типа Т-250-240

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний; под ред. А. Г. Костюка. — 3-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Изд-во МЭИ, 2008. — 556 с.
2. Тепловые и атомные электростанции : справочник / под ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. — 4-е изд., стер.. — Москва: Изд-во МЭИ, 2007. — 648 с.: ил.. — Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия: в 4 кн.; Кн. 3. — Библиогр.: с. 639.
3. Паровая турбина К-500-240 ХТГЗ / под ред. В. Н. Саввина. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 264 с.
4. Тепловые и атомные электрические станции : учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. — 4-е изд., перераб. и доп.. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. — 463 с.