

## ГЛАВНЫЕ ТУРБОАГРЕГАТЫ

Современные судовые турбины строятся быстроходными, экономичными, с минимальным весом и габаритом. В турбинных установках, как правило, осуществляется регенеративный цикл в результате отбора пара от главных турбин на подогрев питательной воды. Число ступеней подогрева колеблется от двух до пяти. Давление в точке отбора пара от главных турбин определяется энтальпией воды при выходе из подогревателей.

Судовой турбозубчатый агрегат состоит из нескольких турбин, зубчатой передачи и конденсационной установки. Реверс осуществляется при помощи турбины заднего хода (ТЗХ). В соответствии с Правилами Регистра турбина заднего хода должна на расчетном режиме создать крутящий момент, равный 80% момента на режиме переднего хода с номинальной мощностью при 50% частоты вращения гребного вала. В судовых современных установках ступени **ТЗХ** размещают при трехкорпусном агрегате в **корпусах** турбины среднего давления (**ТСД**) и турбины низкого давления (**ТНД**), при двухкорпусном агрегате — в корпусе **ТНД** переднего хода.

Зубчатую передачу устанавливают между турбинами и валопроводом. Конденсатор располагают под ТНД или рядом при осевом выпуске.

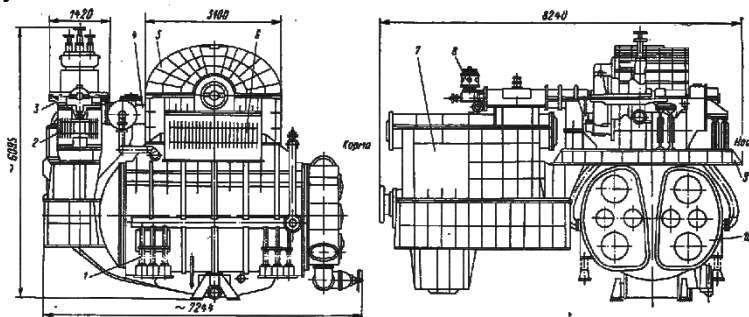


Рис. 60. Общий вид ГТЗА сухогрузного судна.

На рис. 60 показан общий вид турбозубчатого агрегата для сухогрузного судна. Номинальная и максимальная мощность ТЗА на фланце редуктора 9550 и 10 500 кВт, а частота вращения гребного вала соответственно 1,67 и 1,72 об/сек, давление и температура пара перед быстрозапорным клапаном 4,05 Мн/м<sup>2</sup> и 450°С, вакуум в конденсаторе 95% (0,005 Мн/м<sup>2</sup>), мощность ТЗХ при частоте вращения гребного вала 73,5%—3840 кВт, эффективный к.п.д. агрегата на выходном

фланце редуктора на номинальном режиме (условный) 75%.

Главный турбозубчатый агрегат состоит из ТВД 3, ТНД 5 и ТЗХ, расположенной в корпусе ТНД, главного конденсатора 10 двухступенчатого редуктора 7 с главным упорным подшипником и валоповоротным устройством 8 и ресивера 4. При номинальной мощности ТЗА частота вращения ТВД и ТНД составляют соответственно 89 и 59 об/сек, а развиваемая мощность ТВД равна 5050 квт и ТНД — 4540 квт.

Турбина высокого давления смонтирована на фундаментной раме 9, один конец которой опирается на редуктор, а другой — на судовой фундамент. Турбина низкого давления проточной частью переднего хода обращена к редуктору и опирается корпусом кормового подшипника на редуктор, а корпусом носового — на гибкую опору 6 и судовой фундамент. Со стороны редуктора турбины закреплены неподвижно, а носовые ступица установлены на гибкие опоры 2 и 6, воспринимающие тепловые удлинения корпусов.

Главный конденсатор расположен под ТНД, приварен приемным патрубком к ее выпускной части и опирается на четыре пружинные опоры 1.

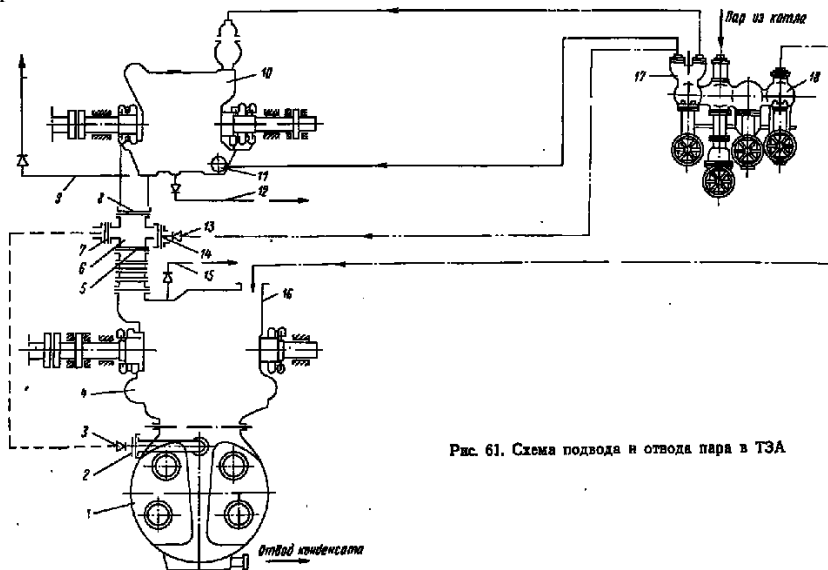


Рис. 61. Схема подвода и отвода пара в ТЗА.

На рис. 61 показана схема подвода и отвода пара ТЗА. Подвод пара от маневрового клапана переднего хода 17 осуществляется двумя трубами диаметром 125 мм к нижней и верхней сопловым коробкам

ТВД 10. Из ТВД пар поступает в ТНД 4, а затем в конденсатор 1. При работе агрегата на задний ход пар от маневого клапана ЗХ 18 подводится по трубе диаметром 150 мм к ТЗХ 16 и далее поступает в конденсатор.

Турбозубчатый агрегат может работать при выходе из строя одной из турбин. На случай выхода из строя ТВД на патрубке 6 устанавливают фланец для подвода свежего пара в ТНД через дроссельную шайбу 13, с помощью которой пар дросселируется до начального давления перед турбиной. На случай выхода из строя ТНД на патрубке устанавливают фланец, соединяющий ресивер с горловиной конденсатора, при этом пар дросселируется шайбой 3 до давления в конденсаторе. Турбозубчатый агрегат имеет заглушки 2, 5, 7, 8, 11 и 14. При нормальном режиме действуют заглушки 2, 7 и 14, при работе только ТВД — заглушки 5 и 14, при работе только ТНД — заглушки 2, 7, 8 и 11.

В турбозубчатом агрегате производится три отбора пара от турбин: первый 12 — на подогреватель высокого давления; второй 9 — на деаэрактор и третий 15 — на подогреватель низкого давления.

### **Турбоагрегат ТС-2.**

В качестве типовой конструкции турбоагрегата, рассчитанного на средние параметры пара, рассмотрим конструкцию ГТЗА ТС-2, установленного на судах типов «Прага» и «София».

Танкер типа «Прага» грузоподъемностью 25 000 т и типа «София» грузоподъемностью 40 000 т предназначены для перевозки нефтепродуктов и сыпучих грузов. Головной танкер типа «Прага» был сдан в эксплуатацию в 1959 г., а типа «София» — в 1963 г. Это однопалубные одновинтовые танкеры с машинным отделением, расположенным в корме.

Паротурбинная установка танкеров состоит из ГТЗА ТС-2 (постройки ЛОКЗ<sup>1</sup>), двух паровых водотрубных котлов КВГ-34к, обслуживающих механизмов.

Главный турбозубчатый агрегат состоит из ТВД, ТНД, двухступенчатого редуктора, конденсатора, органов управления и защиты. Турбины установлены параллельно одна другой и работают на

общий редуктор, конденсатор расположен под ТНД на пружинных опорах.

### **Технические характеристики ГТЗА ТС-2**

Мощность турбины переднего хода, кВт:

номинальная (при частоте вращения гребного винта 110 об/мин) 13 970

максимальная (при частоте вращения гребного винта 113 об/мин) 15 800

Мощность турбины заднего хода, кВт:

длительная (при частоте вращения гребного винта 55 об/мин) 1 770

кратковременная (не более 15 мин при частоте вращения винта 81 об/мин) 6 470

Начальные параметры пара перед БЗК на режиме переднего хода:

давление, МПа 4

температура, °С 465

Начальные параметры пара на режиме заднего хода:

давление, МПа 3,5

температура, °С 400

остаточное давление в конденсаторе, кПа 4,9

Удельная подача топлива на установку, г/(кВт·ч) 330

### **Система автоматики**

Для обеспечения автоматического управления всей установкой при изменении режима работы ГТЗА автоматизированы системы: **горения** топлива в котлах, регулирования **температур топлива и перегретого пара, питания котлов**, конденсатная, регулирования давления во вспомогательных паровых магистралях, деаэраторе и ИГК.

### **Система защиты**

Главный турбозубчатый агрегат оборудован системой сигнализации и защиты, закрывающей БЗК в случаях: **падения давления масла, срыва выпуска в главном конденсаторе; увеличения частоты вращения** главных турбин сверх допустимой; повышения осевого **сдвига роторов**. Предусмотрено автоматическое регулирование давления пара в системе отсоса пара из лабиринтных уплотнений.

### **Контроль параметров**

Электронный прибор с сигнальным устройством и термометрами сопротивления показывает температуру любого подшипника ГТЗА. Автоматический электронный мост с сигнальным устройством показывает температуру перегретого пара перед БЗК. Для определения мощности, развиваемой ГТЗА, на тарированном участке линии вала установлен индукционный торсиометр.

Центральный пульт управления расположен в машинном отделении между котельной и турбинной установками, он состоит из четырех секций. Для управления ГТЗА служат маховики управления сервомоторами и ручное регулирование.

### Турбина высокого давления

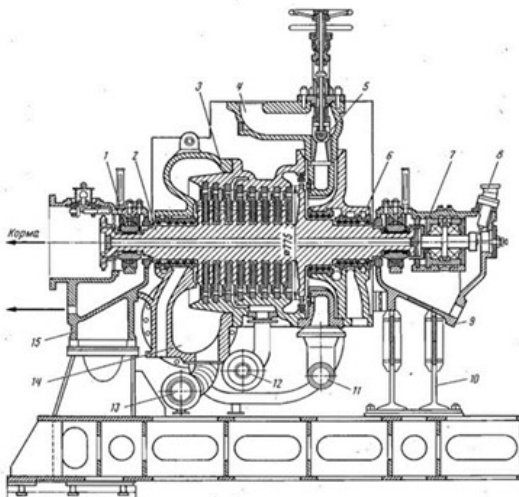


Рис. 16.4. Турбина высокого давления ГТЗА ТС-2

Турбина высокого давления (рис. 16.4) состоит из одновенечной регулировочной ступени и восьми активных ступеней давления со степенями реактивности от 12 до 23%. Свежий пар подводится к соплам регулировочной ступени через две сопловые коробки, верхнюю и нижнюю; в верхней коробке 4 сопла разбиты на три группы. К каждой группе пар поступает через свой сопловой клапан 5. К нижней сопловой коробке пар подводится непосредственно от маневрового клапана через трубу 11. Корпус 3 ТВД литой, из отожженной хромомолибденовой стали, имеет горизонтальный и вертикальный (технологический) разъемы. В верхней части корпуса сверху и снизу сварены литые сопловые коробки. Кроме выпускного патрубка 14, имеется патрубок с трубой 13 для отвода пара непосредственно в конденсатор в случае выхода из строя ТНД, а также патрубок с трубой 12 для отбора пара на регенерацию. В кормовой части корпуса установлено реле осевого сдвига 8. Диафрагмы наборные сварные, с горизонтальным разъемом и сегментными гребенчатыми лабиринтными уплотнениями. Опорные стулья литые. Кормовой стул 15

приварен к корпусу турбины и установлен на фундаментной балке неподвижно. Соединение носового стула 9 с корпусом ТВД подвижное. Система из двух горизонтальных и одной вертикальной шпонок обеспечивает свободу тепловых расширений корпуса турбины по отношению к стулу в поперечном и вертикальном направлениях. К

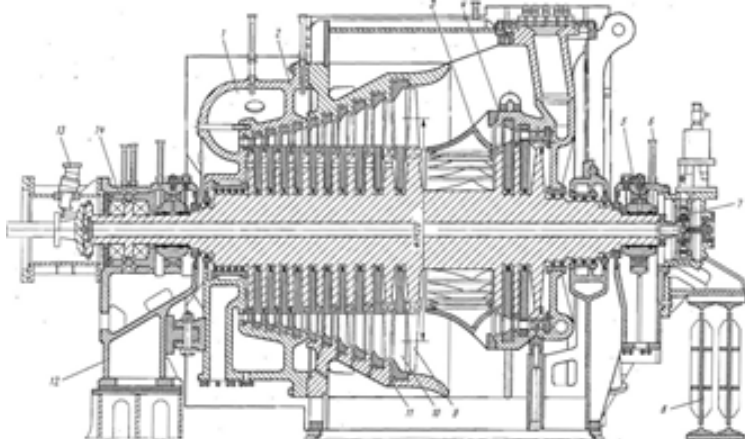


Рис. 16.5. Турбина низкого давления ТГЗА ТС-2:

1 — подвод пара из ТВД; 2 — корпус ТНД; 3 — паростойное кольцо; А — ТЗХ; 5 — опорный подшипник; 6 — термометр; 7 — импеллер; 8 — гибкие опоры; 9 — рабочие лопатки; 10 — диафрагмы; 11 — дренажный

стулу приварены гибкие опоры 10, обеспечивающие продольное расширение корпуса турбины. Благодаря отъемному носовому стулу уменьшается также нагрев опорного подшипника со стороны выпуска пара. Опорные подшипники 1 регулируемые самоустанавливающиеся. Упорный подшипник 7 имеет уравнильное устройство. На крышках подшипников установлены термометры, микрометры для определения радиального положения ротора и маслоуказательные приборы.

Концевые уплотнения 6 гребенчатые, лабиринтные. Благодаря пластинчатым пружинам уплотнительные сегменты при задевании могут отжиматься в радиальном направлении. Уплотнения снабжены патрубками, к которым присоединены трубы системы укупорки.

Ротор 2 ТВД жесткий цельнокованый, изготовлен из хроммолибеновой стали, имеет центральное отверстие для контроля поковки. На обоих концах ротора выточены гребни для уплотнений. К его носовому концу присоединен гребень упорного подшипника, а также в него вмонтирован центробежный выключатель бойкового типа.

### **Турбина низкого давления**

Турбина низкого давления (рис. 16.5) также активного типа, имеет 11 одновенечных ступеней давления со степенью реактивности от 11 до 68%. На носовом конце турбины расположена ТЗХ, состоящая из одного двухвенечного колёса.

Пар в проточную часть ТНД поступает из кольцевой паровыпускной полости, которая сообщается ресивером с выпускным патрубком ТВД. После пятой ступени переднего хода производится отбор пара. Пройдя все ступени переднего хода, пар поступает в выпускной патрубок и далее в конденсатор, расположенный под ТНД. Для придания потоку пара определенного направления и для уменьшения вентиляционных потерь ступеней заднего хода между ступенями переднего и заднего хода установлен паротбойный щит.

Корпус ТНД сварнолитой конструкции, с горизонтальным и вертикальным разъемами. К корпусу приварен выпускной патрубок. Носовой стул к корпусу приварен, а к фундаменту крепится посредством гибкой опоры. Кормовой стул соединен с корпусом ТНД подвижно, как носовой стул ТВД. К фундаменту кормовой стул крепится жестко. Концевые уплотнения, опорные и упорные подшипники по конструкции такие же, как у ТВД.

### **Турбоагрегат ТС-1.**

Этот агрегат установлен на сухогрузных судах типа «Ленинский комсомол». Головной паротурбоход судов серии «Ленинский комсомол» вступил в строй в 1959 г., он является первым отечественным паротурбинным транспортным судном. Полная грузоподъемность судна 13 400 т, дальность плавания при номинальной мощности и скорости 18,5 уз равна 12 тыс. миль.

Для обеспечения главных турбин и вспомогательных механизмов паром на судне установлены два вертикальных водотрубных котла КВГ-25 паропроизводительностью 25 т/ч.

### **Технические характеристики ГТЗА ТС-1**

Мощность турбины переднего хода, кВт:

минимальная (при частоте вращения гребного винта 100 об/мин)

.....  
9 560

максимальная (при частоте вращения гребного винта 105 об/мин)

.....  
10 520

Мощность турбины заднего хода (при частоте вращения гребного винта 73 об/мин,

кВт ..... 3 820

Начальные параметры пара

перед БЗК:

давление, МПа..... 4

температура, °С ..... 450

остаточное давление в конденсаторе, кПа... 4,9

Рабочее давление в котле, МПа..... 4,4

Удельная подача топлива на установку, г/(кВт·ч).... 330—350

По конструкции турбоагрегат ТС-1 почти не отличается от турбоагрегата ТС-2.

### **Турбоагрегат ТС-3.**

В качестве примера конструкции главного турбоагрегата с промежуточным отбором пара рассмотрим конструкцию ГТЗА ТС-3, установленного на крупнотоннажных танкерах типа «Крым». Танкеры типа «Крым» грузоподъемностью 150 000 т (головное судно сдано в эксплуатацию в 1976 г.) значительно превосходят по экономической эффективности танкеры типа «София». Суда оборудованы паротурбинной установкой ТС-3.

Водометное подруливающее устройство в носу и корме, а также винт регулируемого шага диаметром 7,5 м с гидравлическим приводом обеспечивают хорошие маневренные качества танкера. Управление грузовыми и балластными операциями, а также мойка танков в среде инертных газов — автоматизированные дистанционные из поста управления.

### **Технические характеристики ГТЗА ТС-3**

Мощность, кВт: полная с учётом навешенных механизмов 23 400

на выходном фланце редуктора 22 000

Давление пара:

перед турбиной, МПа ..... 7,6

после промежуточного

перегрева, МПа ..... 1,5

в конденсаторе, кПа..... 5,1

Температура пара, °С:

перед турбиной..... 510

после промежуточного перегрева ... 510

Частота вращения, об/мин:



гребного винта.....	85
ротора ТВД.....	5370
ротора ТНД.....	2850
Расход пара, т/ч.....	78,5
Масса установки, т.....	300
Удельная подача топлива на установку, г/(кВт-ч).....	249

### **Общее описание установки**

Высокая экономичность энергетической установки достигнута в основном благодаря высоким начальным параметрам пара, усовершенствованной тепловой схеме, применению промежуточного перегрева пара, до начальной температуры, развитой пятиступенчатой системе подогрева питательной воды, приводу электрогенератора и главного питательного насоса от ГТЗА.

Высокая степень автоматизации энергетической установки позволяет вести ее безвахтенное обслуживание при эксплуатации. Моторесурс установки не менее 150 000 ч.

Котельная установка состоит из одного главного котла паропроизводительностью 80 т/ч и вспомогательного котла паропроизводительностью 35 т/ч. Вспомогательный котел обеспечивает аварийный ход судна со скоростью 8 уз.

Электростанция судна состоит из генератора мощностью 1350 кВт (привод от ГТЗА), резервного турбопривода, автономного турбогенератора мощностью 400 кВт, аварийного дизель-генератора мощностью 200 кВт.

Нереверсивный ГТЗА, приводящий во вращение ВРШ, состоит из двухкорпусной турбины, одноходового конденсатора, трехступенчатого редуктора планетарно-переборного типа, систем управления, регулирования и защиты, зубчатой муфты и главного упорного подшипника (ГУЛ), расположенного в отдельном корпусе с кормовой стороны. От вала-шестерни редуктора третьей ступени по линии ТНД приводится во вращение блок вспомогательных механизмов. Турбины высокого и низкого давлений установлены параллельно, конденсатор расположен перпендикулярно их осям. Управление энергетической установкой осуществляют из ЦПУ с помощью системы централизованного контроля. Для управления комплексом ГТЗА— ВРШ предусмотрена система автоматизированного управления из рулевой рубки.

В общем корпусе ТВД имеются проточные части высокого и среднего давлений. Свежий пар давлением 7,6 МПа с температурой 510 °С подводится к средней части корпуса ТВД, проходит проточную часть турбины высокого давления и, расширившись, при давлении 1,6 МПа направляется в промежуточный пароперегреватель котла, где его температура вновь доводится до начального значения 510 °С. После промежуточного перегревателя пар давлением 1,45 МПа с температурой 510 °С поступает опять в корпус ТВД, но уже в проточную часть среднего давления. После расширения в ступенях среднего давления пар направляется в ТНД, а затем в конденсатор. Потoki пара в ступенях высокого и среднего давлений для разгрузки осевого усилия направлены в противоположные стороны, между проточными частями высокого и среднего давлений расположена промежуточная перегородка с внутренним лабиринтным уплотнением.

Регулирование мощности ГТЗА осуществляется качественным способом, сопловых клапанов нет. Такое решение принято по той причине, что танкер работает основное время на режимах полного хода.

В случае аварии какой-либо турбины возможна работа энергетической установки на одной турбине (ТВД или ТНД).

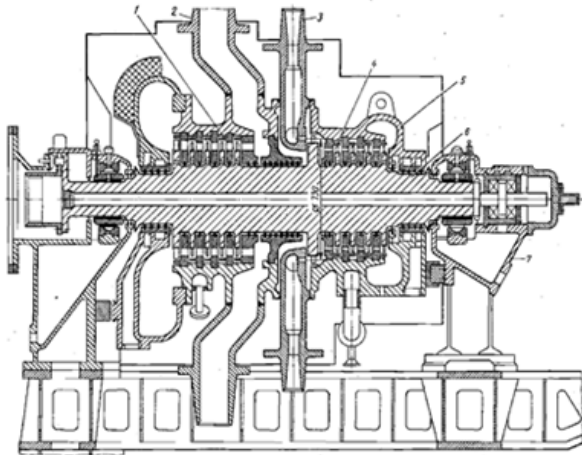


Рис. 16.6. Турбина высокого давления

### **Турбина высокого давления**

Турбина высокого давления (рис. 16.6) активная, с реактивностью на лопатках, ступени одновенечные. Проточная часть 1 высокого

давления имеет пять ступеней. Проточная часть 4 среднего давления также состоит из пяти ступеней. Корпус 5 стальной сварно-литой. Ротор 6 цельнокованый дисковый жесткий, имеет центральное отверстие. Диски имеют одинаковую толщину, лопатки с постоянным профилем по длине. Хвосты лопаток Т-образные. Диафрагмы сварной конструкции с уплотнениями елочного типа.

Корпус опирается на стулья 7 при помощи горизонтальных поперечных шпонок, расположенных на выступах корпусов подшипников, и вертикальных шпонок, установленных между

216

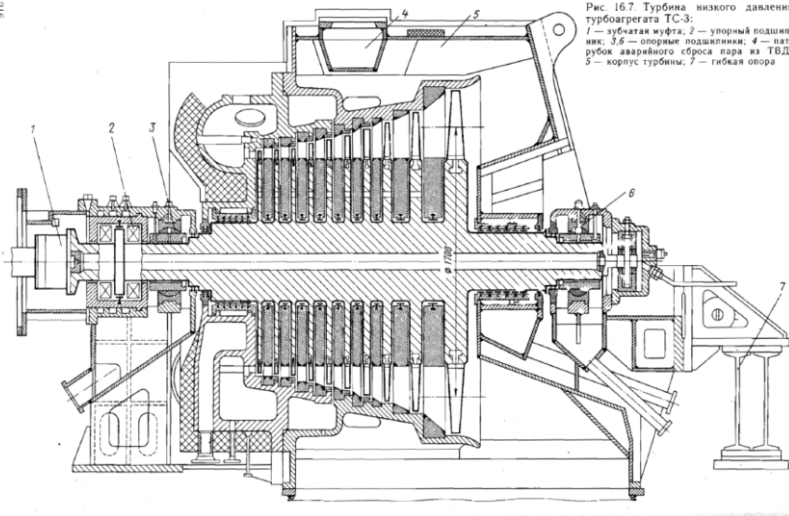


Рис. 16.7 Турбина низкого давления турбоагрегата ТС-3:  
1 — зубчатая муфта; 2 — упорный подшипник; 3, 4 — опорные подшипники; 4 — патрубок аварийного сброса пара из ТВД; 5 — корпус турбины; 7 — гибкая опора

корпусом турбины и корпусами подшипников. Кормовая опора жесткая, а носовая — гибкая. Опорные подшипники самоустанавливающиеся регулируемые. Упорный подшипник двусторонний с самоустанавливающимися сегментами. Для лучшего прогревания корпуса подвод свежего пара и пара после промежуточного паронагревателя осуществляется по патрубкам 3 и 2, расположенным в верхней и нижней частях турбины.

### Турбина низкого давления

Турбина низкого давления (рис. 16.7) однопроточная, имеет 10 активных одновенечных ступеней давления с реактивностью на лопатках. Подвод пара в турбину осуществляется с кормовой части нижней половины, со стороны упорного подшипника (патрубок впуска на рис. 16.7 не показан). Выпуск пара подвальный. Корпус

стальной сварно-литой. Ротор цельнокованный дисковый жесткий с центральным отверстием. Лопатки первых шести ступеней имеют постоянный профиль по всей длине, а ступеней с седьмой по десятую — переменный профиль по всей длине для обеспечения безударного входа пара. Корпус крепится с помощью ступьев. Носовая опора гибкая, кормовая — жесткая. Кормовой подшипник опирается на корпус редуктора.

Опоры, подшипники, пробные масленки, приборы, устройства для замера положения роторов и их перемещения практически не отличаются от подобных устройств, узлов, деталей турбоагрегатов ТС-1 и ТС-2.

В просторном машинном отделении можно выполнять агрегатный ремонт механизмов. Для демонтажа оборудования имеются подъемные средства. Рейсовый ремонт проводят мастерские, имеющиеся на судне: механическая, электротехническая, средств автоматики и электрогазо-сварочная.

### **Турбины главных турбогенераторов атомных ледоколов**

Турбины главных турбогенераторов атомных ледоколов. В состав энергетической установки атомных ледоколов «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Октябрьская революция» входят два главных турбогенератора (ГТГ) суммарной мощностью 55 150 кВт. Каждый ГТГ состоит из турбины и трех последовательно соединенных с ней электрогенераторов переменного тока. Изготовитель турбин — ЛОКЗ.

#### **Техническая характеристика турбины ГТГ**

Мощность номинальная, кВт.....	27 575
Параметры пара перед БЗК:	
давление, МПа.....	2,94
температура, °С.....	300
Давление в конденсаторе, МПа .....	0,0069
Частота вращения ротора, об/мин .....	58,3
Эффективный КПД.....	0,72—0,73

#### **Турбина (рис. 16.8) однокорпусная, активно-реактивная.**

Для уменьшения высоты лопаток выполнена двухпроточной, при этом ротор разгружен от осевых усилий. Первая ступень активная радиальная двусторонняя. Подвод пара к турбине центральный. Направляемый в турбину поток пара перед поступлением к соплам раздваивается: половина общего количества пара проходит по носовой,

половина по кормовым группам сопл. После сопл пар поступает на венцы радиальной ступени. Рабочие лопатки радиальной ступени расположены по обе стороны центрального диска. После прохождения радиальной ступени пар направляется в носовую и кормовую проточные части, состоящие каждая из 15 реактивных ступеней давления.

Регулирование мощности **качественное**. Помимо БЗК, имеются дроссельный клапан регулирования и клапан травления, предназначенный для перепуска избыточного пара в главный конденсатор.

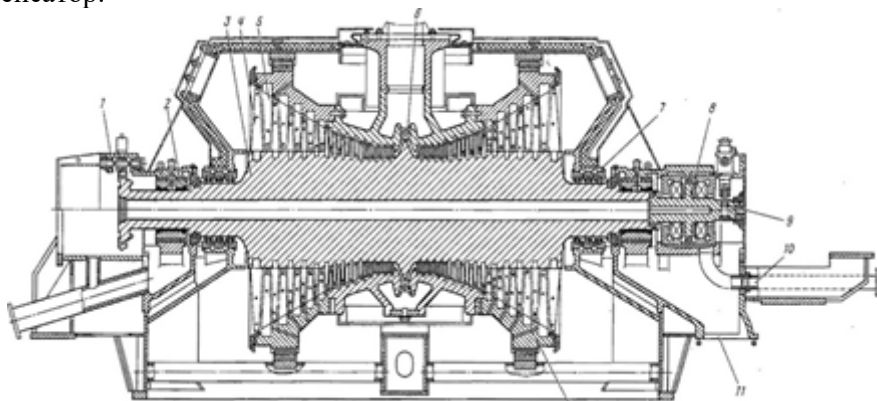


Рис. 16.8. Однокорпусная турбина атомных ледоколов:

1 — устройство для осевого перемещения ротора; 2 — опорный подшипник; 3 — ротор; 4 — рабочая лопатка; 5 — направляющая лопатка; 6 — радиальная ступень; 7 — уплотнения; 8 — упорный подшипник; 9 — предельный регулятор; 10 — патрубок подвода масла; 11 — патрубок слива масла; 12 — дренажный канал

Корпус турбины, кроме горизонтального, имеет вертикальные технологические разъемы. Турбина работает на электрогенератор, нагрузка на который зависит от режима работы гребных электродвигателей; на режимах малых нагрузок и «стоп» работы винтов турбина может сильно охладиться. Для исключения чрезмерного охлаждения турбины вокруг основного корпуса предусмотрен обогреваемый паром дополнительный корпус. Наружный корпус выполнен сварным заодно со ступлями. Носовой стул крепится к фундаменту жестко, кормовой — установлен на гибких опорах.

Для возможности осмотра последних ступеней турбины без вскрытия корпуса имеются специальные горловины.

Ротор цельнокованый с центральным сверлением лежит в двух жестких опорных подшипниках. Упорный подшипник одногребенчатый с уравнильным устройством, смонтирован на отдельном валу, который соединен фланцем с ротором. В носовой части турбины расположены валоповоротный механизм и регулятор предельной частоты вращения.

Устройство ряда узлов и элементов характерно для конструкций турбин агрегатов ТС-2 и ТС-3 постройки ЛОКЗ.

#### Контрольные вопросы

1. Рассматривая показанные на рис. 16.1 — 16.8 турбины, ответьте на следующие вопросы: какого типа ротор у турбины, как закреплен на валу диск ротора, какие применены уплотнения, какого типа опорные подшипники, где находится упорный подшипник, с какой стороны упорного гребня расположены упорные сегменты, откуда подводится пар, какой подвод пара — полным или парциальный, где находятся направляющие лопатки, где расположены паротражательные и маслоотбойные устройства?

2. По рис. 16.8 расскажите об общем устройстве турбины отечественных атомных ледоколов, покажите путь пара. Уточните, в чем имеются, отличия у рассматриваемой турбины от турбин отечественных турбоходов?

#### Литература

Верете А. Г., Дельвинг А. К. Судовые паровые и газовые энергетические установки: Учебник для мореходных училищ.—2-е изд., перераб. и доп.— М.: Транспорт, 1990.- 240 с. Страницы 203-219