

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Г. Ф. Романовський, С. І. Сербін, В. М. Патлайчук

СУЧАСНІ ГАЗОТУРБІННІ АГРЕГАТИ

У двох томах

Том 1

Агрегати виробництва України та Росії

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів*



Миколаїв
НУК
2005

УДК 621.125
ББК 39.455.13: 31.363
Р69

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних
закладів, лист № 14/18.2-786 від 15.04.2004 р.*

Рецензенти: С.С. Рижков, доктор технічних наук, професор;
А.П. Шевцов, доктор технічних наук, професор

Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М.

Р69 Сучасні газотурбінні агрегати: У 2 т. Т. 1: Агрегати виробництва України та Росії: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2005. – 344 с., 12 с. іл.

ISBN 966–321–033–8

Наведено відомості про основні конструктивні типи і характеристики газотурбінних агрегатів енергетичного, промислового та суднового призначення, розроблюваних і виготовлюваних у даний час підприємствами України та Росії. Проаналізовано сучасний стан газотурбобудування в цих країнах. Охарактеризовано конкретні галузі застосування газотурбінних агрегатів. Розглянуто загальну будову різноманітних типів як самих агрегатів, так і енергетичних установок, створюваних на їхній основі.

Для студентів технічних вузів, які навчаються за спеціальностями "Турбіни", "Суднові енергетичні установки та устаткування", "Теплоенергетика" і спорідненими енергетичними спеціальностями. Книга може бути корисною для інженерно-технічних працівників, що займаються проектуванням, створенням та експлуатацією газотурбінних агрегатів.

ISBN 966–321–033–8

УДК 621.125
ББК 39.455.13: 31.363

© Романовський Г.Ф., Сербін С.І.,
Патлайчук В.М., 2005
© Видавництво НУК, 2005

Навчальне видання

РОМАНОВСЬКИЙ Георгій Федорович
СЕРБІН Сергій Іванович
ПАТЛАЙЧУК Володимир Миколайович

СУЧАСНІ ГАЗОТУРБІННІ АГРЕГАТИ

У двох томах

Том 1

Агрегати виробництва України та Росії

Навчальний посібник

(українською мовою)

Редактор *М.Д. Бєлікчі*
Комп'ютерна правка та верстка *О.М. Черевата*
Коректор *Н.О. Шайкіна*

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Підписано до друку 14.02.05. Папір офсетний. Формат 70×100/16. Друк офсетний. Гарнітура "Таймс".
Ум. друк. арк. 29,0. Обл.-вид. арк. 22,3. Тираж 200 прим. Вид. № 5. Зам. № 55. Ціна договірна.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

ЗМІСТ

Передмова	4
Перелік умовних скорочень	5
<i>Розділ 1. Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів</i>	<i>6</i>
1.1. Розвиток і сучасний стан газотурбобудування України та Росії	6
1.2. Галузі застосування газотурбінних агрегатів	10
1.3. Загальна будова газотурбінних агрегатів	17
<i>Розділ 2. Газотурбінні агрегати та агрегати на їхній основі виробництва підприємств України</i>	<i>33</i>
2.1. НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	34
2.2. ЗМКБ "Прогрес" та ВАТ "Мотор Січ"	102
2.3. ВАТ "Турбоатом"	119
2.4. ВАТ "Констар" та ВАТ ІВП "Енергія"	129
2.5. ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе"	139
2.6. ВАТ "Турбогаз"	149
<i>Розділ 3. Газотурбінні агрегати та агрегати на їхній основі виробництва підприємств Росії</i>	<i>154</i>
3.1. ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКМБ" та ВАТ "Моторостроитель"	156
3.2. ВАТ "КМПО" та ВАТ "КПП "Авиамотор"	176
3.3. ВАТ "НПО "Сатурн"	182
3.4. ВАТ "Авиадвигатель" та ВАТ "Пермский моторный завод"	211
3.5. ВАТ "Невский завод"	232
3.6. ВАТ "ЛМЗ"	247
3.7. ММПП "Салют"	257
3.8. ВАТ "ТМЗ"	271
3.9. ДУП "Завод им. В.Я. Климова"	283
3.10. ВАТ "Энергомашкорпорация"	302
3.11. ВАТ "Пролетарский завод"	308
3.12. ВАТ "УМПО" та ФДУП "НПП "Мотор"	315
3.13. ФДУП "ЦИАМ"	320
3.14. ВАТ "НПО "Искра"	323
3.15. ВАТ "Калужский двигатель" та ВАТ "КОБМ"	329
Додаток А	334
Додаток Б	335

ПЕРЕДМОВА

Перспективним напрямком у розвитку світової промисловості, тепло- та електроенергетики в останні десятиліття є застосування газотурбінних технологій. Україна і Росія входять у число небагатьох країн, що володіють необхідним технологічним рівнем розвитку, науковим, конструкторським і виробничим потенціалом, який дозволяє створювати високоефективні агрегати даного типу різноманітного функціонального призначення. Істотну роль у цьому відіграють напрацювання військово-промислового комплексу зазначених країн, у першу чергу авіаційного і корабельного газотурбобудування.

Матеріал, поданий у першому томі даного навчального посібника, присвячений розгляду конструктивної будови сучасних газотурбінних агрегатів, а також агрегатів, виконаних на їхній основі, які виготовляються підприємствами України і Росії. Детально розглянуті технічні й експлуатаційні характеристики різноманітного газотурбінного устаткування. Наведені відомості про основні етапи розвитку і сучасний виробничий стан підприємств дозволяють оцінити їхні потенційні можливості щодо створення нових видів газотурбінної техніки та конкурентоспроможність на ринку даної продукції. У додатках подана інформація про правила розрахунку основних параметрів агрегатів, а також коротка характеристика підприємств, не розглянутих у попередніх розділах роботи*.

Навчальний посібник орієнтований також на самостійну роботу студентів, для чого наприкінці окремих розділів наведено перелік рекомендованої літератури і контрольні завдання.

Книга написана спільно д-ром техн. наук, проф. Г.Ф. Романовським, д-ром техн. наук, проф. С.І. Сербіним, канд. техн. наук, доц. В.М. Патлайчуком.

Автори висловлюють свою вдячність генеральному директору НВКГ "Зоря"- "Машпроект" Ю.М. Бондіну та директору Центру НДДКР "Машпроект" НВКГ "Зоря"- "Машпроект" Б.В. Ісакову за надання матеріалів, використаних при написанні цієї книги.

Відгуки про книгу, зауваження та пропозиції надсилати за адресою: 54025, м. Миколаїв, просп. Героїв Сталінграда, 9, видавництво НУК.

* Назви іноземних підприємств у лапках та їх виробів подані відповідною мовою.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГЗК	– гвинт змінюваного кроку
ГПА	– газоперекачувальний агрегат
ГРП	– газоредукційний пункт
ГРС	– газорозподільна станція
ГТА	– газотурбінний агрегат
ГТГ	– газотурбогенератор
ГТД	– газотурбінний двигун
ДКС	– дотискна компресорна станція
ДРЕС	– державна районна електростанція
КВП	– коефіцієнт використання хімічної енергії палива
КВТ	– компресор високого тиску
КНТ	– компресор низького тиску
КПК	– корабель на підводних крилах
КПОП	– комплексний повітроочисний пристрій
КПП	– корабель на повітряній подушці
ПГУ	– парогазова установка
ПСГ	– підземне сховище газу
ТВТ	– турбіна високого тиску
ТЕЦ	– теплоелектроцентраль
ТНТ	– турбіна низького тиску
ТРД	– турбореактивний двигун
ТРДД	– двоконтурний турбореактивний двигун
ТУК	– теплоутилізаційний контур

Розділ 1. ОСНОВНІ КОНСТРУКТИВНІ ТИПИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АГРЕГАТІВ

1.1. Розвиток і сучасний стан газотурбобудування України та Росії

Газотурбобудування на території сучасних України та Росії почало розвиватися наприкінці ХІХ століття і до другої світової війни носило переважно теоретичний та експериментальний характер.

Відомі роботи інженера П.Д. Кузьмінського в 1892–1900 рр. зі створення оригінальної корабельної газотурбінної установки, що працювала на парогазовій суміші. У 1907–1909 рр. В.В. Караводін проводив дослідження безкомпресорного газотурбінного двигуна з ізохорним підведенням тепла в камері згоряння. У 1914 р. лейтенант флоту М.М. Нікольський запропонував конструкцію авіаційного двигуна, багато в чому аналогічну сучасним турбогвинтовим двигунам.

Наприкінці 30-х років на Харківському турбогенераторному заводі професор В.М. Маковський створював і досліджував експериментальну газотурбінну установку, в якій паливом був газ підземної газифікації.

Теоретичні дослідження різних питань газотурбобудування в 20–30-х роках здійснювалися В.В. Уваровим, Г.І. Зотиковим, В.М. Маковським та ін.

Потенціал (в основному теоретичний), накопичений у довоєнний період, відіграв важливу роль у стрімкому розвитку авіаційного газотурбобудування після закінчення Великої Вітчизняної війни. Необхідність прискореної розробки і створення принципово нової техніки – реактивної авіації – багато в чому диктувалася політичною ситуацією, яка склалася на той момент у світі і вимагала зміцнення обороноздатності Радянської держави.

Перші авіаційні газотурбінні двигуни, що серійно випускалися в 40-х роках у Радянському Союзі, являли собою відтворені конструкції німецьких (РД-10 і РД-20) та англійських (РД-45 і РД-500) двигунів, проте вже в березні 1947 р. проходив державні випробування турбореактивний двигун С-18 (серійне позначення – ТР-1) конструктора А.М. Люльки, який був розроблений незалежно від них і по праву вважається першим вітчизняним турбореактивним двигуном.

Надалі на території Радянського Союзу формувалися потужні центри авіаційного газотурбобудування: в Москві, Ленінграді, Куйбишеві, Запоріжжі, Казані, Пермі, Омську, Уфі та Рибінську, які сприяли перетворенню СРСР в одну з провідних держав світу в цій галузі техніки.

У 40-х роках у Радянському Союзі починають розглядати можливість застосування газотурбінних двигунів (ГТД) на кораблях ВМФ. У травні 1954 р. у м. Миколаєві організовується спеціальне конструкторське бюро з проектування таких установок. Для їхнього серійного випуску перепрофілюється споруджений у тому ж місті Південний турбінний завод.

Першим у світі кораблем, оснащеним головною газотурбінною енергетичною установкою, став вартовий корабель проекту 61 "Комсомолец Украины" (1961 р.),

на якому були встановлені два газотурбінних агрегати МЗ. Необхідно відзначити, що у Великобританії перший подібний корабель (есмінець проекту 21 "Amazon") вступив у дію тільки в 1974 р., у США (есмінець DD963 "Spruens") – у 1975 р.

Військово-морський флот СРСР, оснащений переважно газотурбінними двигунами, до розпаду країни був одним з найбільших у світі і становив гордість держави.

У 60–80-х роках газотурбінні двигуни знаходять застосування і на деяких комерційних суднах. Установкою ГТУ-20 наприкінці 60-х років оснащується судно "Парижская коммуна" (одне із суховантажних суден типу "Ленинский комсомол"). Газотурбінні агрегати М25 розробки СПБ "Машпроект" (м. Миколаїв) установлюються у 80-х роках на серії контейнеровозів типу "Капитан Смирнов". Газотурбінні двигуни використовуються також в енергетичних установках суден на підводних крилах.

До 50-х років відносять перші спроби застосування в СРСР газотурбінних двигунів на бронетанковій техніці. Наприкінці 60-х років конструкторами Ленінградського НВО ім. В.Я. Клімова (нині ДУП "Завод ім. В.Я. Клімова") створюється двигун ГТД-1000Т потужністю 1000 к.с., який з 1976 р. встановлюється на серійному танку Т-80. Подальший розвиток подібних енергоустановок закріпив пріоритет Радянського Союзу в цій галузі техніки.

У післявоєнний період продовжуються роботи радянських конструкторів у галузі стаціонарного газотурбобудування. У 1957 р. Невський машинобудівний завод ім. В.І. Леніна (НЗЛ) у Ленінграді починає серійне виробництво двигуна ГТ-700-4 потужністю 4 МВт для газоперекачувальних станцій. У 1957–1958 рр. два енергетичних агрегати ГТ-12-3 потужністю 12 МВт для м. Шатська виготовляє Ленінградський металевий завод (ЛМЗ). У цей же час ЛМЗ створює агрегат ГТ-25-700-1 потужністю 25 МВт, установлений у 1960 р. на одну з електростанцій м. Києва.

У 60-х роках НЗЛ серійно випускає газотурбінні агрегати ГТ-700-5 і ГТ-700-6 потужністю 4,25 та 6,0 МВт, ГТК-5 потужністю 4,4 МВт, починає виробництво одного з найбільш масових в історії СРСР агрегатів для приводу нагнітачів компресорних станцій – ГТК-10 потужністю 10 МВт. Ленінградський металевий завод випускає агрегати ГТН-9-750 потужністю 9 МВт. Ряд дослідно-промислових зразків газотурбінної техніки, у тому числі й агрегат потужністю 50 МВт з початковою температурою газів 1073 К, створюється на Харківському турбінному заводі. Виробництво газотурбінних агрегатів ГТ-6-750 потужністю 6 МВт організовується підприємством Уральський турбомоторний завод (ТМЗ) у м. Свердловську.

Наприкінці 60-х років починається створення енергетичних і привідних агрегатів на базі суднових та авіаційних газотурбінних двигунів. Двигунами потужністю 10 МВт розробки СПБ "Машпроект" (м. Миколаїв) комплектуються плавучі електростанції типу "Северное сияние". Судновий двигун Д012 у 70-х роках використовується при створенні агрегатів ГТЭ-4 потужністю 4 МВт, призначених для енергопоїздів типу "Маяк". Газотурбогенераторами потужністю 12 МВт надалі оснащуються як пересувні, так і стаціонарні електростанції, розташовані в різних

регіонах Радянського Союзу. Турбогвинтові двигуни АИ-20 і АИ-23 розробки ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя) широко використовуються для створення пересувних електростанцій, а також для приводу бурових установок, насосів і т. п.

У 70–80-х роках Невський машинобудівний завод серійно випускає різні модифікації агрегату ГТК-10 для компресорних станцій, виробляє агрегат ГТН-25 потужністю 25 МВт. Ленінградський металевий завод серійно виробляє агрегати ГТК-10-3 і ГТК-10-4 розробки НЗЛ, створює енергетичні газотурбінні двигуни ГТ-100-750 потужністю 100 МВт (до 1975 р. – найбільш потужні ГТД у світі) і ГТ-100-3М потужністю 105 МВт. Уральський турбомоторний завод випускає газоперекачувальні агрегати ГТН-6, ГТН-16 і ГТН-25-1 потужністю 6, 16 та 25 МВт. Харківським турбінним заводом створюються енергетичні двигуни ГТ-35-770 і ГТ-45 потужністю 35 та 50 МВт. На базі ГТ-35-770 створюються перші в СРСР парогазові установки ПГУ-200 і ПГУ-250, встановлені на Невинномиській (1972 р.) та Молдавській (1980 р.) електростанціях.

Середину 70-х років відзначена початком масового використання газотурбінних двигунів авіаційного і суднового типів для комплектації газоперекачувальних станцій. На базі турбогвинтового авіаційного двигуна НК-12МВ підприємством ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова" (м. Самара) створюється газотурбінний привід НК-12СТ потужністю 6,3 МВт, який з 1974 р. серійно випускається заводом "Моторостроитель" (м. Самара). Двоконтурний турбореактивний двигун (ТРДД) НК-8 став основою для створення ГТД НК-16СТ потужністю 16 МВт. Даний двигун серійно виробляється Казанським моторобудівним виробничим об'єднанням з 1982 р.

Також у цей період на газоперекачувальних станціях масово застосовуються двигуни суднового типу. Для серійного випуску розробленого в СПБ "Машпроект" двигуна ДР59Л потужністю 10 МВт і газоперекачувального агрегату на його основі ГПА-10 у м. Кривий Ріг наприкінці 70-х років будується турбінний завод "Восход" (у даний час ВАТ "Констар"). Перші агрегати даного типу були введені в експлуатацію в 1978 р.

Політичні реформи в державі кінця 80-х – початку 90-х років негативно відбилися на стані пострадянського газотурбобудування. У даний час практично згорнуто серійне виробництво газотурбінної техніки на підприємствах, які традиційно займалися випуском стаціонарних агрегатів: ВАТ "Невский завод" (м. С.-Петербург), ВАТ "ТМЗ" (м. Єкатеринбург), ВАТ "Констар" (м. Кривий Ріг), ВАТ "Турбоатом" (м. Харків). Винятком є ВАТ "ЛМЗ", що випускає з 1991 р. двигуни В94.2 потужністю 160 МВт німецької фірми "Siemens".

Практично без роботи за основним профілем залишилися 12 заводів і 15 конструкторських бюро, які розробляли й виготовляли авіаційні газотурбінні двигуни. Порівняно з 1985 р., коли в СРСР одночасно вироблялося до 70 типорозмірів авіадвигунів, замовлення на дану продукцію в цей час скоротилися в десятки разів. Більшість цих підприємств одним зі шляхів виходу з кризи вважає організацію виробництва промислових газотурбінних агрегатів (ГТА). Їх величезний науковий і технічний потенціал у даний час спрямований головним чином на створення

газотурбінних установок, які можуть бути використані в енергетиці, а також у ролі приводів газоперекачувальних станцій. Частина проектів фінансується російськими компаніями "Газпром" і "ЕЭС России".

До таких підприємств можна віднести: ВАТ "Авиадвигатель" і ВАТ "Пермский моторный завод" (м. Перм); ВАТ "НПО "Сатурн" (м. Рибінськ); ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКБМ" та ВАТ "Моторостроитель" (м. Самара); ЗМКБ "Прогрес" і ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя); ВАТ "КМПО" і ВАТ "КПП "Авиамотор" (м. Казань); ММПП "Салют" (м. Москва); ВАТ "УМПО" і НПП "Мотор" (м. Уфа); ДУП "Завод им. В.Я. Климова" (м. С.-Петербург); ВАТ "Калужский двигатель" і ВАТ "КОБМ" (м. Калуга); ВАТ "ОМКБ" і "ОМО им. П.И. Баранова" (м. Омськ) та ін.

На базі Науково-випробувального центру ФДУП "ЦИАМ" у м. Литкаріно (Московська обл.) для створення енергетичних та привідних газотурбінних агрегатів засноване ЗАТ "Энергоавиа". У проекті також беруть участь ряд московських підприємств (Тушинське МКБ "Союз", ВАТ "ММП им. В.В. Чернышева" та ін.).

В останні роки енергійно налагоджує виробництво газотурбінних агрегатів промислового типу потужністю 9 МВт на своїх підприємствах ВАТ "Энергомаш-корпорация" (м. Москва).

Корабельні газотурбогенератори потужністю 1,5 МВт, які серійно випускає для потреб військово-морського флоту ВАТ "Пролетарский завод" (м. С.-Петербург), конвертовані для роботи на газоподібному паливі і використовуються у складі газотурбінних електростанцій.

Необхідно відзначити, що значна кількість конструкцій, розроблених в останні роки, відповідає кращим закордонним зразкам подібної техніки. Більшість двигунів, анонсованих даними підприємствами, не доведена ще до серійного виробництва, а знаходиться в стадії розробки чи дослідно-промислової експлуатації.

Незначним є в даний час виробництво корабельних газотурбінних агрегатів миколаївським підприємством НВКГ "Зоря"- "Машпроект". Замість цього потенційному замовнику пропонується широкий ряд потужностей (2,5...110,0 МВт) створених у 80–90-х роках промислових газотурбінних двигунів, більшість з яких випускаються підприємством серійно.

Ряд підприємств України і Росії, які безпосередньо не виготовляють газотурбінні двигуни, спеціалізуються на випуску промислових агрегатів та електростанцій на їхній основі.

Провідним підприємством з виробництва газоперекачувальних агрегатів (ГПА) на території колишнього Радянського Союзу є ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе". На основі двигунів, розроблених НВКГ "Зоря"- "Машпроект", ЗМКБ "Прогрес", ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКБМ" і ВАТ "НПО "Сатурн", випускаються агрегати потужністю 6...25 МВт.

ВАТ "НПО "Искра" (м. Перм) виготовляє газоперекачувальні агрегати типу "Урал" на основі двигунів розробки ВАТ "Авиадвигатель" і ВАТ "КПП "Авиамотор" потужністю 4, 10, 12, 16 і 18 МВт. У блочно-контейнерному виконанні випускають-

ся також електростанції потужністю 2,5...16,0 МВт. На основі двигуна НК-38СТ (ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова") організовано виробництво газоперекачувальних агрегатів ГПА-16 "Волга" на ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение".

ЗАТ "Завод "Киров-Энергомаш" (дочірнє підприємство ВАТ "Кировский завод", м. С.-Петербург) займається виготовленням газоперекачувальних агрегатів ГПА-16 "Нева" на основі двигуна АЛ-31СТ розробки ВАТ "НПО "Сатурн".

Газоперекачувальні агрегати на основі UGT 2500, ДУ71 і ТВ3-137, а також блокові електростанції, що використовують двигуни ТВ3-137, UGT 2500 і UGT 6000 (ДВ71), випускає українське підприємство ВАТ "Турбогаз" (м. Харків).

Необхідно відзначити, що істотний внесок у створення газотурбінних двигунів, промислових агрегатів та електростанцій на їхній основі часом роблять учені таких науково-дослідних і проектних інститутів, як ВАТ "Всероссийский теплотехнический институт" (м. Москва), ВАТ "Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова" (м. С.-Петербург), ФДУП "Центральный институт авиационного моторостроения" і ВАТ "Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт "Теплоэлектропроект" (м. Москва), ВАТ "Государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности" (м. Москва) та ін.

1.2. Галузі застосування газотурбінних агрегатів

Згідно з призначенням усі газотурбінні агрегати, що виготовляються в цей час підприємствами України і Росії (за винятком двигунів літальних апаратів), можна класифікувати на п'ять основних груп: *енергетичні, привідні, суднові, танкові та безкомпресорні утилізаційні*.

1. Енергетичні газотурбінні агрегати. Призначені для приводу генератора електричного струму на стаціонарних і пересувних (мобільних) електростанціях. Виконуються як за простою, так і за складною тепловою схемою з утилізацією тепла відхідних газів – так звані *парогазові установки*.

У межах усього ряду потужностей підприємствами України і Росії в даний час створюються та виготовляються наступні енергетичні газотурбінні агрегати простої теплової схеми:

агрегати потужністю 0,5...2,0 МВт, створювані на основі авіаційних (ТВ2-117, ТВ3-117 та ТВ7-117) газотурбінних двигунів розробки ДУП "Завод ім. В.Я. Климова" (м. С.-Петербург). Крім самого підприємства, їх випускають також ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя), ВАТ "Калужский двигатель" (м. Калуга), а також ряд авіаремонтних підприємств – ВАТ "Уральский завод гражданской авиации" (м. Єкатеринбург) та ін.;

газотурбогенератори ГТГ-1500-2(Г) потужністю 1,5 МВт і ККД 21 % для потреб енергетики і військово-морського флоту, що серійно випускаються ВАТ "Пролетарский завод" (м. С.-Петербург);

агрегати потужністю 2,5...35,0 МВт, характеристики яких наведено в табл. 1.1.

Незначною є кількість енергетичних газотурбінних агрегатів простої схеми більшої потужності. ВАТ "Турбоатом" (м. Харків) виготовляє агрегат ГТЭ-45-3М потужністю 58 МВт і ККД 29 %. У дослідно-промисловій експлуатації на Іванівській державній районній електростанції (ДРЕС) знаходиться розроблений у НВКГ "Зоря"- "Машпроект" газотурбінний агрегат ГТЭ-110, що має потужність 114 МВт і ККД 36 %.

ВАТ "ЛМЗ" (м. С.-Петербург) серійно випускає за ліцензією німецької компанії "Siemens" агрегат ГТЭ-160 (V94.2) потужністю 160 МВт і ККД 34 %.

Агрегат ГТЭ-150 (потужність 150 МВт, ККД 30,5 %), що випускався раніше ВАТ "ЛМЗ", істотно відстає від сучасного рівня за параметрами і не має перспектив подальшого виробництва через моральне старіння.

У стадії розробки знаходяться:

агрегат ГТЭ-45-60 (потужність 45/60 МВт, ККД 36...37 %) НВКГ "Зоря"- "Машпроект";

агрегат ГТЭ-115М (потужність 136,5 МВт, ККД 35 %) ВАТ "Турбоатом" (м. Харків);

агрегат ГТЭ-60 (потужність 60 МВт, ККД 36 %) ВАТ "ЛМЗ";

агрегат ГТЭ-65П (потужність 66 МВт, ККД 36,3 %) ВАТ "Авиадвигатель";

агрегат ГТЭ-180П (потужність 180 МВт, ККД 36,7 %) ВАТ "Авиадвигатель" та ВАТ "ЛМЗ".

2. Привідні газотурбінні агрегати. Призначені для приводу великих механізмів і пристроїв.

У даний час привідні газотурбінні агрегати головним чином використовуються для приводу нагнітачів природного газу компресорних станцій різного призначення: лінійних, дотискних (ДКС), станцій підземних сховищ газу (ПСГ).

Газотурбінними приводами обладнані 86 % газоперекачувальних агрегатів, що входять до газотранспортної мережі (найбільшої у світі), розташованої на території колишнього Радянського Союзу.

Зведені дані щодо газотурбінної техніки цього призначення, пропонованої підприємствами України і Росії, в межах усього потужнісного ряду наведені в табл. 1.2.

3. Суднові газотурбінні агрегати. Призначені для приводу водотоннажних суден і суден з динамічними принципами підтримання.

Миколаївським підприємством НВКГ "Зоря"- "Машпроект" для потреб ВМФ і комерційних суден пропонуються надійні й економічні газотурбінні двигуни UGT 3000 (M75), UGT 6000 (M70), UGT 16000 (DT59), UGT 15000 (M90) і UGT 25000 (M80) потужністю 3...28 МВт. Створюються також різноманітні агрегати на їхній основі.

Рибінським підприємством ВАТ "НПО "Сатурн" у співробітництві з НВКГ "Зоря"- "Машпроект" розробляються суднові двигуни M75PY і M70FPU потужністю 4 та 8 МВт.

Таблиця 1.1. Характеристики енергетичних газотурбінних агрегатів

Назва агрегату	Розробник	Потужність, МВт	ККД, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Ступінь освоєння		
						У процесі створення	У дослідно-промисловій експлуатації	Серійно випускаються
Агрегати потужністю 2,5...5,0 МВт								
UGT 2500 (ДЮ49)	НВКГ "Зоря" - "Машпроект"	2,85	28,5	1224	12,0			+
АИ-20ДКЭ/ДМЭ	ЗМКБ "Прогрес"	2,5	24,0	1010	7,5			+
ГТУ-2,5П	ВАТ "Авиадвигатель"	2,7	21,8	961	6,0			+
ГТУ-4П		4,3	24,8	1075	7,3			+
Сатурн ГТД-4	ВАТ "НПО "Сатурн"	4,1	32,5	1220	12,1		+	
UGT 3200RG (ДЮ42)	НВКГ "Зоря" - "Машпроект"	3,4	40,0*	—	7,0	+		
АИ-336-1-4	ЗМКБ "Прогрес"	4,2	26,0	1187	13,0	+		
Агрегати потужністю 6...10 МВт								
UGT 6000 (ДВ71)	НВКГ "Зоря" - "Машпроект"	6,7	31,5	1288	16,6			+
UGT 10000		10,7	36,0	1453	19,5			+
НК-14Э	ВАТ "СКБМ"	9,5	33,0	1345	10,5			+
АИ-336Э-1-6,3	ЗМКБ "Прогрес"	6,3	31,0	1282	16,7			+
ГТЭР-10	ВАТ "Невский завод"	10,0	33,0*	1053	4,24			+
ГТЭ-10/95	НПП "Мотор"	8,0	24,0	1130	7,7			+
ГТЭ-6	ВАТ "ТМЗ"	6,12	23,5	1033	6,2			+
ГТ-009	ВАТ "Энергомашкорпорация"	9,0	35,0*	1223	—			+
Сатурн ГТД-6	ВАТ "НПО "Сатурн"	6,16	23,9	1086	8,63			+
АИ-336-1-10	ЗМКБ "Прогрес"	10,0	34,0	1371	21,3		+	
АЛ-31СТ-10	ВАТ "НПО "Сатурн"	10,5	33,0	—	14,3		+	

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

ГТУ-6П	ВАТ "Авиадвигатель"	6,3	26,9	1209	8,5		+
Сатурн ГТД-6,3	ВАТ "НПО "Сатурн"	6,4	32,6	1500	11,3	+	
Сатурн ГТД-8		8,21	24,3	1208	9,77	+	
Сатурн ГТД-10		10,23	36,5	1500	17,9	+	
АИ-336Э-1-8	ЗМКБ "Прогрес"	8,0	32,0	1365	17,5	+	
ГТЭ-10	ММП "Салют"	10,0	32,0	1286	13,3	+	
ГТЭ-6У	ВАТ "ТМЗ"	6,35	31,0	1193	12,0	+	
Агрегати потужністю 12...20 МВт							
АЛ-31СТЭ	ВАТ "НПО "Сатурн"	16,4	36,5	1440	18,1		+
UGT 15000 (ДБ90)	НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	17,5	35,0	1349	19,6		+
UGT 16000 (ДЖ59)		16,3	31,0	1138	12,7		+
ГТУ-12ПЭР	ВАТ "Авиадвигатель"	12,7	33,7	1399	16,9		+
ГТУ-16ПЭР		16,8	35,6	1480	19,5		+
ГТЭР-12	ВАТ "Невский завод"	12,0	32,0*	1123	4,88		+
ГТЭР-16		16,0	32,5*	1213	7,05		+
ГТЭ-20С	ММП "Салют"	20,0	31,5	1275	14,0		+
ГТЭ-18	ВАТ "КПП "Авиамотор"	18,0	31,0	1110	10,2		+
ГТЭ-16	ВАТ "ТМЗ"	16,46	30,4	1193	11,5		+
АЛ-31СТ-12	ВАТ "НПО "Сатурн"	12,6	34,5	—	15,6	+	
ГТЭ-20/55СТ	ЗАТ "Энергоавиа"	20,0	31,7	1253	10,2	+	
НК-39СТ	ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова"	16,0	38,0	—	—	+	
Агрегати потужністю 22...35 МВт							
UGT 25000 (ДГ80)	НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	27,5	36,0	1518	21,8		+

* Агрегат з регенерацією тепла.

Назва агрегату	Розробник	Потужність, МВт	ККД, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Ступінь освоєння		
						У процесі створення	У дослідно-експлуатацій	Серійно випускаються
НК-37	БАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова"	25,0	36,4	1420	23,1			+
НК-37-1		31,0	37,3	1492	25,6			+
ГТУ-25ПЭР	БАТ "Авиадвигатель"	25,3	38,6	1545	28,0	+		
ГТЭ-25У	БАТ "ТМЗ"	32,0	32,5	1333	13,5	+		
ГТД-25АЛ	БАТ "НПО "Сатурн"	25,9	-	-	19,1	+		

Таблиця 1.2. Характеристики привідних газотурбінних агрегатів

Назва агрегату	Розробник	Потужність, МВт	ККД, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Ступінь освоєння		
						У процесі створення	У дослідно-промисловій експлуатації	Серійно випускаються
Агрегати потужністю 2,5...4,0 МВт								
UGT 3000 (DE76)	НВКГ "Зоря" - "Машпроект"	3,36	31,0	1293	13,5			+
ГТУ-2,5П	БАТ "Авиадвигатель"	2,7	22,0	961	6,0			+
Сатурн ГТД-4	БАТ "НПО "Сатурн"	4,1	32,5	1220	12,1		+	
НК-126	БАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова"	4,0	32,0	-	-	+		
Сатурн ГТД-2,5	БАТ "НПО "Сатурн"	2,81	28,8	1203	11,9	+		

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

ДЮ51	ВАТ ІВП "Енергія"	2,5	28,0	1200	12,0	+	
АИ-336-1-4	ЗМКБ "Прогрес"	4,2	26,0	1187	13,0	+	
Агрегати потужністю 6...8 МВт							
НК-14СТ	ВАТ "СКБМ"	8,6	32,0	1250	10,5		+
UGT 6000 (ДТ71)	НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	6,7	31,5	1288	16,6		+
Д-336-1/2	ЗМКБ "Прогрес"	6,3	31,0	1282	16,7		+
НК-12СТ	ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова"	6,3	26,1	941	8,8		+
UGT 6000+	НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	8,3	33,0	1373	16,6	+	
Сатурн ГТД-6,3	ВАТ "НПО "Сатурн"	6,4	32,6	1500	11,3	+	
АИ-336-1/2-8	ЗМКБ "Прогрес"	8,0	32,0	1365	17,5	+	
ГТН-6У	ВАТ "ГМЗ"	6,5	31,0	1193	12,0	+	
Агрегати потужністю 10...12 МВт							
UGT 10000 (ДН70)	НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	10,7	36,0	1453	19,5		+
ГТУ-10П	ВАТ "Авиадвигатель"	10,3	34,7	1250	14,6		+
ГТУ-12П		12,4	34,6	1363	16,9		+
ГТНР-10 (ГТК-10М)	ВАТ "Невский завод"	10,0	33,0*	1053	4,24		+
ГТНР-12		12,0	32,0*	1123	4,88		+
ДР59Л	НВКГ "Зоря"- "Машпроект"	10,4	28,0	1058	10,0		+
АИ-336-1/2-10	ЗМКБ "Прогрес"	10,0	34,0	1371	21,3	+	
АЛ-31СТ-10	ВАТ "НПО "Сатурн"	10,5	33,0	—	14,3	+	
АЛ-31СТ-12		12,6	34,5	—	15,6	+	
Сатурн ГТД-10		10,23	36,5	1500	17,9	+	
НК-14СТ-10	ВАТ "СКБМ"	10,0	34,2	—	11,0	+	
НК-14СТ-12		12,0	35,0	—	—	+	

* Агрегат з регенерацією тепла.

Продовж. табл. 1.2

Назва агрегату	Розробник	Потужність, МВт	ККД, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Ступінь освоєння		
						У процесі створення	У дослідно-промисловій експлуатації	Серійно випускаються
Агрегати потужністю 16...18 МВт								
ГТУ-16П	ВАТ "Авиадвигатель"	16,5	37,0	1416	19,6			+
АЛ-31СТ	ВАТ "НПО "Сатурн"	16,8	36,5	1440	18,1			+
УГТ 15000 (ДГ90)	НВКГ "Зоря"-"Машпроект"	17,15	35,0	1343	19,5			+
ГТНР-16	ВАТ "Невский завод"	16,0	32,5*	1213	7,05			+
УГТ 16000 (ДЖ59)	НВКГ "Зоря"-"Машпроект"	16,3	31,0	1138	12,7			+
НК-16-18СТ	ВАТ "КПП "Авиамотор"	18,0	31,0	1110	10,2			+
ГТН-16М-1	ВАТ "ТМЗ"	16,8	31,0	1193	11,5			+
НК-16СТ	ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова"	16,0	29,0	1066	9,7			+
КПТУ-16К (ДУ71)	НВКГ "Зоря"-"Машпроект"	15,7	43,0**	1358	20,0		+	
НК-38СТ	ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова"	16,0	38,0	1476	25,9		+	
ГТА "Надежда"	ВАТ "Невский завод"	16,3	44,0***	—	9,55	+		
Агрегати потужністю 25...30 МВт								
УГТ 25000 (ДН80)	НВКГ "Зоря"-"Машпроект"	26,5	36,0	1518	21,8			+

* Агрегат з регенерацією тепла.
** Агрегат з утилізацією тепла монарного циклу.
*** Агрегат з регенерацією та проміжним охолодженням повітря.

НК-36СТ	ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова"	25,0	36,0	1420	23,1		+
ГТН-25-1	ВАТ "ТМЗ"	25,0	32,0	1353	13,0		+
ГТН-25	ВАТ "Невский завод"	32,5	29,2	1173	12,5		+
ГТУ-25П	ВАТ "Авиадвигатель"	25,6	40,0	1512	28,5	+	
ГТД-25АЛ	ВАТ "НПО "Сатурн"	25,9	–	–	19,1	+	

ДУП "Завод им. В.Я. Климова" пропонує для швидкісних морських і річкових суден водотоннажністю 10...100 т газотурбінні приводи потужністю 0,7...3,7 МВт, виконані на базі авіаційних і танкових двигунів власної розробки.

4. Танкові газотурбінні агрегати. Призначені для приводу різної бронетанкової техніки.

Двигуни ГТД-1000Т/ТФ, ГТД-1250 та їхні модифікації, що встановлюються на серійних танках Т-80, Т-80Б, Т-80У і "Черный орел", бронетанкових машинах "Ладога", ремонтно-евакуаційних машинах БРЭМ-80У, розроблені ДУП "Завод им. В.Я. Климова" (м. С.-Петербург) та серійно випускаються підприємством ВАТ "Калужский двигатель" (м. Калуга).

5. Безкомпресорні утилізаційні газотурбінні агрегати. До цієї категорії можна віднести *газові утилізаційні турбіни*, призначені для виробництва електричної енергії за рахунок надлишкового тиску доменного газу на металургійних заводах, і *детандер-генераторні агрегати* – за рахунок корисного використання тиску природного газу до споживчих величин на газорозподільних станціях (ГРС) і газоредукційних пунктах (ГРП).

На території колишнього Радянського Союзу основним виробником подібної техніки з кінця 60-х років є ВАТ "Турбомоторный завод" (м. Єкатеринбург). Різноманітний асортимент цих агрегатів пропонують у даний час потенційному замовнику ВАТ "Невский завод" (м. С.-Петербург) і ВАТ "Криокор" (м. Москва). В Україні утилізаційні агрегати різної потужності розроблені підприємствами ВАТ ІВП "Енергія" (м. Кривий Ріг), НВКГ "Зоря"-Машпроект", ВАТ "Мотор Січ" та ВАТ "Турбогаз" (м. Харків).

1.3. Загальна будова газотурбінних агрегатів

1.3.1. Газотурбінні агрегати простої теплової схеми

Усупереч розповсюдженій (у тому числі й у Радянському Союзі) у першій половині ХХ століття думці про те, що стаціонарні і суднові всережимні газотурбін-

ні агрегати має сенс виконувати винятково за складною тепловою схемою – з регенерацією, проміжним охолодженням повітря і, можливо, з багаторазовим підігрівом газу, у наступні десятиліття найбільшого поширення набули агрегати, виконані саме за простою тепловою схемою. Багато в чому це пояснюється їх значно меншими масогабаритними показниками і кращими експлуатаційними характеристиками, які, незважаючи на трохи гірший ККД, відіграли вирішальну роль при виборі приводу нагнітачів природного газу газоперекачувальних станцій, приводу генераторів електричного струму мобільних (пересувних) електростанцій, а також приводу транспортних (суднових і бронетанкових) установок. Необхідно також урахувати, що підвищена конструктивна складність агрегатів складних теплових схем не завжди підкріплювалася в той період відповідним рівнем розвитку науки і техніки.

Підприємствами України і Росії в даний час випускаються газотурбінні агрегати простого термодинамічного циклу різних конструктивних схем.

Схема на рис. 1.1, *а* – *однокаскадний агрегат із блокованою силовою турбіною* (одновальний ГТА) – порівняно з іншими є конструктивно простішою. Як правило, вона використовується для агрегатів, призначених для експлуатації переважно на одному (номінальному) режимі роботи (наприклад, енергетичні ГТА). За такою схемою виконані агрегати UGT 2500 і ГТД 110 розробки НВКГ "Зоря"- "Маш-проект", АИ-20ДКЭ/ДМЭ ЗМКБ "Прогрес", ГТЭ-45-3 і ГТЭ-115 ВАТ "Турбоатом", ГТЭ-160 (V94.2) ВАТ "ЛМЗ", ГТЭ-65П і ГТЭ-180П ВАТ "Авиадвигатель", НК-12СТ ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", НК-14Э ВАТ "СКБМ", ГТЭ-25У ВАТ "ТМЗ", ГТГ-1500-2(Г) ВАТ "Пролетарский завод".

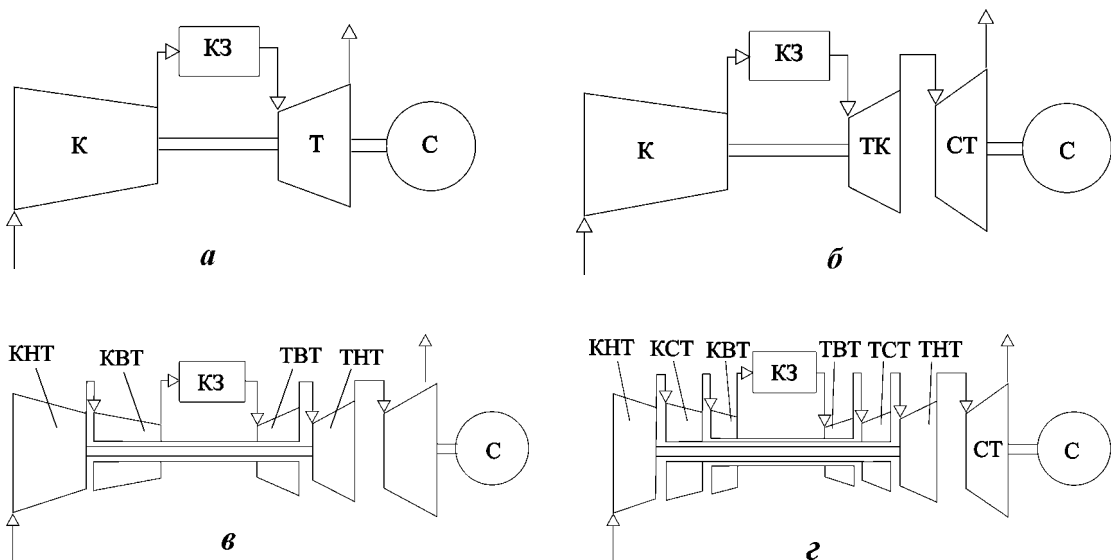


Рис. 1.1. Конструктивні схеми ГТА простого термодинамічного циклу:

К – компресор; КНТ, КСТ, КВТ – компресори відповідно низького, середнього і високого тиску; КЗ – камера згоряння; Т – турбіна; ТК – турбіна компресора; ТВТ, ТСТ, ТНТ – турбіни відповідно високого, середнього і низького тиску; СТ – силова турбіна; С – споживач

Ротори таких ГТА виконані, як правило, двохопорними з розташуванням упорного підшипника з боку компресора (більш холодна частина двигуна). Відведення потужності найчастіше здійснюється також з боку компресора. Для агрегатів потужністю менше 3 МВт, які мають високі значення частоти обертання ротора, характерне застосування вбудованого редуктора (як, наприклад, у двигунів UGT 2500, АИ-20ДКЭ/ДМЭ, ГТГ-1500-2(Г)). Виносним редуктором обладнаний двигун НК-14Э.

Схема на рис. 1.1,б – *однокаскадний агрегат з вільною силовою турбіною* (двувальний ГТА) – у даний час найбільш розповсюджена. Крім достоїнств, пов'язаних з роботою на часткових режимах, поширенню цієї схеми чимало сприяла зручність створення подібних агрегатів на основі авіаційних турбореактивних двигунів (ТРД), коли до базового однокаскадного газогенератора приєднується додатково розроблена вільна силова турбіна*.

За такою схемою виконані газотурбінні агрегати ТВ2-117, ТВ3-117 і ТВ7-117С/В розробки ДУП "Завод им. В.Я. Климова"; ГТУ-2,5П, ГТУ-4П, ГТУ-6П, ГТУ-10П, ГТУ-12П, ГТУ-12ПЭР, ГТУ-16П і ГТУ-16ПЭР ВАТ "Авиадвигатель"; ГТЭ-20С ММПШ "Салют"; Сатурн ГТД-2,5, ГТД-6, ГТД-8, ГТД-4, ГТД-6,3, ГТД-10, М75РУ і М70ФРУ ВАТ "НПО "Сатурн"; НК-14СТ, НК-14СТ-10 і НК-14СТ-12 ВАТ "СКБМ"; ГТЭ-20/55СТ ЗАТ "Энергоавиа"; ГТН-6У, ГТН-16М-1, ГТН-25-1, ГТЭ-6, ГТЭ-6У і ГТЭ-16 ВАТ "ТМЗ".

Незважаючи на наявність вільної силової турбіни, деякі фірми-розробники (наприклад, ВАТ "Авиадвигатель" і ВАТ "ТМЗ") для зниження частоти обертання вихідного вала додатково використовують редуктор, що дозволяє без істотних переробок використовувати привідні двигуни в ролі енергетичних (для приводу генератора електричного струму). До таких належать агрегати ГТУ-2,5П, ГТУ-4П, ГТУ-6П, ГТУ-12ПЭР, ГТУ-16ПЭР, ГТЭ-6, ГТЭ-6У та ГТЭ-16.

Деякі ГТА виконані з виводом привідного вала силової турбіни в бік компресора, що дозволяє забезпечити відведення вихлопних газів через осьовий і бічний газовідводи залежно від виконання (наприклад, Сатурн ГТД-6 і ГТД-8).

Схема на рис. 1.1,в – *двокаскадний агрегат з вільною силовою турбіною* (тривальний ГТА). За такою схемою в даний час створюються практично всі транспортні (суднові і танкові) газотурбінні агрегати. Усі стаціонарні (енергетичні і привідні) ГТА, крім ГТН-25 ВАТ "Невский завод", виконані за такою схемою, є конвертованими з авіаційних, суднових чи танкових агрегатів.

За даною схемою створюють двигуни: НВКГ "Зоря"-"Машпроект" – UGT 3000, UGT 6000, UGT 6000+, UGT 10000, UGT 15000, UGT 15000+, UGT 16000 і UGT 25000; ЗМКБ "Прогрес" – Д-336-1/2, АИ-336-1/2-8, АИ-336-1-4 і АИ-336-1/2-10; ВАТ "НПО "Сатурн" – АЛ-31СТ, АЛ-31СТЭ, АЛ-31СТ-10, АЛ-31СТ-12 і ГТД-25АЛ; ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" – НК-16СТ; ВАТ "КПП "Авиамотор" – НК-16-18СТ; ВАТ "Авиадвигатель" – ГТУ-25П і ГТУ-25ПЭР; ДУП "Завод

* До таких можна віднести значну частину агрегатів, створених ВАТ "Авиадвигатель", ВАТ "НПО "Сатурн", ММПШ "Салют", ЗАТ "Энергоавиа".

ДУП "Завод им. В.Я. Климова" – ГТД-1000Т/ТФ і ГТД-1250; НПП "Мотор" – ГТЭ-10/95; ВАТ "Невский завод" – ГТН-25.

Створюваний енергетичний агрегат ГТУ-25ПЭР додатково оснащений редуктором.

Схема на рис. 1.1,2 – *трикаскадний агрегат з вільною силовою турбіною* (чотиривальний ГТА). Розробкою і створенням подібних ГТА займається ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова". Прикладом можуть бути привідний двигун НК-36СТ і енергетичний НК-37, створені на основі серійного авіаційного двоконтурного турбореактивного двигуна НК-32 (НК-321).

Ефективність газотурбінних агрегатів, виконаних за простою тепловою схемою, істотно залежить від їхньої потужності, фірми-виготовлювача та давності створення і може змінюватися в межах від 20...22 % (як у двигунів потужністю 0,8...1,5 МВт – ТВ2-117, ТВ3-117, ГТГ-1500-2(Г)) до 35...38 % (у двигунів потужністю 16 МВт і більше).

За конструктивним типом усі стаціонарні (привідні й енергетичні) газотурбінні агрегати, що випускаються підприємствами України і Росії, можна класифікувати на *авіаційні, суднові та промислові*.

ГТА авіаційного типу одержані або безпосередньо шляхом конвертування турбореактивних чи турбогвинтових двигунів, що добре зарекомендували себе в авіації, або шляхом подальшого розвитку раніше конвертованих агрегатів.

Розробкою даних ГТА займаються:

ЗМКБ "Прогрес" – агрегати Д-336-1/2, АИ-336-1/2-8 і АИ-336-1/2-4 (на основі турбовального вертолітного двигуна Д-136); АИ-336-1/2-10 (на основі тривального двоконтурного турбореактивного двигуна Д-436Т1); АИ-20ДКЭ (на основі турбогвинтового двигуна АИ-20);

ВАТ "Авиадвигатель" – агрегати ГТУ-2,5П, ГТУ-4П і ГТУ-6П (на основі ТРДД Д-30КУ/КП); ГТУ-10П, ГТУ-12П, ГТУ-12ПЭР, ГТУ-16П, ГТУ-16ПЭР, ГТУ-25П і ГТУ-25ПЭР (на основі ТРДД ПС-90А);

ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" і ВАТ "СКБМ" – агрегати НК-12СТ, НК-14СТ, НК-14СТ-10, НК-14Э (на основі турбогвинтового двигуна НК-12МВ); НК-16СТ (на основі ТРДД НК-8); НК-36СТ і НК-37 (на основі ТРДД НК-32 (НК-321)); НК-38СТ (на основі тривального гвинтовентиляторного ТРДД НК-93);

ВАТ "НПО "Сатурн" – агрегати Сатурн ГТД-6 і ГТД-8 (на основі Д-30КУ/КП); Сатурн ГТД-4, ГТД-6,3 і ГТД-10 (на основі перспективної конструкції газогенератора ТРДД); АЛ-31СТ, АЛ-31СТЭ, АЛ-31СТ-10 і АЛ-31СТ-12 (на основі ТРДД АЛ-31Ф); ГТД-25АЛ (на основі ТРДД АЛ-41Ф);

ДУП "Завод им. В.Я. Климова" – агрегати на основі турбовальних двигунів ТВ2-117, ТВ3-117 і ТВ7-117;

ММП "Салют" – агрегат ГТЭ-20С (на основі одноконтурного ТРД АЛ-21Ф-3);

НПП "Мотор" – агрегат ГТЭ-10/95 (на основі одноконтурного ТРД Р-95Ш).

Відмітними рисами подібних агрегатів є малі маса і розміри, високі початкові параметри газу, підвищені напірність компресорних ступенів та теплонапруженість

елементів камери згоряння. Виконані вони, як правило, за прямоотоковою схемою (з послідовним розташуванням елементів в осьовому напрямку за рухом робочого тіла). Двигуни добре пристосовані для роботи на часткових режимах, для чого мають розвинуте регулювання компресора і часто багатокаскадну його конструкцію.

Створенням *ГТА суднового типу* на базі двигунів власної розробки займається миколаївське підприємство НВКГ "Зоря"-Машпроект". Для даних агрегатів багато в чому характерні зазначені раніше риси авіаційних ГТА.

Необхідно відзначити, що в даний час ГТА авіаційного і суднового типів складають переважну більшість на ринку газотурбінної продукції, представленої підприємствами України та Росії.

На випуску *агрегатів промислового типу* спеціалізуються ВАТ "Турбоатом", ВАТ "ТМЗ", ВАТ "ЛМЗ" і ВАТ "Невский завод". Багатьма підприємствами, що традиційно розробляють ГТА авіаційного і суднового типів, також в останні роки створені агрегати даного типу.

Успіхи розвитку авіаційного турбобудування привели до того, що риси, раніше типові для промислових ГТА (виконання кожного структурного елемента в окремому корпусі з зовнішніми газоповітряними комунікаціями; установлення корпусів турбоагрегатів на окремих опорах; застосування підвального компонування ГТА та ін.), у даний час у практиці зустрічаються рідко.

Значного поширення в складі ГТА всіх типів набули багатоступінчасті осьові компресори. У діапазоні потужностей від 500 кВт і більше мають місце одиничні випадки застосування іншого типу компресора. Так, відцентровим двокаскадним компресором оснащуються танкові двигуни ГТД-1000Т і ГТД-1250 розробки ДУП "Завод им. В.Я. Климова"; осевідцентровий компресор входить до складу двигунів UGT 2500 (ДО49)* НВКГ "Зоря"-Машпроект" і ТВ7-117С/В ДУП "Завод им. В.Я. Климова".

Осьові компресори ГТА забезпечують загальну міру підвищення тиску повітря від 6...8 (ГТГ-1500-2(Г), ГТУ-2,5П, ГТУ-4П, АИ-20ДКЭ, ТВ2-117, ТВ3-117 і ГТЭ-10/95) до 21...28 (UGT 25000, АИ-336-1/2-10, ГТУ-25П, НК-36СТ, НК-37, НК-38СТ). При цьому загальне число ступенів, розташованих в одному, двох чи трьох каскадах, може коливатися від 8 до 18. Міра підвищення тиску в одному ступені в середньому по компресору складає від 1,14...1,18 (у ГТА розробки ВАТ "Турбоатом", ВАТ "СКБМ", ВАТ "ТМЗ", ВАТ "Пролетарский завод" і НВКГ "Зоря"-Машпроект") до 1,22...1,25 (в агрегатах ЗМКБ "Прогрес", ВАТ "Авиадвигатель", ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "НПО "Сатурн" і ЗАТ "Энергоавиа")**. Двигуни Сатурн ГТД-4, ГТД-6,3, ГТД-10, М75РУ і М70ФРУ, що створюються ВАТ "НПО "Сатурн" на базі авіаційного газогенератора "77", мають значення цього параметра в діапазоні 1,30...1,34.

* А також похідних від нього – Сатурн ГТД-2,5 і ДО51.

** Менші значення цього параметра характерні в основному для фірм-розробників, що спеціалізуються на створенні агрегатів промислового і суднового призначення, більші значення – для фірм, що займаються створенням ГТА на базі авіаційних газотурбінних двигунів.

Особливістю компресорів сучасних газотурбінних агрегатів є розвинута система регулювання, яка дозволяє забезпечити надійну роботу на всіх експлуатаційних режимах.

Конструкції камер згоряння, застосовуваних у складі ГТА, різноманітні. Найбільшого поширення набули вбудовані в корпус агрегатів камери згоряння кільцевого і трубчасто-кільцевого типів, виконані за прямотоковою чи протитоковою схемою. Дане явище може бути пояснено домінуючим положенням агрегатів авіаційного і суднового типів на ринку газотурбінної продукції. Для агрегатів промислового типу характерні головним чином виносні та вбудовані індивідуальні камери згоряння.

Значна увага в останні десятиліття приділяється розробниками зниженню концентрації шкідливих речовин у газах, які відходять з ГТА, що багато в чому досягається вдосконалюванням процесів спалювання палива в камерах згоряння і є одним з напрямків їхнього розвитку.

Початкова температура газів за камерою згоряння в сучасних газотурбінних агрегатах лімітується міцнісними властивостями застосовуваних матеріалів і рівнем розвитку системи охолодження ступенів газових турбін. Для різних ГТА вона може складати від 950...1100 К (як в агрегатах НК-12СТ, НК-16СТ, АИ-20ДКЭ, Сатурн ГТД-6, ГТУ-2,5П і ГТУ-4П) до 1450...1550 К (агрегати UGT 10000, UGT 25000, ГТД 110, ГТУ-16ПЭР, ГТУ-25П, ГТУ-25ПЭР, ГТУ-180П, НК-37-1, НК-38СТ)*.

У розглянутому діапазоні потужностей у складі газотурбінних агрегатів застосовуються турбіни винятково осьового типу з дисковою чи дисково-барabanною конструкцією ротора.

Турбіни, що здійснюють привод компресорів агрегатів з вільною силовою турбіною, виконуються, як правило, високонавантаженими, одно- чи двоступінчастими. Значне їхнє число має консольне розташування дисків, що характерно для ГТА авіаційного і суднового типів. Триступінчасту турбіну компресора мають лише двигуни ГТЭ-20С ММПП "Салют", НК-14СТ-10 і НК-14СТ-12 ВАТ "СКБМ". Неохолоджувані турбіни компресорів використовуються в даний час рідко.

Вільні силові турбіни більшості агрегатів спроектовані з частотою обертання, яка відповідає частоті обертання ротора споживача. У деяких випадках ГТА потужністю менше 3 МВт додатково оснащуються редуктором. ВАТ "Авиадвигатель", не бажаючи модифікувати силову турбіну, використовує розроблені привідні дви-

* Інформація про початкову температуру газів, яка надається фірмами-розробниками, порівняно з іншими параметрами є найбільш суперечливою. Спостерігається тенденція поступового (протягом створення двигуна) зниження її величини. Це може бути пояснено головним чином необхідністю доведення ресурсу ГТД до потрібного значення за рахунок деякого, обумовленого зниженням температури, погіршення економічності. Часта відсутність інформації про цей параметр у різних рекламних виданнях може обумовлюватися також небажанням надавати можливість за відомим значенням температури оцінити дійсне значення ККД двигуна, яке може не збігатися із зазначеним рекламним.

гуни в ролі енергетичних, також додатково оснащуючи їх редуктором. Число ступенів вільної силової турбіни складає від одного (в агрегатах ГТН-25 ВАТ "Невский завод" і НК-16СТ ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова") до п'яти-шести (в агрегатах UGT 6000 (ДВ71) НВКГ "Зоря"- "Машпроект" і АЛ-31СТЭ ВАТ "НПО "Сатурн").

Турбіни одновальних газотурбінних агрегатів мають у своєму складі три або чотири ступені.

1.3.2. Газотурбінні агрегати складних теплових схем

Незважаючи на більш високий ККД, ГТА складних теплових схем у даний час підприємствами України і Росії практично не виробляються, що може бути пояснене як специфічними галузями застосування газотурбінних двигунів, у яких більш прийнятною є проста тепла схема, так і недостатнім розвитком даного напрямку на території цих країн.

Окремі агрегати з регенерацією тепла відхідних газів пропонуються ВАТ "Невский завод" і ВАТ "Энергомашкорпорация". Розробки подібних ГТА ведуться НВКГ "Зоря"- "Машпроект", ММПП "Салют" і ВАТ "Авиадвигатель". Агрегат із проміжним охолодженням повітря і регенерацією створюється ВАТ "Невский завод". Випадки застосування парогазових установок є одиничними. Проміжний підігрів газу для підвищення ефективності не знаходить застосування.

Проте в останні роки спостерігається підвищення інтересу до розвитку даного напрямку, що може вже в найближчому майбутньому істотно змінити стан справ у цій галузі.

ГТА з регенерацією тепла газів. Традиційним постачальником даних агрегатів на території колишнього Радянського Союзу, починаючи з 50-х років ХХ століття, є ВАТ "Невский завод" (м. С.-Петербург). В історію розвитку радянського газотурбобудування увійшов агрегат ГТК-10 потужністю 10 МВт, різні модифікації якого використовуються з 1969 р. для приводу нагнітачів природного газу компресорних станцій. Усього ВАТ "Невский завод" і ВАТ "Ленинградский металлический завод" виробили більше ніж 1200 екземплярів цього ГТА.

У даний час ВАТ "Невский завод" виробляє привідні агрегати з регенерацією ГТК-10М (ГТНР-10), ГТНР-12 і ГТНР-16 потужністю відповідно 10, 12 і 16 МВт. На їхній основі створені енергетичні ГТА ГТЭР-10, ГТЭР-12 і ГТЭР-16, ККД яких складає 32...33 %, початкова температура газів – 1053...1213 К, міра підвищення тиску – 4,24...7,05.

Ведуться роботи зі створення принципово нового газотурбінного агрегату "Надежда" потужністю 16 МВт. З метою забезпечення високої економічної ефективності, ресурсозбереження, надійності й екологічної безпеки в агрегаті використані регенератор в основному циклі, охолодження повітря між компресорами і підігрів мережної води в утилізаторі. Застосування даної теплової схеми дозволить збільшити ККД агрегату до 44 %. Міра регенерації складе 0,93.

Починаючи з 2000 р. ВАТ "Энергомашкорпорация" приступило до реалізації в регіонах Росії програми будівництва газотурбінних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) на базі блокових агрегатів ГТ-009(М) потужністю 9 МВт. Ці ГТА, що використовують регенерацію тепла газів, розроблені інженерним центром департаменту турбін даного підприємства в м. С.-Петербург. Їх ККД складає 35 %, початкова температура газів – 1223 К. До 2008 р. планується ввести в дію більше ніж 300 станцій по два-чотири блоки в кожній.

Миколаївським підприємством НВКГ "Зоря"-Машпроект розроблений газотурбінний агрегат з регенерацією тепла газів UGT 3200RG (ДО42). При потужності 3,4 МВт, мірі регенерації 0,85 і мірі підвищення тиску 7 його ККД складає 40 %.

Створення регенеративних ГТА в останні роки є одним з основних напрямків діяльності ММПП "Салют". У даний час у стадії розробки знаходяться газотурбінні агрегати потужністю від 100 кВт до 10 МВт. Передбачається досягнення значень ефективного ККД в інтервалі 40...45 %.

На рис. 1.2 наведені конструктивні схеми виготовлюваних і розроблюваних агрегатів з регенерацією тепла:

а – схема, за якою виконані енергетичні агрегати ГТ-009(М) ВАТ "Энергомашкорпорация" і UGT 3200RG (ДО42) НВКГ "Зоря"-Машпроект", у яких для зниження частоти обертання між двигуном та електрогенератором додатково встановлюється редуктор;

б – двовальна, яку мають агрегати ВАТ "Невский завод" ГТК-10М (ГТНР-10), ГТНР-12 і ГТНР-16;

в – з регенерацією і проміжним охолодженням повітря, за якою виконаний агрегат "Надежда".

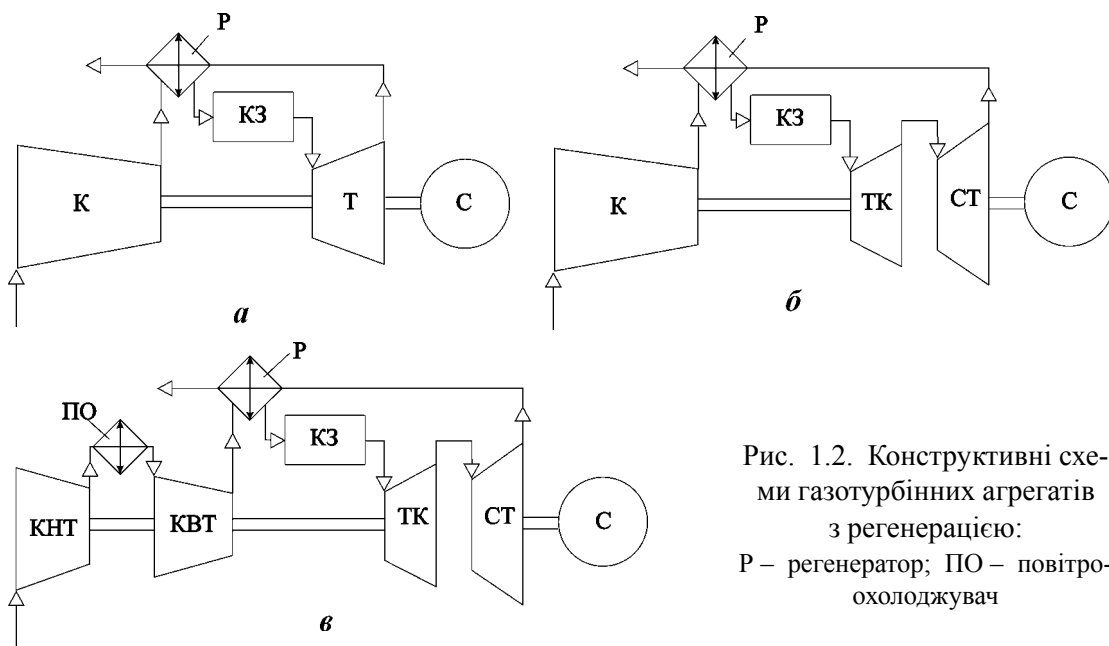


Рис. 1.2. Конструктивні схеми газотурбінних агрегатів з регенерацією:

Р – регенератор; ПО – повітряноохолоджувач

ГТА з утилізацією тепла газів. В останні десять років зріс інтерес підприємств України і Росії до створення енергетичних газотурбінних агрегатів з утилізацією тепла відхідних газів та одержанням додаткової потужності в паровій (бінарний термодинамічний цикл) чи газовій (монарний цикл) турбіні. Подібні установки, що одержали назву *парогазових* (ПГУ), створюються, як правило, на базі агрегатів простої теплової схеми, що випускаються серійно.

Розвиток ПГУ на території колишнього Радянського Союзу пройшов ряд етапів, їхні теоретичні основи були закладені ще в 50–70-х роках ХХ століття. Причому за найважливішими для тих років напрямками (ртутно-паровий цикл і цикл із висконапірним парогенератором) існував безсумнівний радянський пріоритет (розроблювачі О.М. Ложкін, О.О. Канаєв, М.І. Корнєєв, В.А. Зисін, Є.М. Прутковський та ін.).

Практична реалізація парогазових установок почалася в 60-х роках. Тоді було створено кілька малих **ПГУ з висконапірним парогенератором ВПГ-120 і газовою турбіною потужністю 4 МВт**, які дотепер успішно експлуатуються (наприклад, на ТЭЦ-6 ВАТ "Ленэнерго"). Так, промислова парогазова електростанція із трьох енергоблоків безперебійно постачає енергією об'єднання заводів у Санкт-Петербурзі при річному напрацюванні енергоблоків близько 7600 год.

Незважаючи на підготовлені передумови для розвитку цього напрямку, у наступний період (аж до середини 90-х років) мали місце тільки два випадки впровадження парогазових установок у вітчизняну енергетику, пов'язані зі створеним наприкінці 60-х років на Харківському турбінному заводі газотурбінним двигуном ГТ-35-770 потужністю 35 МВт.

У 1972 р. установка **ПГУ-200 сумарною потужністю 170 МВт**, виконана за схемою з висконапірним парогенератором, була введена в експлуатацію на Невинномиській ДРЕС. Повітря, стиснуте в компресорі ГТД, направлялося в топку котла, брало участь у спалюванні палива, виробництві пари і тільки потім із залишковими температурою і тиском надходило в газову турбіну. До складу ПГУ-200 крім двигуна ГТ-35-770 входили парогенератор ВПГ-450 і парова турбіна К-160-130 виробництва Харківського турбінного заводу. Дана установка дотепер успішно експлуатується. Річне напрацювання енергоблока з висконапірним парогенератором досягає 7940 год при напрацюванні на відмову 11000...14000 год, що на 10...30 % краще, ніж у паротурбінних блоків з турбінами К-300-240 і К-800-240.

Другою спробою створення в Радянському Союзі потужних парогазових установок стали розробка і промислова експлуатація двох енергоблоків **ПГУ-250 потужністю 250 МВт**, установлених у 1980 і 1982 рр. на Молдавській ДРЕС. Дана установка була створена за схемою зі скиданням продуктів згоряння від ГТД у низконапірний газомазутний парогенератор. До складу кожного блока входили газотурбінний двигун ГТ-35-770 і парова турбіна К-210-130. Річне напрацювання кожного агрегату складає в даний час 7460 год. Середньоексплуатаційне зниження питомої витрати палива порівняно з паротурбінними блоками становить 3...5 %.

Необхідно відзначити вдалу спробу застосування газотурбінних агрегатів з утилізацією тепла газів розробки СПБ "Машпроект" на комерційних суднах і кораблях ВМФ у 70–80-х роках. У 1979–1987 рр. **агрегатом M25** були оснащені **чотири контейнеровози проекту 1609 "Капитан Смирнов"**. Теплоутилізаційний контур (ТУК) ГТА базувався на спеціально розробленому малогабаритному утилізаційному котлі КУП 3100 із примусовою циркуляцією змієвикового типу. При загальній потужності агрегату 18,4 МВт в паровій турбіні було отримано 4,3 МВт шляхом утилізації. Питома витрата палива при цьому була знижена на 25 % (до 0,238 кг/(кВт·год)).

Черговим етапом у розвитку корабельних енергетичних установок стало створення колективом СПБ "Машпроект" агрегату **M21 для ракетних крейсерів проекту 1164 "Слава"**. Його маршовий двигун M70 був також обладнаний теплоутилізаційним контуром.

Агрегат M21 дотепер успішно експлуатується на декількох крейсерах, забезпечуючи високу економічність на малих ходах. Використання ТУК поряд зі зниженням питомої витрати палива забезпечило підвищення потужності на 25 % і значне збільшення ресурсу маршового двигуна на режимах оперативного-економічного ходу.

Недостатня увага уряду до парогазових установок у цей період обумовлюється тим, що в 70–80-х роках пріоритетним напрямком для радянської енергетики стає будівництво гігантських атомних і гідравлічних електростанцій потужністю в тисячі мегаватів. Парогазовим установкам, які мали меншу агрегатну потужність і знаходилися лише на перших етапах свого розвитку, приділяється значно менша увага.

Події політичного життя країни першої половини 80-х років і пов'язані з ними наростаючі проблеми в економіці поступово призвели до майже повного припинення фінансування досліджень у даному напрямку. Проте саме в цей період у закордонному газотурбобудуванні відбулися події, що докорінно змінили ставлення у світі до парогазових установок.

На початку 80-х років провідні фірми стали запроваджувати в дію газотурбінні агрегати простої теплової схеми нового покоління. Початкова температура газу цих ГТА зросла з 1100...1200 до 1400...1500 К і більше. Унаслідок цього була подолана існуюча температурна границя (близько 1350 К), за межами якої найбільш ефективною стає ПГУ не з висконапірним чи низьконапірним парогенератором, а з котлом-утилізатором. У таких установках високі значення (понад 750 К) температури продуктів згоряння за турбінною частиною дозволяють забезпечити прийнятні значення тиску і температури пари для паросилового циклу.

Перший подібний агрегат з початковою температурою продуктів згоряння 1370 К був зібраний у 1981 р. німецькою компанією "Siemens" (так звана серія E). Його потужність складала 150 МВт, власний ККД – близько 33 %, а ККД парогазових установок, побудованих на його основі, перевищував 50 %.

Після цього почався справжній бум у будівництві ПГУ. Наступні покоління енергетичних ГТД відразу проектувалися і для автономної роботи, і для експлуа-

тації в парогазовому циклі. Газотурбінні агрегати серії F (початкова температура продуктів згоряння 1450...1530 К), з'явившись у 1992 році, уже через два роки поступилися лідерством серії FA, турбіни якої витримували понад 1550 К. Зараз іде вдосконалювання установок наступної серії – G–H. Лідери галузі (компанії "General Electric", "Alstom", "Siemens") розробляють ГТА потужністю 300 МВт із початковою температурою газу в діапазоні 1600...1700 К, доводячи їх ККД до 39,5 %.

Досягнення в цій галузі привели до того, що світове щорічне введення парогазових установок у період 1997–2006 рр. складає 25 ГВт (35 % від сумарної потужності електростанцій на органічному паливі)*, що майже вдвічі більше, ніж у попередньому десятилітті.

Унаслідок зазначених раніше причин енергетика Радянського Союзу виявилася неготовою до зміни напрямку розвитку в бік високоекономічних ПГУ з котлами-утилізаторами, з яких наявні теоретичний і практичний заділи були недостатніми.

Процес створення сучасних парогазових установок відновився в Україні і Росії в середині 90-х років.

У 1996 р. була створена перша російська парогазова установка з котлом-утилізатором **ПГУ-35 для компресорної станції "Грязовец"** (Росія). Вона містить у собі: один газотурбінний агрегат ГТН-25 ВАТ "Невский завод"; котел-утилізатор КГТ-50/16-500 ВАТ "Белгородский завод энергомашиностроения"; парову турбіну К-11-10П ВАТ "КТЗ"; нагнітач типу 235-23-1 потужністю 10 МВт ВАТ "Невский завод"; повітряно-конденсаційну установку з проміжним теплоносієм.

Схема установки – з одним тиском пари, обидва агрегати (ГТН-25 і К-11-10П) є приводами нагнітачів природного газу компресорної станції магістрального газопроводу. ПГУ була успішно введена в дію і на лютий 2003 р. відпрацювала більше 2000 год, підтвердивши правильність усіх основних технічних рішень та розрахункових економічних показників. Недостатнє напрацювання зумовлюється головним чином простоями через несправність газотурбінного агрегату ГТН-25.

У 2000–2001 рр. введена в експлуатацію перша з запланованих чотирьох **ПГУ-450Т для ВАТ "Северо-Западная ТЭЦ"** (м. С.-Петербург). До складу установки входять: два газотурбінних агрегати ГТЭ-160 потужністю по 150 МВт виробництва ВАТ "ЛМЗ"; два котли-утилізатори П-90 ВАТ "Подольский машиностроительный завод"; одна теплофікаційна парова турбіна Т-150-7,7 потужністю 150 МВт виробництва ВАТ "ЛМЗ"; три генератори з повітряним охолодженням ТФГ(П)-160-2УЗ ВАТ "Электросила".

Парогазова установка створена за дубль-блоковою схемою з двома тисками генерованої пари і 2–4-ступінчастою системою підігріву мережної води. У даний час енергоблок успішно експлуатується і підтверджує проектні характеристики. Рівень технічних параметрів ПГУ-450Т відповідає початку розробки (1992–1993 рр.).

* Оцінюється за обсягом наявних замовлень.

Передбачається встановлення даної ПГУ також на Краснодарській ТЕЦ, Щекінській і Пермській електростанціях.

У 1997 р. введена в дію парогазова установка **ПГУ-300Т на ВАТ "Южная ТЭЦ"** С.-Петербурга, реалізована як реконструкція енергоблока Т-250-240 з котлом ТГМП-344А надбудовою його газотурбінним агрегатом GT-8С виробництва концерну "Alstom". ГТА забезпечує близько 50 % окисника, необхідного для роботи котла з номінальною паропродуктивністю. Інші 50 % подає дуттьовий вентилятор.

У розглянутій установці охолодження газів, що йдуть з котла, здійснюється не в газоводяних теплообмінниках, а в обертовому регенеративному підігрівнику за допомогою надлишкового повітря. Останній виконує роль проміжного теплоносія, що передає тепло газів котла живильній чи мережній воді.

Унаслідок ряду недоліків дана реконструкція спричинила деяке зниження надійності роботи установки і значні додаткові втрати тепла. Замість проектного приросту ККД на 1,0...1,5 % парогазовий блок забезпечує ту ж економічність, що і паросиловий до реконструкції. Тому з погляду реалізації парогазових технологій ПГУ ВАТ "Южная ТЭЦ" являє собою, скоріше, негативний приклад.

У 90-х роках конструкторами НВКГ "Зоря"- "Машпроект" розроблена і створена **парогазова установка монарного термодинамічного циклу** з подачею пари, одержуваної шляхом утилізації тепла газів, у проточну частину газотурбінного двигуна і наступним уловлюванням та поверненням у цикл води, що міститься в газах. Установка **КГПТУ-16К (ДУ71) потужністю 16 МВт** у даний час знаходиться в дослідно-промисловій експлуатації у складі газоперекачувального агрегату ПГУ-16К, встановленого на компресорній станції "Ставищенська" (Черкаська обл., Україна).

У даний час рівень і темпи розвитку парогазових технологій в Україні та Росії істотно відстають від світових. Реальні інвестиційні проекти практично відсутні, хоча на стадії техніко-економічного обґрунтування і технічних пропозицій розглядається досить широкий спектр ПГУ.

На основі двигунів власної розробки UGT 10000, UGT 15000, UGT 25000 та ГТД 110 НВКГ "Зоря"- "Машпроект" розробив і пропонує потенційному замовнику ряд парогазових установок бінарного циклу потужністю 13,5...325,0 МВт і з ККД, рівним 45...52 %. Розроблений також ряд контактних установок (монарного циклу) потужністю 4...40 МВт, ККД яких складає 35...43 %.

Енергетичну установку монарного циклу ГТЭ-60С потужністю 60 МВт і ККД 51 % у даний час розробляє московське підприємство ММПП "Салют".

На основі створюваного агрегату ГТЭ-110 ВАТ "НПО "Сатурн" (м. Рибінськ) передбачається організація виробництва парогазових бінарних установок ПГУ-170 і ПГУ-325 потужністю 170 і 325 МВт (ККД 52 %).

Ліцензійний агрегат ГТЭ-160 використовується ВАТ "ЛМЗ" для створення установок ПГУ-450(Т) потужністю 450 МВт.

На основі розроблюваного ВАТ "Авиадвигатель" разом з ВАТ "ЛМЗ" агрегату

ГТЭ-180П планується створення парогазових установок ПГУ-270 (ККД 55,3 %) і ПГУ-540 (ККД 55,4 %).

Конструкторами ВАТ "ТМЗ" виконано технічний проект агрегату ПГУ-150 потужністю 150 МВт і ККД 50,5 %.

На базі двигуна НК-16СТ ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" розробило установку ПГУ-22.

Створювані підприємствами України і Росії парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (рис. 1.3) виконані за схемою *моноблока* (*а* і *б*) чи *дубль-блока* (*в*).

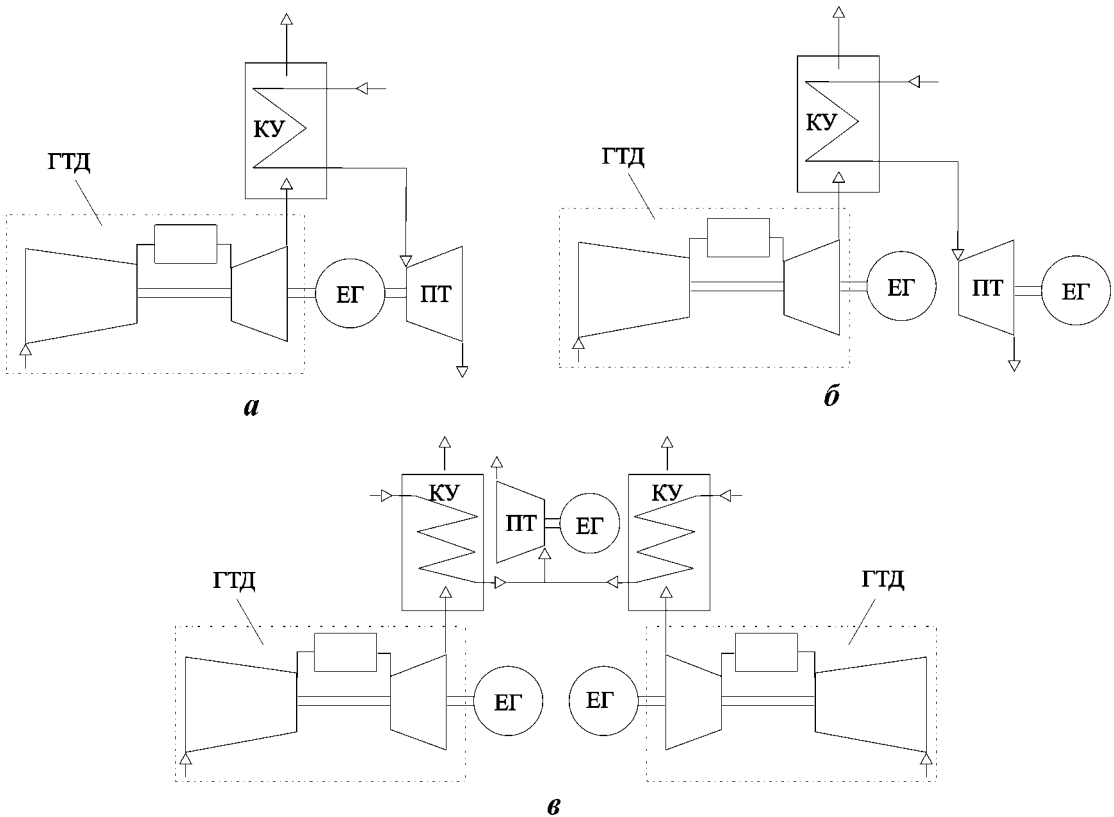


Рис. 1.3. Конструктивні схеми парогазових установок бінарного типу:

ПТ – парова турбіна; КУ – котел-утилізатор; ЕГ – електрогенератор

Моноблокову схему (один ГТД з паровим котлом-утилізатором та одна парова турбіна) мають агрегати ПГУ-170 ВАТ "НПО "Сатурн", ПГУ-270 ВАТ "Авиадвигатель", UGT 10000CC1, UGT 15000CC1, UGT 25000CC1 і UGT 110000CC1 НВКГ "Зоря"-Машпроект". У моноблоках ПГУ-170 і ПГУ-270 газотурбінний двигун та парова турбіна приводять в обертання той самий генератор струму (див. рис. 1.3,*а*), в установках НВКГ "Зоря"-Машпроект – два незалежних генератори (див. рис. 1.3,*б*).

За схемою дубль-блока (два ГТД та одна парова турбіна, що використовує пару від двох котлів-утилізаторів; кожен працює на свій генератор) виконані ПГУ-325 ВАР "НПО "Сатурн", ПГУ-450(Т) ВАР "ЛМЗ", ПГУ-540 ВАР "Авиадвигатель", ПГУ-150 ВАР "ТМЗ", UGT 10000CC2, UGT 15000CC2, UGT 25000CC2 і UGT 110000CC2 НВКГ "Зоря"- "Машпроект".

В усіх розглянутих проектах котли-утилізатори забезпечують одержання пари двох тисків. В агрегатах ПГУ-270 і ПГУ-540 додатково передбачається введення проміжного перегріву пари.

1.3.3. Когенераційні газотурбінні установки

Газотурбінні установки, що забезпечують спільне вироблення електричної і теплової (у котлі-утилізаторі у вигляді пари чи гарячої води) енергії, одержали назву *когенераційних*. Електрична потужність у таких установках визначається потужністю газотурбінного двигуна, а величина теплової потужності може змінюватися в широких межах при виборі схеми теплоутилізаційного контуру (парового чи водяного, спільного парового і водяного або контуру, оснащеного додатковою камерою згоряння та ін.).

Когенераційні установки мають високе значення коефіцієнта використання хімічної енергії палива ($KBP = 75...85\%$) і найбільш ефективні як електростанції для промислових підприємств та комунальних господарств, де є постійна потреба як в електричній, так і в тепловій енергії у вигляді гарячої води чи пари.

У даний час теплоенергетика України і Росії має ідеальні умови для застосування технологій когенерації. Протягом десятиліть створювалася розгалужена система котелень для централізованого теплозабезпечення і гарячого водопостачання в містах та великих населених пунктах, яка забезпечувала близько 85 % необхідної теплової енергії. З екологічних причин переважна більшість котелень муніципального теплопостачання працює на природному газі, завдяки чому частка газу у витраті палива на теплопостачання перевищує 75 %. Усього на опалення витрачається більше 20 % газу, споживаного економікою цих країн. Ще 60...70 % природного газу витрачається в промисловій теплоенергетиці, де також існує можливість застосування комбінованого виробництва електричної енергії і тепла, використовуваного далі в технологічних процесах.

Масове впровадження когенераційних технологій у теплоенергетиці забезпечить підвищення техніко-економічних показників устаткування, приведе до значної економії паливно-енергетичних ресурсів, зменшить шкідливий вплив на навколишнє середовище, дасть стимул до розвитку вітчизняного енергомашинобудування.

Практично всі фірми-виробники України і Росії в даний час поряд з розробкою стаціонарних газотурбінних агрегатів виконують проектування теплоутилізаційних контурів, які дозволяють створювати на базі даних ГТА когенераційні газотурбінні установки.

Література до розд. 1

1. Белоусенко И., Лезнов А., Перевертайло В. От энергетики газовой промышленности – в энергетику России // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 4. – С. 9–10.
2. Березинец П.А., Васильев М.К., Костин Ю.А. Анализ схем бинарных ПГУ на базе перспективной ГТУ // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 18–30.
3. Березинец П.А., Ольховский Г.Г. Техническое перевооружение газомазутных ТЭС с использованием газотурбинных и парогазовых технологий // Теплоэнергетика. – 2001. – № 6. – С. 11–20.
4. Будзуляк Б. ОАО "Газпром" – за газотурбинные технологии // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 4. – С. 21–23.
5. Гуров В. Перспективы применения турбодетандеров в системе газоснабжения // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 5. – С. 19–20.
6. Длугосельский В.И., Земцов А.С. Эффективность использования в теплофикации газотурбинных и парогазовых технологий // Теплоэнергетика. – 2000. – № 12. – С. 3–6.
7. Захаров И. Корабельные газотурбинные энергетические установки // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 1. – С. 17–20.
8. Земцов А.С. Основные направления при проектировании новых и реконструкции существующих электростанций с применением газотурбинных и парогазовых технологий // Теплоэнергетика. – 2000. – № 10. – С. 19–22.
9. Каталог газотурбинного оборудования 2002–2003 гг.: Приложение к журналу "Газотурбинные технологии". – Рыбинск: ОАО "Полиграфия", 2003.
10. Клименко В.Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине // Промышленная теплотехника. – 2001. – № 4–5. – С. 106–110.
11. Консов А. Некоторые аспекты применения газотурбинных технологий в России // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 1. – С. 18–20.
12. Левенберг В.Д., Патлайчук В.М. Конструктивна будова головних газотурбінних агрегатів: Навч. посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 1998.
13. Марчуков Е. Газотурбинные технологии – основа роста промышленного потенциала России // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 2. – С. 2–4.
14. Морев В. Совершенствование конверсионной газотурбинной техники и технологии ее использования в энергетике // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 5. – С. 5–6.
15. Ольховский Г.Г. Газотурбинные и парогазовые установки в России // Теплоэнергетика. – 1999. – № 1. – С. 2–9.
16. Перспективы применения газовых турбин в энергетике // Теплоэнергетика. – 1992. – № 9. – С. 2–9.
17. Принципы конвертирования газотурбинных двигателей авиационного и судового типа / О. Муравченко, А. Коваленко, Ю. Бухолдин, В. Парафейник // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 5. – С. 12–14.
18. Седых А., Шайхутдинов А., Лезнов А. Использование газотурбинного привода в газовой промышленности. Итоги и перспективы // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 4. – С. 4–5.

19. Слибин В., Солонин В., Дульнов А. Перспективы развития газотурбинных двигателей // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 2. – С. 21–22.
20. Состояние и перспективы развития парогазовых установок в энергетике России / О.Н. Фаворский, В.И. Длугосельский, Ю.К. Петреня, А.Д. Гольдштейн // Теплоэнергетика. – 2003. – № 2. – С. 9–15.
21. Состояние и проблемы использования ГТУ и ПГУ в российской энергетике // Теплоэнергетика. – 2002. – № 9. – С. 2–5.
22. Фаворский О. ГТУ – основа будущей энергетики России // Двигатель. – 1999. – № 6. – С. 26–29.
23. Фаворский О. Энергетика – решающий фактор экономики // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 6–8.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку газотурбобудування в Україні і Росії.
2. Назвіть основні галузі застосування газотурбінних двигунів.
3. Проаналізуйте номенклатуру і характеристики привідних газотурбінних агрегатів, що пропонуються українськими і російськими виробниками.
4. Наведіть номенклатуру і характеристики енергетичних газотурбінних агрегатів, що пропонуються українськими і російськими виробниками.
5. Дайте характеристику судновим і танковим агрегатам, виготовлюваним в Україні і Росії.
6. Охарактеризуйте конструктивні схеми агрегатів простого термодинамічного циклу, що випускаються підприємствами України і Росії.
7. Розкрийте особливості конструктивного виконання стаціонарних газотурбінних агрегатів авіаційного, суднового і промислового типів.
8. Дайте характеристику агрегатам з регенерацією тепла газів, виготовлюваним в Україні і Росії.
9. Проаналізуйте етапи розвитку і сучасний стан застосування парогазових технологій в енергетиці України і Росії.
10. Розкрийте специфіку застосування когенераційних установок у теплоенергетиці.



Розділ 2. ГАЗОТУРБІННІ АГРЕГАТИ ТА АГРЕГАТИ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ ВИРОБНИЦТВА ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ

У даний час найбільшим виробником привідних, енергетичних і суднових газотурбінних агрегатів України є миколаївське підприємство НВКГ "Зоря"- "Маш-проект". Для різного цільового призначення в діапазоні потужностей 2,5...110,0 МВт серійно випускаються ГТА простої теплової схеми: UGT 2500, UGT 3000, UGT 6000 (UGT 6000+), UGT 10000, UGT 15000 (UGT 15000+), UGT 16000, UGT 25000 і ГТД 110.

Підприємство має 30-літній стаж випуску газотурбінних агрегатів з утилізацією тепла газів. У даний час споживачу пропонується широкий потужнісний ряд когенераційних установок, енергетичних установок з упорскуванням пари в проточну частину ГТД, установок типу "Водолій" з регенерацією води, комбінованих газопаротурбінних установок потужністю 13,5...325,0 МВт.

З кінця 60-х років у народному господарстві використовуються двигуни авіаційного типу, розроблені ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя) і серійно вироблені ВАТ "Мотор Січ". Даними підприємствами випускаються газотурбінні приводи сімейства Д-336 потужністю 4; 6,3 і 8 МВт, двигуни АИ-336-1/2-10 (10 МВт) та АИ-20ДКЭ/ДМЭ (2,5 МВт), використовувані як приводи газоперекачувальних, газліфтних, нафтоперегінних агрегатів і блочно-транспортельних електростанцій.

Виробництвом і ремонтом двигуна ДР59Л потужністю 10 МВт, одного з найбільш розповсюджених у газотранспортних мережах України і Росії, займається криворізьке підприємство ВАТ "Констар". Перспективним вважається випуск привідного двигуна ДО49 для мобільних комплектно-блокових електростанцій потужністю 2,5 МВт. Енергозберігаючі установки з безкомпресорними турбінами (потужнісний ряд 2,5...6,0 МВт), розроблені ВАТ ІВП "Енергія", дозволяють утилізувати потенційну енергію природного газу.

ВАТ "Турбоатом" (м. Харків) виготовляє енергетичний агрегат ГТЭ-45-3М потужністю 58 МВт і розробляє агрегат ГТЭ-115М потужністю 136 МВт.

Монополістом з виробництва газоперекачувальних агрегатів для магістральних газопроводів на території України та одним з найбільших виробників у світі є ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе". Підприємством освоєне виробництво більше ніж 70 модифікацій агрегатів, які охоплюють широкий діапазон продуктивностей і тисків при потужності приводу 6,3; 8; 16 і 25 МВт.

Підприємство ВАТ "Турбогаз" (м. Харків) випускає газоперекачувальні агрегати, а також блокові електростанції, що використовують двигуни потужністю 1; 2,5 і 6 МВт.



2.1. НВКГ "Зоря"- "Машпроект"



Повне найменування: Державне підприємство "Науково-виробничий комплекс газотурбобудування "Зоря"- "Машпроект".

Адреса підприємства: 54018, Україна, м. Миколаїв, просп. Жовтневий, 42а.

Чисельність працюючих: 14500 чол. (2003 р.).

2.1.1. Відомості про підприємство

У липні 1946 р. Рада Міністрів СРСР прийняла постанову про будівництво в м. Миколаєві заводу з виробництва парових турбін для кораблів військово-морського флоту. У грудні 1947 р. затверджуються проектне завдання і генеральний план будівництва. У жовтні 1953 р. Південний турбінний завод (ПТЗ) частково вводиться в експлуатацію.

Однак подальший розвиток підприємства був пов'язаний не з паровими турбінами. На початку 50-х років газотурбінний двигун М1 потужністю 4000 к.с. (2,95 МВт) конструкції С.Д. Колосова (ДКБ-16, м. Казань), одержаний шляхом модернізації розробленого для авіації турбогвинтового двигуна ТРДВ, був застосований на торпедному катері проекту 183ТК у ролі форсажного*. Дворічна дослідна експлуатація катера показала доцільність використання газотурбінних двигунів для цієї мети. За рішенням Ради Міністрів СРСР 7 травня 1954 р. у м. Миколаєві на Південному турбінному заводі було створене Спеціальне конструкторське бюро газотурбінних установок (СКБ ГУ) для військово-морського флоту. Сам же завод був перепрофільований для їх дослідного і серійного випуску**. Головним конструктором заводу і начальником СКБ ГУ був затверджений Сергій Дмитрович Колосов.

У серпні 1954 р. перші 36 фахівців авіаційної промисловості переїхали з Казані до Миколаєва для роботи в новому конструкторському бюро.

Двигун М1 був виконаний однокаскадним з вільною силовою турбіною та кільцевою камерою згоряння, мав ресурс 100 год, ККД 15 %, питому витрату палива 0,56 кг/(кВт·год). Його експлуатація на флоті показала необхідність розробки спеціальних корабельних двигунів, що працювали б стійко й економічно від холостого ходу до максимального навантаження, були пристосовані до тривалої робо-

* Приводив в обертання один з чотирьох гребних гвинтів. Привод інших гвинтів здійснювався дизельними двигунами.

** Під виробництво газотурбінних агрегатів передбачалося перепрофілювати Казанський компресорний завод або один із двох споруджуваних заводів з виробництва корабельних парових турбін – у Калусі і Миколаєві. За пропозицією С.Д. Колосова був обраний Південний турбінний завод.

ти на дизельному паливі в морській атмосфері. Тому одночасно з виробництвом М1 проектується всережимний двигун ДА53 для агрегату М2 потужністю 15000 к.с. (11,05 МВт) і витратою палива 0,355 кг/(кВт·год) [12, 13]. Новий двигун мав двокаскадний компресор, трубчасто-кільцеву камеру згоряння, вільну силову турбіну, удосконалену паливну апаратуру та поліпшену теплоізоляцію. Застосування нових матеріалів збільшило ресурс двигуна до 1000 год.

Експлуатація агрегату М2 у ролі прискорювальної установки протичовнових кораблів проекту 159 почалася в 1960 р.

Для нових протичовнових кораблів з поліпшеними акустичними характеристиками були розроблені газотурбокомпресори Д2 (1960 р.) і Д3 (1964 р.) потужністю 18000 к.с. (13,25 МВт), що подавали повітря від окремо розташованих компресорів у гідромоторний пристрій. На відміну від агрегату М2 вони не мали вільної силової турбіни, а турбіна низького тиску крім компресора низького тиску приводила в обертання також автономний компресор.

Наступним кроком у розвитку корабельного газотурбобудування СРСР стало створення агрегату М3 (на основі двигуна ДО54). На відміну від попередніх конструкцій, які виконували функції прискорювальних у складі комбінованих дизель-газотурбінних установок, М3 повинен був стати головним агрегатом, що забезпечує рух корабля на режимах не тільки повного, але і маршового ходу. Двигун ДО54 одержали геометричним моделюванням двигуна ДА53 (коефіцієнт 1,11) на більшу потужність. Питома витрата палива склала 0,355 кг/(кВт·год), ресурс двигуна – 5000 год*.

Першим кораблем, оснащеним головною газотурбінною енергетичною установкою, став вартовий корабель проекту 61 "Комсомолец Украины" (1961 р.), на якому були встановлені два агрегати М3, що склалися з двох двигунів потужністю по 18000 к.с., які передавали цю потужність гребному гвинту через унікальний реверсивний редуктор. Останній не тільки підсумовував потужність двох ГТД, але й забезпечував реверс гвинта, а також підключення і відключення кожного двигуна за допомогою спеціальних кулачково-фрикційних та гідравлічних муфт. Необхідно відзначити, що у Великобританії перший корабель, обладнаний головною газотурбінною установкою (есмінець проекту 21 "Amazon"), вступив у дію тільки в 1974 р., у США (есмінець DD963 "Spruens") – у 1975 р.

У зв'язку з початком широкого застосування головних газотурбінних установок на кораблях у квітні 1961 р. конструкторське бюро було виділено зі складу заводу і на його основі була створена юридично самостійна організація – Союзне проектне бюро (СПБ) "Машпроект".

У 1965–1966 рр. почалася розробка двигунів та установок другого покоління з підвищеними економічністю (0,270...0,325 кг/(кВт·год)) і маневреністю, поліпшеними акустичними характеристиками, ресурсом не менше 10000 год.

* Усього на кораблі ВМФ було поставлено двигунів першого покоління: М1 – 34 одиниці, ДА53 – 106, двигунів для агрегатів Д2 і Д3 – 156, ДО54 – 54.

Для цієї мети в проєктованих двигунах передбачалися: підвищення початкової температури газу на 50...100 К; здійснення заходів щодо збільшення ККД турбін і компресорів, зниження втрат у камері згоряння та газовідводі; розробка і впровадження нових жароміцних матеріалів та покриттів; поліпшення системи запуску, впровадження стартерів змінного струму та ін.

Були створені високоекономічні корабельні агрегати, до складу яких входили незалежні маршові і форсажні двигуни різної потужності: М8 (ДО59) потужністю 18000 к.с., М60 (ДО61) потужністю 6000 к.с. (4,40 МВт), М62 (ДО63) потужністю 9000 к.с. (6,60 МВт) та ін. Редукторні передачі забезпечували кількісне регулювання потужності установки: роботу одного двигуна на два гребних гвинти і спільну роботу маршових та форсажних двигунів, що гарантувало високу економічність установки на будь-яких ходових режимах.

В агрегатах М5 і М7, які не мали аналогів у світовій практиці, уперше були впроваджені реверсивні силові турбіни, швидкодіючі шинно-пневматичні муфти, двошвидкісні редуктори і ряд інших технічних рішень.

Малі маса і габарити стали визначальним фактором при виборі типу енергетичної установки для нового класу кораблів військово-морського флоту – з динамічним принципом підтримання, який зароджувався в 60-х роках. Практично всі кораблі на повітряній подушці (КПП) і на підводних крилах (КПК), створені й побудовані для ВМФ СРСР з початку 70-х років, були оснащені газотурбінними агрегатами СПБ "Машпроект" – ПТЗ.

У 1969–1971 рр. для кораблів на повітряній подушці (проект 1232 "Джейран") був створений полегшений газотурбінний агрегат ДТ4, який складався з двох ГТД ДО75 потужністю 18000 к.с. кожен та унікальної редукторної передачі, що роздавала цю потужність на чотири вентилятори і чотири гвинти змінюваного кроку (ГЗК). При збереженні колишньої конструктивної схеми полегшення було досягнуто застосуванням алюмінієвих корпусів і титанових сплавів для роторів ГТД [8].

Для кораблів на підводних крилах у той же період був розроблений агрегат М10, який складався з двигуна ДО50 потужністю 16000 к.с. (11,75 МВт) і кутової редукторної передачі. У 1976 р. два таких агрегати було встановлено на ракетному КПК проекту 1240 "Ураган" і три – на малому протичовновому КПК проекту 1145 "Сокол". Агрегат М10Д (вже на основі двигуна ДД50 потужністю 20000 к.с. (14,70 МВт)) увійшов також до складу пропульсивних установок КПК проекту 11451 і скегових ударних кораблів проекту 1239 "Сивуч"*.

На початку 70-х років перед колективом підприємства була поставлена задача розробки і створення єдиного уніфікованого ряду газотурбінних двигунів для кораблів з динамічними принципами підтримання та водотоннажних кораблів. У технічному завданні на розробку двигунів третього покоління вказувалася

* Усього до 2000 р. на кораблі ВМФ поставлено двигунів другого покоління: ДО75 – 38 одиниць, ДО50 – 5, ДД50 – 8, ДО61 – 18, ДО63 – 68, різних модифікацій двигуна М8 – більше 330.

необхідність зменшення питомої витрати палива на 20...25 %, зниження маси в два-три рази, скорочення довжини ГТД. Для здійснення цього треба було істотно переглянути конструктивну схему двигунів, збільшити температуру газу перед турбіною на 200...250 К та одночасно міру підвищення тиску до 17...20.

У процесі створення двигунів було освоєне виготовлення литих (за виплавлюваними моделями) охолоджуваних лопаток зі сплавів ЧС-70 і ЧС-88, розроблених разом з Інститутом проблем лиття України та базовим інститутом Міністерства суднобудівної промисловості СРСР. Разом з Інститутом проблем зварювання України освоювалося застосування електронно-променевого покриття лопаток сплавом Co–Cr–Al–Y, що конструктивно забезпечило збільшення початкової температури газу і підвищення ресурсу двигуна до 20000 год.

Також була розроблена і впроваджена "вихрова" система охолодження лопаток, проведені широкі дослідження можливості застосування "гнучких" роторів та визначені критерії забезпечення їхньої працездатності з пружно-масляними опорами, розроблені способи розширення зони тривалої роботи компресорів.

У результаті були створені корабельні двигуни М70 (UGT 6000) потужністю 8000...10000 к.с. (5,90...7,35 МВт), М75 (UGT 3000) потужністю 4000 к.с. (2,95 МВт) і М90 (UGT 15000) потужністю 20000 к.с. (14,70 МВт), які мали ККД 30...36 % і знайшли широке застосування не тільки на флоті, але й у промисловості.

На базі цих двигунів були створені агрегати М15, М15А, М15Б, М15В, М21, М21А, М7Н, М16, М27 і М9Б для водотоннажних кораблів та агрегати МТ70, М34, М35 і М20А для кораблів з динамічними принципами підтримання (КПП проектів 1206 "Кальмар", 1238 "Касатка", 1209 "Омар", 12061 "Мурена" та 12322 "Зубр", КПК проекту 11451 "Сокол" і проекту 133). Усього до 2000 р. на кораблі ВМФ поставлено двигунів третього покоління: М70 – 325, М75 – 106, М90 – 6 одиниць.

На базі двигуна ДО37 (UGT 6000) був також створений агрегат М37 для комерційного судна на підводних крилах "Циклон".

У 70-х роках СПБ "Машпроект" приступає до розробки і створення газотурбінних агрегатів складних теплових схем – з утилізацією тепла газів, що відходять від двигуна. Перший з них (агрегат Т-1 "Пегас") був створений у 1971 р. на базі корабельного двигуна М8 і встановлений на допоміжному судні "Березина". Однак перша спроба застосування теплоутилізаційних контурів виявилася невдалою. Через складність обслуговування і громіздкість допоміжних систем ТУК на судні практично не використовувався. При потужності парової турбіни 3,7 МВт котел-утилізатор, виконаний за традиційною гладкотрубною схемою, мав масу близько 140 т і висоту 5,5 м.

Кращі масогабаритні й експлуатаційні характеристики мав агрегат М25, теплоутилізаційний контур якого базувався на спеціально розробленому малогабаритному утилізаційному котлі КУП 3100 із примусовою циркуляцією змійовикового типу, виконаному з трубок із приварним спіральним оребрінням. Агрегат установлювався в 1979–1987 рр. на серії контейнеровозів проекту 1609 "Капитан

Смирнов". При загальній потужності агрегату 18,4 МВт в паровій турбіні було отримано 4,3 МВт шляхом утилізації тепла. Питома витрата палива при цьому була знижена на 25 % (до 0,238 кг/(кВт·год)).

Для можливості використання в даних агрегатах дешевих сортів важкого палива колективом СПБ "Машпроект" була розроблена комплексна антиванадієва й антинатрієва присадка НИМБ-2.

Черговим етапом у розвитку корабельних енергетичних установок стало створення агрегату М21 для ракетних крейсерів проекту 1164 "Слава". Маршовий двигун М70 цього агрегату був також обладнаний теплоутилізаційним контуром. Агрегат М21 успішно експлуатується на декількох крейсерах, забезпечуючи високу економічність на малих ходах. Використання ТУК поряд зі зниженням питомої витрати палива забезпечило підвищення потужності на 25 % і значне збільшення ресурсу маршового двигуна на режимах оперативно-економічного ходу.

Досягнуті економічність, надійність і ресурс роботи дозволили в 70-х роках почати застосування двигунів, виготовлюваних підприємствами СПБ "Машпроект" і Південний турбінний завод, для промислового вироблення електричної енергії.

У 1970 р. в селищі Черському (гирло ріки Колима) була введена в експлуатацію перша із серії плавучих електростанцій "Северное сияние". Енергетична установка складалася з двох двигунів ГТД-1 потужністю по 10 МВт кожен (створені з двигунів ДО54 корабельного агрегату МЗА), на газовихлопі яких стояли два утилізаційних парогенератори, що виробляли пару для теплофікаційних потреб. З 1973 р. на цих електростанціях стали встановлювати газотурбогенератори потужністю по 12 МВт (двигуни ДО14, отримані з корабельного двигуна ДО59*), що мали ККД 27 %. Усього було побудовано шість плавучих електростанцій, дві з яких працювали на природному газі.

З 1974 р. почалося використання газотурбогенераторів ГТЭ-4 потужністю 4 МВт (двигуни ДО12) у складі енергопоїздів типу "Маяк". Установлення газотурбінного агрегату з ККД 26 % замість використовуваних у той час паротурбінних агрегатів чехо-словацького виробництва, які мали ККД 16 %, дозволило зменшити загальне число вагонів поїзда з дев'яти до трьох. При цьому чисельність обслуговуючого персоналу зменшилася з 65 до 26 чел. Усього було побудовано 22 газотурбінні енергопоїзди, вісім з яких використовувалися на будівництві Байкало-Амурської магістралі.

Газотурбогенераторами потужністю 4 і 12 МВт (на основі двигунів другого покоління) у 70-х – на початку 90-х років оснащувалися крім енергетичних поїздів також і стаціонарні електростанції в Казахстані (Байконур), Туркменії (Небіт-Даг), Якутії (Кулар, Мирний), Хабаровському краї (Радянська Гавань), Тюменській області (Уренгой, Ямбург) та в інших регіонах Радянського Союзу. З 1985 р. для приводу електрогенераторів починають використовуватися двигуни третього покоління UGT 15000 і UGT 6000.

* Модифікація двигуна М8.

Накопичений досвід створення корабельних та енергетичних газотурбінних агрегатів став підставою для прийняття в грудні 1975 р. Радою Міністрів СРСР рішення про застосування двигунів, що розроблювалися СПБ "Машпроект" і серійно випускалися Південним турбінним заводом, на компресорних станціях лінійних газопроводів. Для забезпечення цього на підприємствах було істотно оновлене устаткування, побудовано кілька нових виробничих корпусів і дослідницьких стендів. Було також прийняте рішення про створення Виробничого об'єднання (ВО) "Заря", до складу якого увійшли Південний турбінний завод (головне підприємство) і споруджуваний у Кривому Розі турбінний завод "Восход". У Кривому Розі також була створена філія СПБ "Машпроект" – Конструкторське бюро "Енергия"*.

У 1978 р. перші газоперекачувальні агрегати ГПА-10 із двигуном ДР59Л (промислова версія корабельного двигуна ДЕ59Л) потужністю 10 МВт і ККД 28 % були введені в експлуатацію на компресорній станції в м. Торжок (Росія). Усього для компресорних станцій було випущено понад 500 таких двигунів. Напрацювання деяких з них без капітального ремонту перевищило 70 тис. год.

З 1991 р. широко використовується в газовій промисловості двигун ДЖ59Л потужністю 16 МВт і ККД 30 %, який входить до складу газоперекачувальних агрегатів ГПУ-16. Усього було виготовлено більше ніж 150 цих двигунів. Напрацювання двигунів ДЖ59Л без капітального ремонту досягло 35 тис. год.

З 90-х років для транспорту газу використовуються двигуни третього покоління UGT 6000 (у серійному агрегаті ГПА-Ц-6,3С) і UGT 15000 (агрегати ГПА-Ц-16С, ГПА-16С "Урал", ГПУ-16А).

У листопаді 1988 р. СПБ "Машпроект", що на той час перетворилося у великий дослідно-конструкторський і науково-дослідний комплекс з чисельністю працівників більше 4000 чол., який здійснював повний цикл робіт із проектування, виготовлення, випробувань, збирання і постачання газотурбінної техніки для промисловості та флоту, було перетворено в Науково-виробниче об'єднання (НВО) "Машпроект", до складу якого увійшло і КБ "Енергия" з дослідним виробництвом.

Наприкінці 80-х років почалися роботи зі створення двигунів четвертого покоління, фінансування яких з державного бюджету після розпаду Радянського Союзу припинилося. В обстановці загальної кризи економіки колективу НВО "Машпроект" (перетвореного згодом у науково-виробниче підприємство) вдалося не тільки зберегти свій науково-технічний потенціал, але і створити ряд нових двигунів потужністю 25 (UGT 25000)**, 10 (UGT 10000) та 2,5 МВт (UGT 2500). На

* Криворізький турбінний завод входив до складу об'єднання до 1992 р., коли в зв'язку з перебудовою промисловості України був виділений у самостійне підприємство. У тому ж році КБ "Енергия" було перетворено в Дослідний завод "Енергия". З 1981 по 1991 р. до складу ВО "Заря" входив також споруджуваний Мцхетський турбінний завод "Чайка" (с. Дзегві, Грузія). Розглядалася можливість будівництва філії об'єднання на Далекому Сході.

** Найбільш потужний та економічний з уніфікованого ряду двигунів, призначених для корабельного і промислового використання.

основі двигунів третього покоління UGT 15000 і UGT 6000 отримані двигуни потужністю 20 (UGT 15000+) та 8,3 МВт (UGT 6000+).

На замовлення ПАТ "Единые энергетические системы России" в результаті виробничої кооперації з російською компанією ВАТ "НПО "Сатурн" створений унікальний двигун ГТД 110 потужністю 110 МВт і ККД 36 %, що знаходиться в даний час у дослідній експлуатації на Іванівській ДРЕС (Росія). Продовжується розробка двигуна ГТД 60 потужністю 60 МВт, виконаного за тією ж конструктивною схемою.

З 1991 р. ведуться роботи зі створення унікальних парогазових установок з утилізацією тепла газів, енергетичним упорскуванням отриманої пари в проточну частину двигуна і регенерацією води з парогазового потоку на виході (проект "Водолій"). На основі двигунів UGT 15000 і UGT 10000 створені установки потужністю 25 та 16 МВт, що мають ККД 42...43 %. Установкою потужністю 16 МВт був оснащений газоперекачувальний агрегат ГПА-16К, установлений на компресорній станції "Ставищенська" (Черкаська обл., Україна).

У листопаді 2001 р. рішенням Міністерства промислової політики України Виробниче об'єднання "Зоря" і Науково-виробниче підприємство "Машпроект" ім. С.Д. Колосова були реорганізовані в єдине підприємство "Науково-виробничий комплекс газотурбобудування "Зоря"- "Машпроект".

З 1954 р. комплексом підприємств "Зоря"- "Машпроект" було поставлено більше ніж 1500 корабельних газотурбінних двигунів, що експлуатуються у складі військово-морських флотів 19 країн світу: Росії, України, Німеччини, США, Греції та ін. Їхня загальна потужність перевищує 12500 МВт, а сумарне напрацювання становить більше 2,5 млн год. Розроблено близько 70 типів газотурбінних агрегатів для водотоннажних кораблів, кораблів на повітряній подушці і підводних крилах – від простих прискорювальних до головних усережимних.

Газотурбогенератори НВКГ "Зоря"- "Машпроект" загальною потужністю 1760 МВт відпрацювали більше 3,2 млн год на енергопоїздах, плавучих і стаціонарних електростанціях Азербайджану, Білорусії, Казахстану, Росії, Туркменії, України, Чехії та Канади.

Для забезпечення транспортування природного газу із Сибіру в Європу на 11 магістральних газопроводів поставлено з 1978 р. понад 700 газоперекачувальних агрегатів загальною потужністю 84000 МВт, що відпрацювали 16 млн год.

2.1.2. Продукція підприємства

У даний час НВКГ "Зоря"- "Машпроект" для потреб промисловості і військово-морського флоту серійно випускає газотурбінні агрегати, виконані за простою тепловою схемою, у діапазоні потужностей 2,5...110,0 МВт [9, 26].

Ці агрегати задовольняють усі вимоги, що ставляться до енергоприводів. Вони забезпечують: автоматичний запуск протягом 1,5...3,0 хв; швидкий (5...10 хв) набір потужності від холостого ходу до номінального режиму; відсутність обмежень

роботи у всьому діапазоні частот обертання; швидкий ремонт головних елементів (вузлів) чи їхню блокову заміну; широкий діапазон варіантів застосування газотурбінного приводу, що дозволяє використовувати нові типи двигунів для оптимізації діючого устаткування з турбінним чи іншим типом приводу.

З початку 70-х років підприємство займається створенням газотурбінних агрегатів з утилізацією тепла газів. У даний час розроблений і пропонується споживачу широкий потужнісний ряд когенераційних установок, енергетичних установок з упорскуванням пари в проточну частину ГТД (варіант STIG), установок типу "Водолій" з регенерацією води, комбінованих газопаротурбінних установок потужністю 13,5...325,0 МВт і ККД 45,3...52,0 %.

Ще одним напрямком робіт НВКГ "Зоря"- "Машпроект" у даний час є розробка енергоутилізаційних комплексів і детандер-генераторних установок для виробництва електроенергії шляхом дроселювання природного газу високого тиску на газорозподільних станціях у розширювальних турбінах.

Підприємство також має у своєму розпорядженні виробничі потужності для випуску різноманітних редукторів і мультиплікаторів на базі сучасного устаткування, яке гарантує світові стандарти точності*.

Філії сервісного центру НВКГ "Зоря"- "Машпроект", який займається ремонтом та обслуговуванням устаткування, розташовані у всіх стратегічно важливих точках світу: у Миколаєві (головний центр технічної допомоги) – обслуговування країн Чорноморського і Середземноморського регіонів; у Санкт-Петербурзі, Калінінграді і Североморську – для країн Півночі і Заходу Європи; у Тюмені – для країн Близького Сходу і районів Сибіру; у Бомбеї і Вісахатпатнамі – для країн Південно-Східної Азії; у Владивостоці – для районів і країн Далекого Сходу.

2.1.2.1. Газотурбінні агрегати простої схеми. У даний час НВКГ "Зоря"- "Машпроект" виробляє корабельні, енергетичні та привідні газотурбінні агрегати простої схеми, виконані на основі двигунів другого-четвертого поколінь: UGT 2500, UGT 3200, UGT 3000, UGT 6000 (UGT 6000+), UGT 10000, UGT 15000 (UGT 15000+), UGT 16000, UGT 25000 і ГТД 110.

Двигуни другого-третього поколінь створювалися в першу чергу для застосування на кораблях ВМФ, що і визначило їх характерну конструктивну схему. Ці двигуни були виконані двокаскадними з вільною силовою турбіною (рис. 2.1.1 та 2.1.2).

Компресор низького тиску (КНТ) приводився в обертання турбіною низького тиску (ТНТ), компресор високого тиску (КВТ) – турбіною високого тиску (ТВТ). Вал, що з'єднував турбіну і компресор високого тиску, проходив усередині порожнього вала турбокомпресора низького тиску (так звана компонувальна схема "вал у валу", характерна для авіаційних ГТД). Турбокомпресори високого і низького тисків не були механічно зв'язані між собою, мали власні опори та різні частоти

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційних сайтах підприємства – www.mashproekt.nikolaev.ua та www.zorya.com.ua.

обертання. Потужність, вироблена вільною від компресора силовою турбіною, передавалася споживачу.

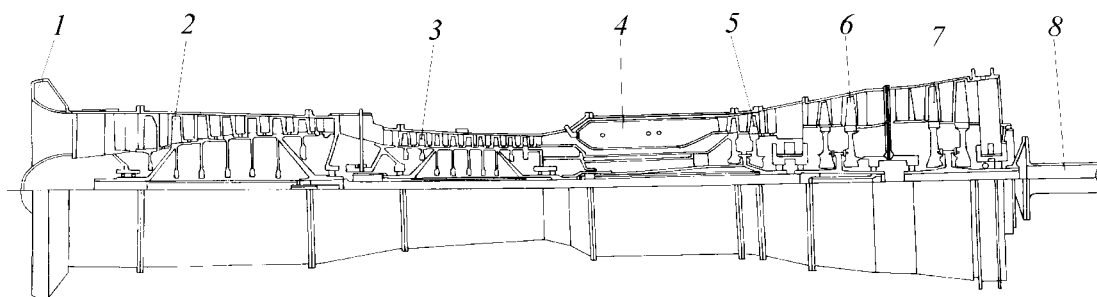


Рис. 2.1.1. Конструктивна схема газотурбінного двигуна другого покоління:
1 – вхідний пристрій; 2 – КНТ; 3 – КВТ; 4 – КЗ; 5 – ТВТ; 6 – ТНТ; 7 – СТ;
8 – ресора

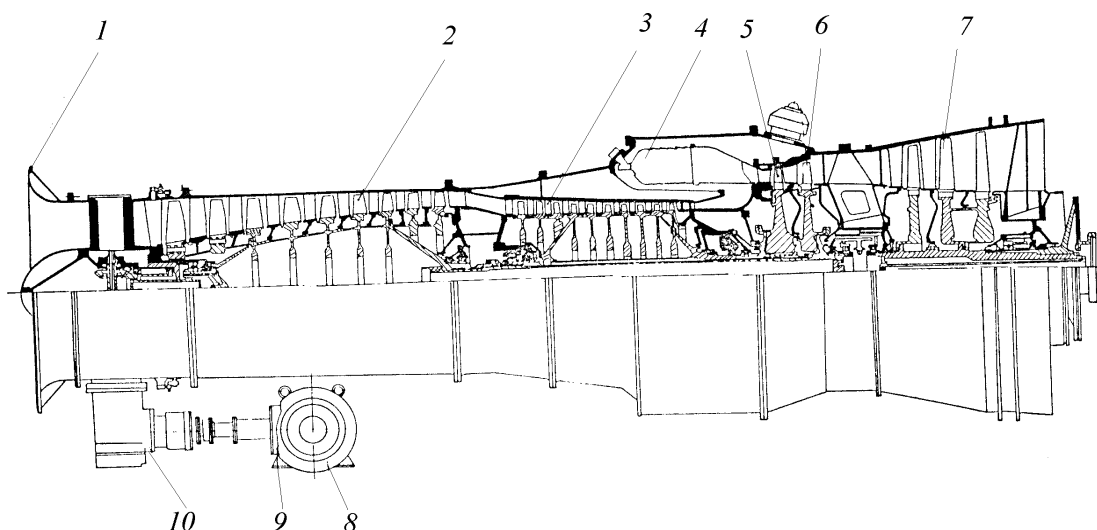


Рис. 2.1.2. Конструктивна схема двигуна третього покоління (на прикладі UGT 15000):
1 – вхідний пристрій; 2 – КНТ; 3 – КВТ; 4 – КЗ; 5 – ТВТ; 6 – ТНТ; 7 – СТ; 8 – електростартер;
9, 10 – виносна і нижня коробки приводів відповідно

Дана компоновальна схема, хоча і є конструктивно складнішою, має ряд істотних переваг при частій роботі на режимах неповного навантаження, що характерно для корабельних і в цілому для транспортних ГТД.

Турбінна частина двигунів другого покоління (див. рис. 2.1.1) складалася з двоступінчастих ТВТ і ТНТ та дво- або тріступінчастої силової турбіни. Ротор турбокомпресора високого тиску виконувався трьохпорним*. З двигунів другого покоління в даний час випускається тільки UGT 16000.

* Спирався на передню і задню опори КВТ, а також на задню опору ТВТ.

Одним з головних конструктивних рішень при створенні двигунів третього покоління було виключення третьої опори ротора високого тиску (див. рис. 2.1.2), яка працювала в зоні високих температур і не мала достатньої надійності. Для цього застосували протитокову камеру згоряння, розташували її над КВТ. Скорочення відстані між КВТ і ТВТ дозволило розташувати ТВТ консольно на задній цапфі ротора КВТ і виконати її одноступінчастою. Крім того, одноступінчастою була виконана ТНТ. Відповідно зросли навантаження на ступені ТВТ і ТНТ*. З конструкції був також виключений ненадійний міжвальний підшипник, що з'єднував турбіну і КНТ. Ці конструктивні зміни дозволили значно скоротити довжину двигуна і підвищити його надійність.

З двигунів третього покоління в даний час випускаються UGT 6000, UGT 3000 і UGT 15000.

Двигуни з вільною силовою турбіною крім переваг при роботі на часткових режимах володіють ще і більшими можливостями багатоцільового використання. Останнє вважається немаловажним, тому що транспортні ГТД випускаються по рівняно невеликими серіями і багатоцільове використання дозволяє значно розширити та здешевити виробництво**. Тому більшість двигунів четвертого покоління, які випускаються НВКГ "Зоря"- "Машпроект", хоча і розроблялися переважно для потреб промисловості, зберегли традиційну компоновальну схему. Двигуни ж UGT 2500, ГТД 110 та розроблюваний двигун потужністю 60 МВт виконані за більш прийнятною для енергетичних ГТД одновальною схемою.

Вироблені НВКГ "Зоря"- "Машпроект" корабельні газотурбінні двигуни можуть бути обладнані реверсивною чи неревверсивною силовою турбіною. Газовий реверс, уперше застосований наприкінці 60-х років на двигунах другого покоління, дотепер є унікальним і не має аналогів у світовій практиці***. У реверсивних ГТД (рис. 2.1.3) силова турбіна виконується двоконтурною. На передньому ходу робоче тіло йде через внутрішній контур подібно руху в неревверсивній турбіні. Для переходу на задній хід доступ газу в контур переднього ходу перекривається поворотними напрямними лопатками й одночасно відкриваються вікна проходу в зовнішній контур, де соплові і робочі лопатки мають зворотне профілювання.

Газовий реверс дає найбільші маневрені можливості кораблю. Тут немає обмежень щодо тепла реверсування, як у реверсивних редукторах із фрикційними гідравлічними муфтами. Однак ККД таких двигунів при роботі на передній хід менший, ніж неревверсивних, на 1,5...2,0 % через вентиляційні втрати в контурі заднього ходу.

* Колова швидкість робочих лопаток ТВТ досягла 450 м/с.

** З усього ГТД змінюється лише силова турбіна, яка модифікується відповідно до вимог нового споживача. Газогенератор залишається при цьому незмінним.

*** Хоча американська компанія "General Electric" протягом тривалого періоду часу також розробляла подібну конструкцію.

Для корабельного застосування НВКГ "Зоря"-Машпроект" у даний час пропонує газотурбінні агрегати М5, М15, М21, М35, М44 і М73.

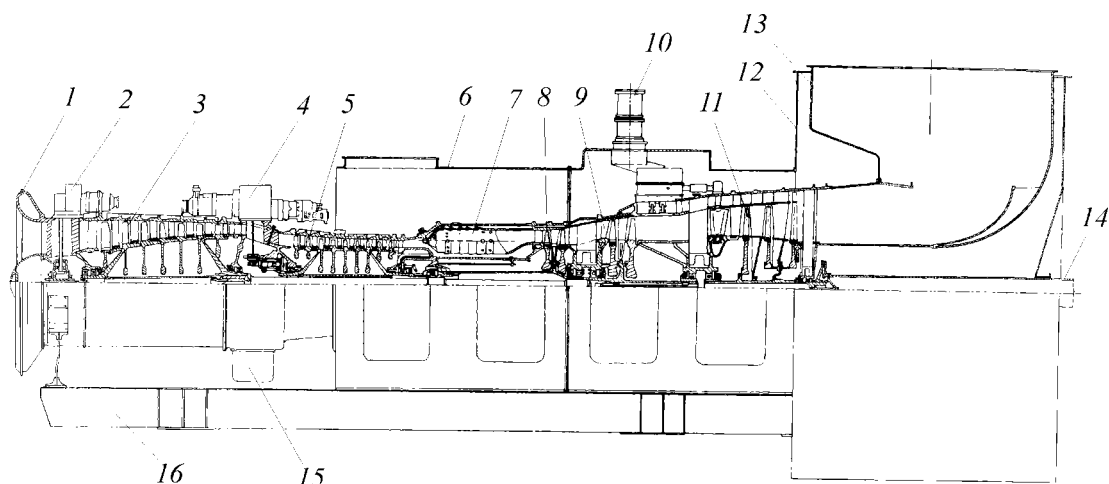


Рис. 2.1.3. Схема реверсивного двигуна другого покоління:

1 – вхідний пристрій; 2, 4 – передня і задня коробки приводів відповідно; 3 – КНТ; 5 – КВТ; 6 – кожух двигуна; 7 – КЗ; 8 – ТВТ; 9 – ТНТ; 10 – циліндр реверса; 11 – силова турбіна (турбіна гвинта); 12 – кожух газівідводу; 13 – газівідвід; 14 – ресора; 15 – маслоагрегат; 16 – рама двигуна

Агрегат М5 (рис. 2.1.4) призначений для приводу водотоннажних кораблів, наприклад крейсерів типу "Беркут" водотоннажністю 7500 т, маршовою швидкістю 19,5 і повною швидкістю ходу 32,5 вуз. Він складається з одного маршового (UGT 6000) і двох форсажних (UGT 16000) двигунів. На корабель установлюються два таких агрегати.

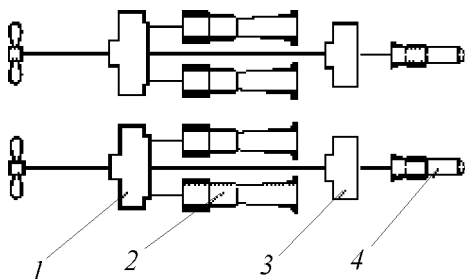


Рис. 2.1.4. Схема корабельної установки, що складається з двох агрегатів М5:

1, 2 – редуктор і двигун повного ходу відповідно; 3, 4 – маршові редуктор і двигун відповідно

Агрегатом М21 (рис. 2.1.5) оснащуються ракетні крейсери типу "Слава". До його складу входять: один маршовий двигун (UGT 6000); парова турбіна, що працює на маршовому ході за рахунок пари, одержуваної в котлі-утилізаторі; два форсажних двигуни (UGT 16000).

Агрегат М35 (рис. 2.1.6) встановлюється на КПП типу "Зубр" [1], що поставляються в даний час військово-морським силам Греції. Кожен корабель оснащується-

ся двома нагнітальними (М35-1) і трьома тяговими (М35-2) агрегатами, заснованими на UGT 6000.

Рис. 2.1.5. Схема корабельної установки, що складається з двох агрегатів М21:

1, 2 – редуктор і двигун повного ходу відповідно;
3, 4 – маршові редуктор і двигун відповідно; 5 – парова турбіна

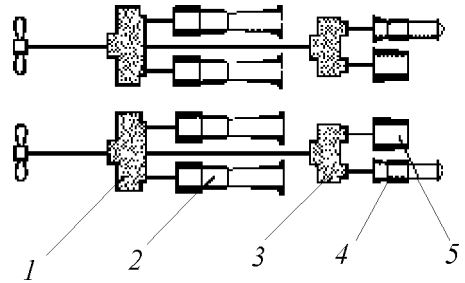
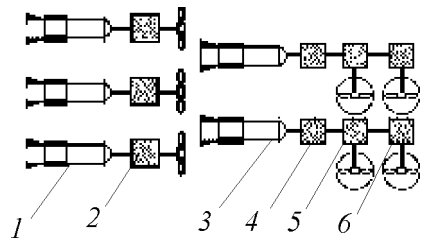


Рис. 2.1.6. Схема енергетичної установки КПП "Зубр":

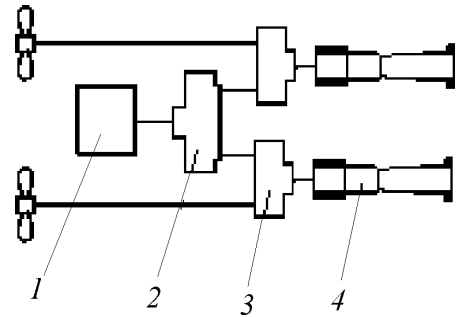
1, 3 – тяговий і нагнітальний двигуни; 2 – редуктор повітряного гвинта; 4 – проміжний редуктор;
5, 6 – редуктори відповідно кормового і носового нагнітачів



Два двигуни UGT 15000 входять до складу комбінованого дизель-газотурбінного агрегату М44 (рис. 2.1.7).

Рис. 2.1.7. Схема корабельного агрегату М44:

1, 4 – дизельний і газотурбінний двигуни; 2 – редукторна передача; 3 – редуктор



На основі двигунів простої схеми розроблений ряд газотурбогенераторів потужністю 2,5...110,0 МВт. Вони можуть розміщатися в капітальних спорудженнях, на залізничних і морських платформах, а також на відкритих площадках у блочно-контейнерному виконанні (наприклад, як на Яблунівському газопереробному заводі під Полтавою) [26].

Для останнього випадку підприємством розроблено два типи блокового тепло-звукоізолюючого укриття (рис. 2.1.8).

Ряд герметичних дверей забезпечує доступ до допоміжного устаткування. Для підтримання всередині необхідної температури передбачена система примусової вентиляції. Внутрішні стіни укриття використовуються для розміщення ряду елементів електроустаткування. З метою забезпечення необхідного рівня шуму всі вентиляційні канали оснащені елементами шумоглушіння.

Повітря підводиться до газотурбінного двигуна через повітрязабірний пристрій, який також здійснює його очищення, підігрів при низьких температурах і шумоглушіння тракту забору. Зазначені заходи дозволяють знизити рівень шуму до 85 дБ на відстані 1 м від укриття.

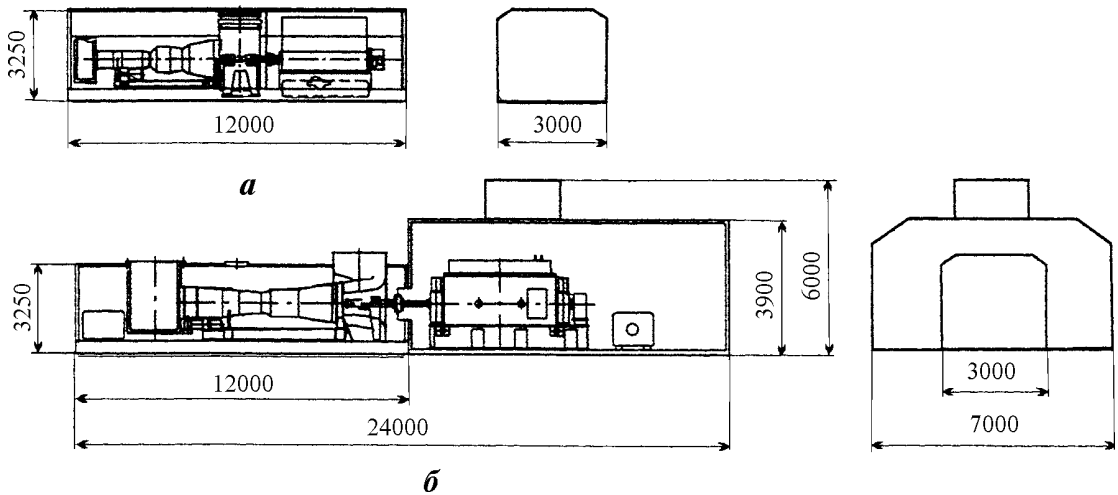


Рис. 2.1.8. Габаритні розміри блокових укриттів турбогенераторів

Для зниження тепловиділень усередину контейнера газівідвід покритий теплоізоляцією. Усередині укриття також розміщуються елементи масляної системи двигуна і генератора. Маслобак розташований на рамі ГТД, а охолоджувачі масла або всередині укриття (при використанні водяного охолодження), або в спеціальному окремому блоці (при повітряному охолодженні). Агрегати паливної системи, які необхідно обслуговувати в процесі роботи, знаходяться в окремій секції, що забезпечує доступ до них ззовні.

До складу устаткування, що поставляється, також входить електроустаткування для власних потреб двигуна і генератора. З метою підвищення готовності енергоблока до експлуатації воно надходить у модульному виконанні і розміщується частково в основному укритті контейнера, частково – у блоці електротехнічного устаткування.

Контейнер оснащений приладами керування, що дозволяють дистанційно здійснювати контроль усіх експлуатаційних параметрів газотурбогенератора.

Перший тип контейнерного виконання (див. рис. 2.1.8,а) застосовується для двигунів UGT 2500, UGT 3000, UGT 6000 і UGT 6000+, другий (див. рис. 2.1.8,б) – для двигунів UGT 10000, UGT 16000, UGT 15000, UGT 15000+ і UGT 25000.

Двигуни поставляються із силовою турбіною, яка має частоту обертання 3000 чи 3600 об/хв, що забезпечує безпосереднє стикування ГТД з генератором.

Пріоритетним напрямком виробничої діяльності НВКГ "Зоря"- "Машпроект" в даний час є випуск газотурбінних агрегатів простої схеми для компресорних

станцій магістральних газопроводів. Даними агрегатами оснащуються як нові, так і модернізовані станції. Підприємством розроблено більше ніж 30 проектів модернізації газоперекачувальних агрегатів, які забезпечать досягнення сучасного технічного рівня.

Широко використовуються газотурбінні агрегати простої схеми також для приводу різного технологічного устаткування.

Нижче наводимо характеристики і конструктивні особливості газотурбінних двигунів, що випускаються підприємством.

Двигун UGT 2500

Газотурбінний двигун UGT 2500 (ДО49)* із вбудованим редуктором є високо-ефективним приводом генератора, який дозволяє забезпечувати підтримання з високою точністю частоти електричного струму.

Порівняно з аналогами UGT 2500 (рис. 2.1.9 та 1Д**) відрізняють такі переваги: економічність; висока ремонтоздатність (заміна жарових труб на місці експлуатації провадиться протягом 1,5 год); оновальна схема, яка задовольняє вимоги якості вироблюваної енергії й забезпечує гарну динаміку на перехідних режимах; єдина система маслозабезпечення двигуна, редуктора і генератора; можливість роботи на різних видах палива (природний, попутний нафтовий і піролізний газ, дизельне паливо, біопаливо).



Рис. 2.1.9. Газотурбінний двигун UGT 2500

* У дужках наведено заводське позначення агрегату.

** Рисунки, позначені цифрою і літерою "Д", наведено в додатку.

Він може використовуватися: для забезпечення електричною енергією промислових і сільськогосподарських підприємств, житлових селищ та районів, а також різних об'єктів народного господарства у віддалених і важкодоступних регіонах, гірській місцевості чи на знов освоєваних родовищах нафти і газу, для енергопостачання регіонів при надзвичайних ситуаціях, на промислових об'єктах, як резервне джерело енергії в піковому й аварійному режимах.

Газотурбінний двигун UGT 2500 у даний час експлуатується у складі газотурбінних електростанцій України (Харківська обл.), Чехії (міста Брно й Оломоуц), Канади (м. Торонто), освоєється його випуск ВАТ "Констар" (м. Кривий Ріг), також він випускається за ліцензією російською компанією ВАТ "НПО "Сатурн".

Експлуатаційні характеристики UGT 2500 наведені на рис. 2.1.10.

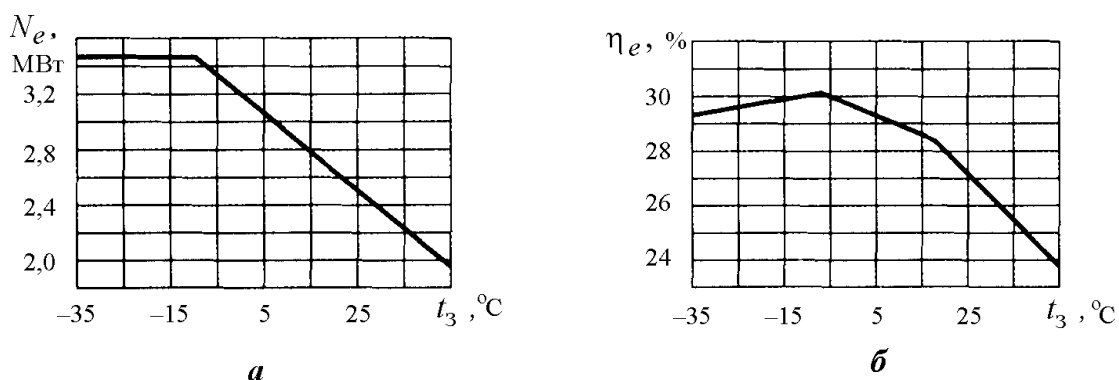


Рис. 2.1.10. Залежність потужності (а) та ККД (б) UGT 2500 від температури повітря на вході

Основні технічні характеристики UGT 2500 (в умовах ISO 2314) подані нижче:

Номінальна потужність	2,85 МВт
ККД	28,5 %
Витрата повітря	14,9 кг/с
Міра підвищення тиску	12
Температура газу:	
перед турбіною	1224 К
за ГТД	713 К
Частота обертання:	
ротора ГТД	14000 об/хв
вихідного вала редуктора	1000/1500/1800/3000/3600 об/хв
Габарити	3,0×1,2×2,0 м
Маса	1,5 т
Ресурс:	
до капітального ремонту	25000 год
призначений	100000 год

Конструктивні особливості

Двигун UGT 2500 виконаний однокаскадним із блокованою силовою турбіною (рис. 2.1.11). Крутний момент від ротора через зубчасту муфту передається вбудованому редуктору, а від редуктора – генератору.

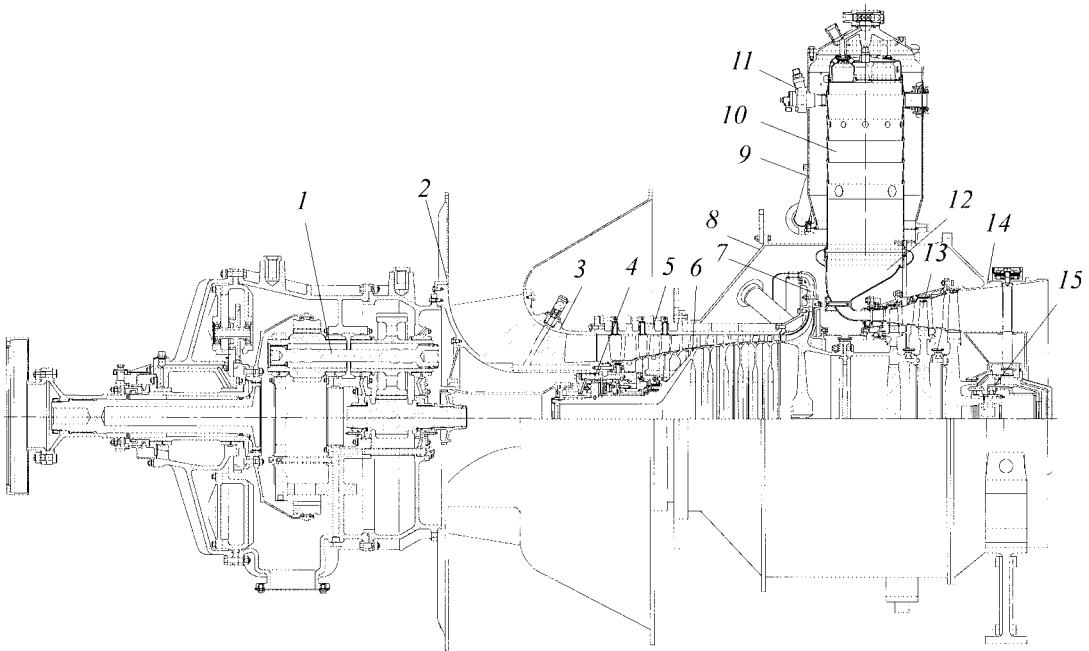


Рис. 2.1.11. Конструктивна схема UGT 2500

Компресор комбінований, осевідцентровий (дев'ять осевих та один відцентровий ступінь), складається із вхідного пристрою 2, переднього корпусу 3, корпусу компресора 5, ротора 6, дифузора 7 і силового корпусу 8.

Кільцевий канал, утворений лівою і правою стінками вхідного пристрою, є початком проточної частини двигуна. На стінках приварені ребра жорсткості, штуцер добору повітря в систему керування, штуцери зняття статичного тиску і виміру температури повітря на вході.

У корпусі 3 гвинтами закріплений корпус підшипників передньої опори 4, у якому встановлені упорний та опорний підшипники ковзання. Упорний підшипник взаємодіє з п'ятою ротора фасонними поверхнями, наплавленими бронзою.

Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших двох ступенів компресора виконані поворотними.

Ротор компресора складається із поєднаних між собою восьми дисків, цапфи, крильчатки, п'яти і муфти. Ободи дисків 1–3-го і 5–9-го ступенів послідовно з'єднані між собою та з крильчаткою за допомогою зварювання. Диски 1–3-го ступенів ротора 6 напесовані на цапфу. Маточина диска 2-го ступеня, що має вигляд фланця,

обтискається по фланцю цапфи гайками на шпильках. Робочі лопатки кріпляться до ротора з'єднанням типу "ластівчин хвіст".

На роторі компресора зафіксована шпонкою п'ята упорного підшипника. Муфта, що призначена для передачі крутного моменту через ресору вбудованому редуктору 1, встановлена на шліцах і закріплена гайкою.

Дифузор 7 призначений для зменшення швидкості потоку повітря і збільшення статичного тиску. Силовий корпус 8 з'єднує корпус компресора з опорним вінцем турбіни й утворює повітряну порожнину в компресорі. На силовому корпусі розміщені камера згоряння і прилади для обслуговування двигуна на випробуваннях та в експлуатації, а також встановлена труба добору повітря для станційних потреб і системи протиобledenня.

Камера згоряння (рис. 2.1.12, див. рис. 2.1.11) індивідуальна, двотрубна, протитокова, складається з двох кожухів 9, закріплених на силовому корпусі, двох жарових труб 10, двох форсунок, двох запалювачів 11, газозбірника 12 та колектора палива.

Усі деталі жарових труб виготовлені з жаростійкого матеріалу і з'єднані між собою аргонодуговим зварюванням. Внутрішня і зовнішня поверхні жарових труб покриті жаростійкою емаллю, що захищає метал від міжкристалітної газової корозії.

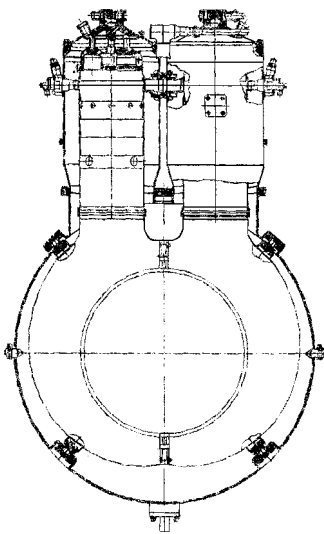


Рис. 2.1.12. Камера згоряння
UGT 2500

Запалювачі 11 встановлені на кожухах камери згоряння і поєднані патрубками з жаровими трубами. Жарові труби з'єднані з газозбірником телескопічно за допомогою кільця.

Турбіна двигуна осьова, триступінчаста, складається з трьох соплових апаратів, ротора 13, корпусу 14 та опорного вінця 15.

Корпус турбіни складається з корпусів соплового апарата 1-го ступеня, соплових апаратів 2–3-го ступенів та опорного вінця, поєднаних між собою болтовими з'єднаннями.

Шість стояків опорного вінця зовнішніми кінцями з'єднуються з зовнішнім корпусом через компенсатор, який призначений для компенсації теплових розширень стояків у радіальному напрямку.

Ротор турбіни поєднується з ротором компресора за допомогою призонних болтів. Диски ротора з'єднані між собою радіальними штифтами, які забезпечують можливість теплового розширення сполучуваних деталей у радіальному напрямку при збереженні взаємного центрування. Стопоріння штифтів досягається шляхом провороту по колу лабіринтових вставок, що закривають штифти своїми полицями.

Робочі лопатки встановлюються в пази ротора "ялиновим" хвостовиком. Їхня периферійна частина обладнана бандажними полицями, що мають ущільнювальні

гребені. Соплові лопатки 1–2-го ступенів і робочі лопатки 1-го ступеня охолоджуються.

Задньою опорою ротора є роликовий підшипник, напресований внутрішньою обоймою на втулку, яка встановлена на цапфі диска 3-го ступеня.

Редуктор 1 співвісний, зіркового типу, одноступінчастий, з розстроюванням потоку потужності.

Двигун обладнаний циркуляційною під тиском системою змащення з навішеним та електропривідним маслоагрегатами. Запуск ГТД здійснюється за допомогою електростартерів змінного струму напругою 380 В і потужністю 210 (3×70) кВт. Може бути передбачений також пневматичний (газовий) або гідравлічний запуск двигуна. Керування дистанційне, автоматичне.

Рік розробки двигуна – 1989-й. Серійно випускається з 1994 р.

Двигуни UGT 3200 та UGT 3200RG

Газотурбінний двигун промислового типу UGT 3200 (ДО41) виконаний за одновальною схемою із вбудованим редуктором і призначений для приводу генератора електричного струму.

На базі UGT 3200, який підтвердив свою працездатність і гарні характеристики окремих вузлів, розроблений газотурбінний агрегат UGT 3200RG (ДО42) з регенерацією тепла газів (рис. 2.1.13).

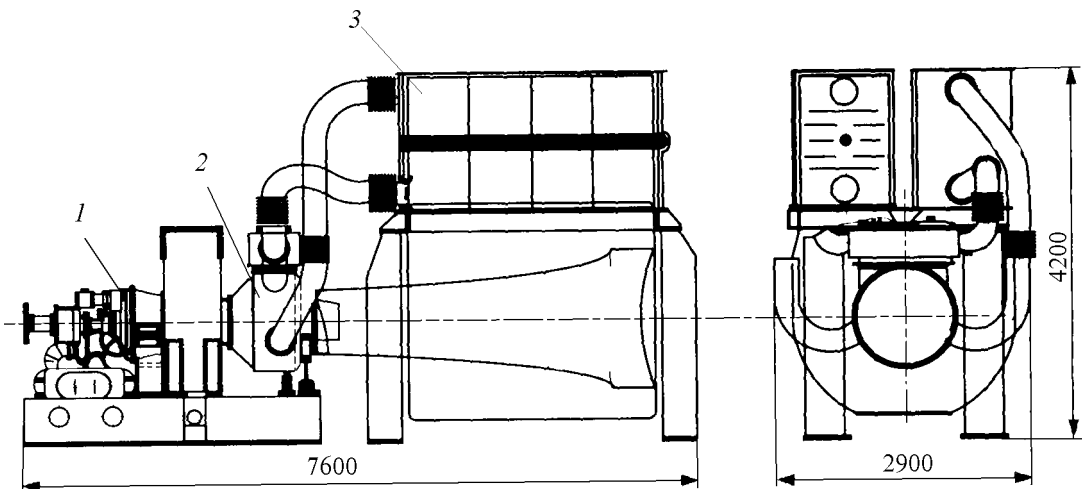


Рис. 2.1.13. Схема газотурбінного агрегату з регенерацією тепла газів:

1 – редуктор; 2 – двигун; 3 – регенератор

Застосування регенерації внесло деякі коректування в традиційні підходи до вибору термодинамічних параметрів і робочих точок на характеристиках ком-

пресора та турбіни. По-перше, оскільки для регенеративного циклу оптимальна міра підвищення тиску значно менша, ніж для простого циклу, була скорочена кількість ступенів у компресорі і турбіні. Прототип ДО41 мав дев'ять осьових та один відцентровий ступінь у компресорі і три осьові ступені в турбіні, до складу ж UGT 3200RG входять п'ять осьових та один відцентровий ступінь у компресорі і два осьові ступені в турбіні. Менше значення тиску в камері згоряння істотно розширює можливості застосування в двигуні газоподібного палива, тому що дозволяє виключити додаткові пристрої, які підвищують тиск паливного газу [18]. По-друге, з метою використання однієї з позитивних особливостей регенеративного циклу – можливості істотного поліпшення економічності двигуна шляхом регулювання проточної частини компресора на часткових навантаженнях – вхідний напрямний і напрямні апарати першого та другого ступенів виконані регульованими.

Для одержання високого ККД агрегату в максимально широкому діапазоні навантажень турбіна і компресор розраховані таким чином, щоб їх адіабатний ККД досягав свого максимуму на проміжному режимі роботи агрегату (близько 70 % від максимальної потужності). На максимальному ж режимі спостерігається деяке (менше 1 %) зниження адіабатного ККД турбіни і компресора (рис. 2.1.14).

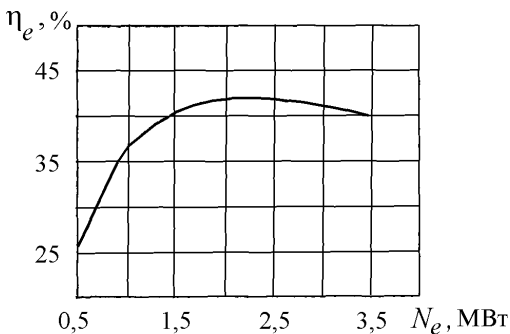


Рис. 2.1.14. Залежність ККД UGT 3200RG від потужності

Передбачається, що головним застосуванням нового агрегату буде вироблення електроенергії. З цією метою прийнята одновальна конструкція. При автономній роботі регулятор подачі палива буде підтримувати постійну частоту обертання ротора, а при роботі на енергетичну мережу – задану потужність.

НВКГ "Зоря"-Машпроект" розглядає UGT 3200RG як перший агрегат такого класу. Після того як він під-

твердить свої характеристики, будуть розглянуті питання створення потужнісного ряду такого класу агрегатів у діапазоні 1...16 МВт і подальшого ускладнення термодинамічного циклу, пов'язаного із проміжним охолодженням компресорного повітря, з метою створення енергетичних установок із ККД 45...48 % у діапазоні потужностей 10...60 МВт.

Основні технічні характеристики UGT 3200 наведені в табл. 2.1.1, особливості UGT 3200 і UGT 3200RG – в табл. 2.1.2.

Експлуатаційні характеристики UGT 3200RG подані на рис. 2.1.15.

Основні технічні характеристики UGT 3200 і UGT 3200RG (в умовах ISO 2314) наступні:

Агрегати виробництва підприємств України

	UGT 3200	UGT 3200RG
Потужність, МВт	3,4	
ККД, %	31,5	40,0
Витрата повітря, кг/с	14,9	16,0
Міра:		
підвищення тиску	12	7
регенерації	–	0,85
Температура газу, К:		
за регенератором	–	603
за ГТД	733	–
Частота обертання, об/хв:		
ротора ГТД	14000	
вихідного вала редуктора	1000/1500/1800/3000	
Габарити, м, не більше:		
довжина	4,2	7,6
ширина	2,1	2,9
висота	2,3	4,2
Ресурс, год:		
до капітального ремонту	25000	
призначений	75000	
Маса, т, не більше	2	–

Таблиця 2.1.1. Габаритні розміри UGT 3200

Частота обертання вихідного вала редуктора, об/хв	Довжина	Ширина
	м	
3000	3,85	1,54
1800	4,10	1,78
1500	4,12	1,80
1000	4,17	1,86

Таблиця 2.1.2. Конструктивні особливості двигунів UGT 3200 та UGT 3200RG

Найменування	UGT 3200	UGT 3200RG
Тип газотурбінного агрегату	Одновальний, із вбудованим редуктором	Одновальний, із вбудованим редуктором та регенерацією тепла
Компресор	Осевідцентровий	
Число ступенів компресора	Дев'ять осьових + один відцентровий	П'ять осьових + один відцентровий
Камера згоряння	Двотрубна, індивідуальна	
Турбіна	Осьова, триступінчаста	Осьова, двоступінчаста
Регенератор	–	Модульної конструкції, пластинчастий, протитоковий
Паливо	Газоподібне або рідке	
Змащення	Циркуляційне під тиском із навішеним та електропривідним маслоагрегатами	
Стартер	Електричний ~380 В, 210 (3х70) кВт або пневматичний (газовий)	

UGT 3200 і UGT 3200RG зберігають працездатність при температурі повітря $-55...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, барометричному тиску $670...800\text{ мм рт.ст.}$, відносній вологості повітря до 98% ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

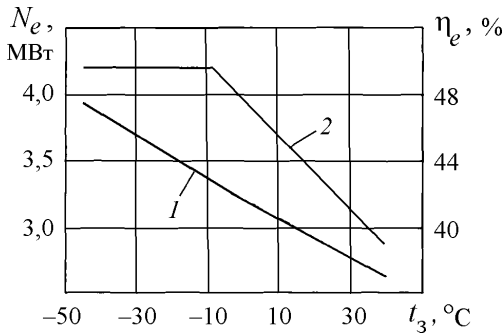


Рис. 2.1.15. Залежність ККД (1) та потужності (2) UGT 3200RG від температури зовнішнього повітря

Двигун UGT 3000

Двокаскадний з вільною силовою турбіною двигун UGT 3000 (M75)* був розроблений наприкінці 70-х років для використання в ролі маршового на ракетних катерах. Оснащений реверсивною газовою турбіною, він входив до складу енергетичних установок M15, M15Б та M15В (відповідно модифікації ДС76, ДМ76 і ДР76). З початку виробництва і до 2000 р. на кораблі військово-морського флоту було поставлено 106 двигунів UGT 3000. На початку 90-х років було виготовлено також два зразки неререверсивного двигуна для судна на підводних крилах "Циклон-2", що пройшли приймання Регістром, але не були поставлені на замовлення у зв'язку із припиненням будівництва судна.

У 90-х роках на базі двигуна M75 була створена модифікація (ДЕ76) для промислового застосування (рис. 2Д). Для цього двигун був значно перероблений. Так, передній корпус був зроблений більшим, у нього перенесений центральний привід з перехідника. Запуск двигуна забезпечувався розкручуванням компресора низького тиску від стартера змінного струму, що спростило конструкцію приводів і підвищило надійність ГТД у цілому. Силова турбіна виконана неререверсивною. На потужності 3 МВт вона має частоту обертання 9700 об/хв. ГТД переведений з рідкого палива на газоподібне. У зв'язку з жорсткими вимогами по емісії шкідливих викидів були принципово змінені пальникові пристрої і жарові труби.

У даний час один із двигунів UGT 3000 експлуатується у складі газокompresорного агрегату SKD-PRAGA-ENERGO підземного сховища газу в м. Штрамбек (Чехія). Він же адаптований для використання в новому агрегаті підземного накачування газу ГПА-3С "Урал" розробки ВАТ "НПО "Искра".

Основні технічні характеристики UGT 3000 та UGT 3000R (в умовах ISO 2314) наступні:

* Найменування корабельного варіанта цього двигуна.

	UGT 3000 (ДЄ76)	UGT 3000R (ДС76)
Потужність, МВт	3,36	3,13
ККД, %	31,0	28,5
Витрата повітря, кг/с	16,6	16,5
Міра підвищення тиску		13,5
Температура газу, К:		
початкова		1293
за ГТД	693	725
Частота обертання силової турбіни, об/хв	9700	8800
Габарити, м:		
довжина	2,5	2,5
ширина	1,3	1,8
висота	1,3	1,8
Маса, т	2,5	2,8

Експлуатаційні характеристики зображені на рис. 2.1.16.

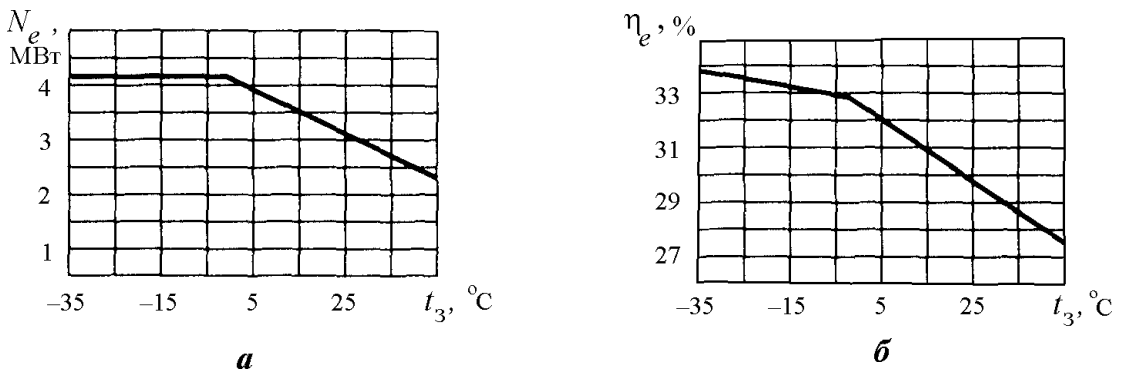


Рис. 2.1.16. Залежність потужності (а) і ККД (б) UGT 3000 від температури повітря на вході

Конструктивні особливості

Двокаскадний газотурбінний двигун з вільною силовою турбіною. Компресор осьовий. Число ступенів компресора – 8 + 9. Камера згоряння трубчасто-кільцева, протитокова. Число жарових труб – 9. Турбіни осьові. Число ступенів турбін – 1 + 1 + 3. Силова турбіна реверсивного (UGT 3000R) і нереверсивного виконання. Змащення циркуляційне під тиском. Стартер електричний ~380 В, 70 кВт (60 В, 60 кВт). Керування дистанційне, автоматичне. Рік розробки – 1980-й. Серійно випускається з 1981 р.

Двигуни UGT 6000 та UGT 6000+

Газотурбінний двигун UGT 6000 (М70) (рис. 3Д) став першим з уніфікованого

ряду двигунів третього покоління, створених НВКГ "Зоря"- "Машпроект". Він розроблявся відповідно до рішення Ради Міністрів СРСР, прийнятого в 1971 р., про створення єдиного для кораблів з динамічними принципами підтримання (КДПП) і водотоннажних кораблів двигуна потужністю 10...12 тис. к.с. (7350...8800 кВт)*. Завершення робіт передбачалося до 1976 р. Однак термінова необхідність стала причиною того, що експлуатація UGT 6000 у Військово-морському флоті СРСР почалася вже з 1972 р. (на десантному катері "Кальмар" був установлений ще експериментальний двигун М70 № 2).

У ході комплексних досліджень на двигуні UGT 6000 відпрацьовувалися всі нові технічні рішення двигунів третього покоління. Усього для повного відпрацювання цієї моделі знадобилось 30 двигунів.

UGT 6000 знайшов широке застосування на кораблях ВМФ Радянського Союзу (табл. 2.1.3).

Таблиця 2.1.3. Використання UGT 6000 на кораблях ВМФ та комерційних суднах

Модифікація двигуна	Початок експлуатації	Потужність, МВт	Кількість ГТД, виготовлених до 2000 р.	Тип агрегату, до складу якого входить двигун
ДК71, ДМ71, ДР71	1972	7,4	60	МТ70, М34
ДН77, ДЦ77, ДР77	1978	7,4	184	М15, М15А, М15Б, М15В, М20А
ДН71, ДС71	1982	5,9	25	М21, М21А, М7Н, М16, М27
ДП71	1987	7,4	55	М35
ДО37	1988	5,9	1	М37

Уперше UGT 6000 був застосований у складі енергетичної установки десантного катера на повітряній подушці проекту 1206 "Кальмар" водотоннажністю 110 т, побудованого на Приморському суднобудівному заводі (м. С.-Петербург) [8]. Енергетична установка катера складалася з двох агрегатів типу МТ70К (на наступних катерах серії – МТ70М і МТ70Р). Кожен агрегат складався з двигуна типу ДК71 (ДМ71, ДР71) і редукторної передачі, яка роздавала цю потужність на вентилятор та тяговий гвинт змінюваного кроку свого борту. Катер переданий ВМФ СРСР у дослідну експлуатацію в 1972 р.

Надалі серійне виробництво катерів проекту 1206 продовжувалося на Феодосійському виробничому об'єднанні (ФВО) "Море", де всього було побудовано 22 катери. За час їх експлуатації загальне напрацювання двигунів типу ДК71 (ДМ71, ДР71) склало більше 21000 год.

По два агрегати МТ70М було встановлено на кожному з двох десантних катерів

* Модифікація більшої потужності – для КДПП.

на повітряній подушці проекту 1238 "Касатка", які були побудовані в 1983 р. ФВО "Море" та експлуатувалися надалі на Чорному морі. Агрегат МТ70М складався з двигуна ДМ71 і редукторної передачі (аналогічно катерам проекту 1206). За час експлуатації загальне напрацювання двигунів ДМ71 на катерах проекту 1238 перевищило 1300 год.

У 1979–1980 рр. на ФВО "Море" було побудовано два десантних катери на повітряній подушці проекту 1209 "Омар" водотоннажністю 50 т і швидкістю ходу 60 вуз*. На кожному катері був установлений агрегат М34, що складався з одного ГТД ДМ71 і редукторної передачі, яка роздавала цю потужність на відцентровий вентилятор і два гвинти змінюваного кроку. Ці катери експлуатувалися на Чорному морі. За час експлуатації загальне напрацювання двигунів ДМ71 на катерах проекту 1209 склало більше 1200 год.

На Хабаровському суднобудівному заводі було побудовано вісім десантних катерів проекту 12061 "Мурена" (водотоннажність 150 т, швидкість 55 вуз), які являли собою подальший розвиток катерів проекту 1206. На кожному катері були встановлені два агрегати МТ70Р, що складалися з одного ГТД ДР71 і редукторної передачі, яка роздавала цю потужність на вентилятор і тяговий гвинт свого борту. За час експлуатації з 1985 р. загальне напрацювання двигунів ДР71 на цих катерах перевищило 4700 год.

Наприкінці 80-х років ЦМКБ "Алмаз" (м. С.-Петербург) і Приморський суднобудівний завод спроектували та побудували середній десантний корабель на повітряній подушці проекту 12322 "Зубр" (водотоннажність 500 т, швидкість ходу 63 вуз). Цей корабель, що ввійшов у західні каталоги під назвою "Поморник" як найбільший і найшвидший у своєму класі, експлуатується на флоті з 1988 р. і дотепер аналогів у світі не має.

На кораблі встановлені два нагнітальних агрегати М35-1, що складаються кожний із двигуна ДП71 і горизонтальної трансмісії, яка роздає потужність на два вентилятори свого борту, і три тягових агрегати М35-2, що також складаються кожний із двигуна ДП71 і редуктора, який передає обертання своєму гвинту змінюваного кроку. Енергетична установка при сумарній потужності 36,8 МВт і питомій витраті палива 0,258 кг/(кВт·год) має питому масу 0,7 кг/кВт.

Головний корабель проекту 12322 протягом 1,5 року проходив конструкторські випробування, після чого був переданий ВМФ СРСР у дослідну експлуатацію. Усього на Приморському заводі було побудовано п'ять і на ФВО "Море" – чотири кораблі даного проекту.

У січні 2000 р. в Афінах відбулося підписання тристороннього греко-українсько-російського контракту, в результаті якого військово-морським силам Греції було передано чотири кораблі проекту 12322.

* У західні каталоги ввійшов під назвою "Утенек".

Двигун UGT 6000 використовується також на малих протичовнових кораблях на підводних крилах проекту 11451 "Сокол" ("Муха"). Енергетична установка складається з двох агрегатів М10Д та одного агрегату М16, який включає в себе двигун ДО16 (типу ДС71) і кутову редукторну передачу. На ФВО "Море" було побудовано два кораблі даного проекту, які передані в експлуатацію в 1988 і 1989 рр. та експлуатуються в даний час на Чорному морі. За час їхньої експлуатації загальне напрацювання двигунів ДО16 склало більше 1000 год.

Два агрегати М20А, кожен з яких складається з двигуна ДР77 і кутового редуктора, що передає потужність на гребний гвинт, установлені на вартовому прикордонному КПК проекту 133. Побудова кораблів цього проекту здійснювалася на ФВО "Море". Перший корабель був переданий в експлуатацію прикордонним військам у 1979 р. Усього було побудовано 12 КПК проекту 133, які експлуатуються в даний час на Чорному і Балтійському морях. Загальне напрацювання за час експлуатації двигунів ДР77 перевищило 17000 год.

Газотурбінний двигун ДН71 використовується у складі агрегату М21 комбінованої енергетичної установки ракетних крейсерів типу "Слава".

З 1987 р. знаходиться в експлуатації пасажирське двопалубне судно на підводних крилах "Циклон" повною водотоннажністю 250 т побудови ФВО "Море", де в ролі головної енергетичної установки застосований газотурбінний агрегат М37, що складається з двигуна ДО37 і кутового редуктора РО37 (рис. 2.1.17). Максимальна потужність ГТД на передньому ходу агрегату складає 5880 кВт, номінальна потужність на задньому ходу – 560 кВт, питома витрата палива – не більше 0,29 кг/(кВт·год).

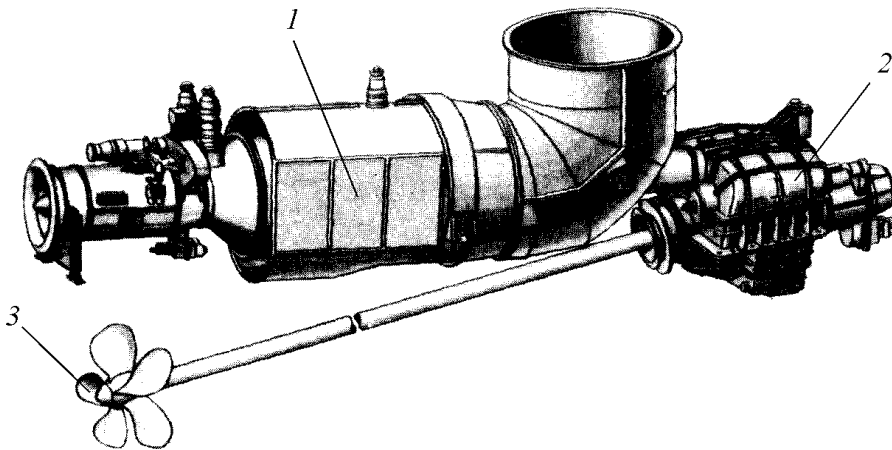


Рис. 2.1.17. Газотурбінний агрегат судна "Циклон":
1 – двигун ДО37; 2 – кутовий редуктор РО37; 3 – гребний гвинт

Після дослідної експлуатації і комерційних рейсів у Чорноморському регіоні

був здійснений перехід судна з Феодосії до Таллінна (Естонія), де виконувалося перевезення пасажирів на лінії Таллінн – Гельсінкі протягом восьми років. У даний час судно експлуатується в Греції на лінії Пірей – о. Крит. Загальне напрацювання агрегату М37 склало більше 10000 год, відмов у роботі не відзначалося.

У 2003 р. були закінчені роботи зі створення агрегату М73, призначеного для використання у складі кораблів на повітряній подушці. Відмітною рисою М73 є двосторонній відбір потужності від силової турбіни. З боку компресора потужність передається через редуктор до вентилятора, який нагнітає повітря в "подушку" судна, а з боку турбіни – через два редуктори до повітряного гвинта – рушія корабля.

З 1993 р. розпочалося промислове використання двигуна UGT 6000. Він застосовується в серійно виготовлюваному Сумським НВО ім. М.В. Фрунзе агрегаті ГПА-Ц-6,3С на компресорних станціях "Октябрьская", "Гаврилов Ям", "Чап-лыгинская" ("Мострансгаз"), "Диканька" ("Київтрансгаз") тощо, для заміни авіаційних конвертованих двигунів НК-12СТ при модернізації агрегатів ГПА-Ц-6,3 та індустриальних двигунів ВАР "Невский завод" при модернізації агрегатів ГТ-750-6. Можливе використання двигуна при модернізації агрегатів ГТН-6, ГТ-6-750 розробки ВАР "Турбомоторный завод" і агрегатів ГТ-700-5, створених ВАР "Невский завод". Знаходить застосування UGT 6000 і для приводу генератора електричного струму.

У даний час підприємством НВКГ "Зоря"-Машпроект виготовлено більше 30 двигунів UGT 6000 промислового застосування.

На базі двигуна UGT 6000 для застосування в енергетиці, газовій промисловості і на флоті створений газотурбінний двигун **UGT 6000+**. Його конструкція дозволяє забезпечити взаємозамінність із двигуном-прототипом, що дає можливість проводити модернізацію установок та агрегатів, які знаходяться в експлуатації, без зміни існуючих шахт повітроприйому, газовихлопу і фундаментів.

Підвищення потужності ГТД до 8,3 МВт забезпечено шляхом збільшення початкової температури газу перед турбіною. Такий підхід дозволив зберегти конструктивну схему двигуна UGT 6000. В UGT 6000+ були також збережені міра підвищення тиску, витрата повітря і частоти обертання компресорів двигуна UGT 6000. Проведено комплекс заходів, пов'язаних з удосконалюванням конструкції турбіни високого тиску: застосована система регульованого радіального зазору над робочими лопатками ТВТ і більш досконала двохопорна конструкція соплового апарата турбіни з підвищеною ефективністю повітряного конвективного охолодження, змінені площі прохідних перерізів турбінної частини двигуна й удосконалена система охолодження, робочі і соплові лопатки та диски ТВТ і ТНТ виготовлені з нових жароміцних і жаростійких матеріалів та ін.

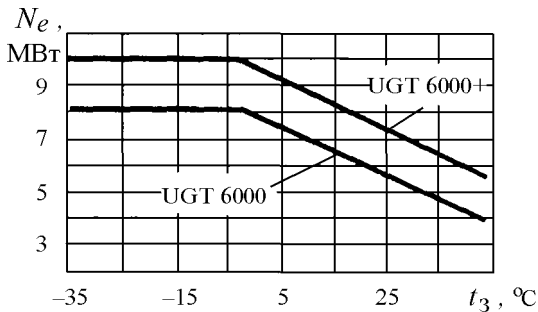
Основні технічні характеристики (в умовах ISO 2314) модифікацій двигунів UGT 6000 і UGT 6000+, що випускаються в даний час, наведені в табл. 2.1.4, експлуатаційні характеристики – на рис. 2.1.18.

Таблиця 2.1.4. Основні технічні характеристики двигунів UGT 6000 і UGT 6000+

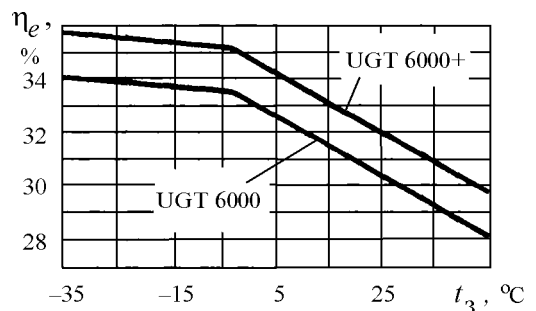
Параметри	Модифікації двигунів *						
	ДТ71	ДВ71	ДП71	ДС71.1	ДР71	ДС71	UGT 6000+
Потужність, кВт	6700			6200	6700	6200	8300
ККД, %	31,5			29,0	31,5	29,0	33,0
Витрата повітря, кг/с	31						33
Міра підвищення тиску	16,6						
Температура газу, К: початкова за ГТД	1288						1373
	693			701	693	701	715
Частота обертання силової турбіни, об/хв	8200 **	3000/3600	7000	6400	9300	4750	5300
Габарити, м:							
довжина	3,8	4,6	3,2	3,2	2,8	3,4	3,4
ширина	1,3	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8
висота	1,6	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Маса, т	3,5	4,5	3,5	3,5	3,1	3,5	3,8

* ДТ71 – модифікація двигуна для газоперекачувальних станцій, ДВ71 – для приводу генераторів електричного струму, ДП71 і ДР71 – корабельні нереверсивні двигуни, ДС71 і ДС71.1 – корабельні реверсивні двигуни.

** Модифікації двигуна для компресорних станцій можуть також випускатися з частотою обертання силової турбіни 5200, 5700 і 10000 об/хв.



а



б

Рис. 2.1.18. Залежність потужності (а) і ККД (б) UGT 6000 та UGT 6000+ від температури повітря на вході

Конструктивні особливості

Двокаскадний газотурбінний двигун з вільною силовою турбіною. Компресор осьовий. Число ступенів компресора – 8 + 9. Камера згоряння трубчасто-кільцева, протитокова. Число жарових труб – 10. Турбіни осьові. Число ступенів турбін компресорів – 1 + 1. Число ступенів силової турбіни – 2, 3, 4 або 6 (залежно від частоти обертання). Силова турбіна реверсивного або неревверсивного виконання. Напрямок обертання силової турбіни лівий або правий. Змащення циркуляційне під тиском. Стартер електричний ~380 В, 70 кВт. Керування дистанційне, автоматичне. Ресурс до капітального ремонту складає 20000 год, призначений ресурс – 60000 год. Серійно випускається з 1978 р.

Двигун UGT 10000

Високоєфективний модульний газотурбінний двигун четвертого покоління UGT 10000 (рис. 4Д) є одним з останніх двигунів, створених НВКГ "Зоря"- "Маш-проект" для потреб газової промисловості, енергетики і морського транспорту.

UGT 10000, використовуваний як привід нагнітачів газу компресорних станцій, у варіанті ДН70Л із силовою турбіною лівого обертання (частота 4800 об/хв) застосовується для модернізації агрегатів ГТК-10-4 ВАТ "Невский завод" і ГПА-10, а у варіанті ДИ70П із силовою турбіною правого обертання (6500 об/хв) – для заміни двигунів MS3002 розробки фірми "General Electric" в імпорتنих агрегатах ГТК-10И фірми "AEG Kanis".

На основі двигуна UGT 10000 (модифікація ДУ71) була створена газотурбінна установка з утилізацією тепла газів контактного типу КГПТУ-16К потужністю 16 МВт. У порівнянні з вихідним варіантом у ньому була змінена пропускна здатність турбін, камера згоряння пристосована для впорскування пари, організовані системи подачі пари. Такою установкою був оснащений газоперекачувальний агрегат ГПУ-16К, установлений на компресорній станції "Ставищенська" (Черкаська обл., Україна).

Основні технічні характеристики модифікацій двигуна UGT 10000 (в умовах ISO 2314) наведені нижче, експлуатаційні – на рис. 2.1.19.

	ДН70	ДУ71
Потужність, МВт	10,7	15,7
ККД, %	36	43*
Витрата повітря, кг/с	37,2	39,5
Міра підвищення тиску	19,5	20,0
Температура газу, К:		
початкова	1453	1358
за ГТД	731	727

* У даному випадку ККД всього агрегату.

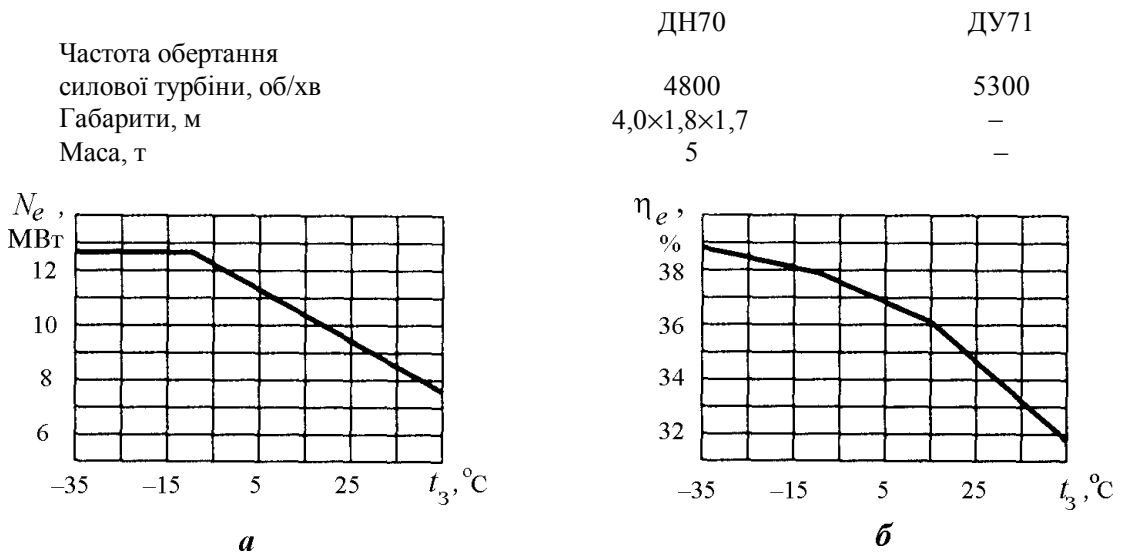


Рис. 2.1.19. Залежність потужності (а) і ККД (б) UGT 10000 від температури повітря на вході

Конструктивні особливості

Двокаскадний газотурбінний двигун з вільною силовою турбіною. Компресор осьовий. Число ступенів компресора – 9 + 9. Камера згоряння трубчасто-кільцева, протитокова. Число жарових труб – 10. Турбіни осьові. Число ступенів турбін компресорів – 1 + 1. Силова турбіна лівого або правого обертання. Число ступенів силової турбіни – 6, 4 або 3 відповідно для частот обертання 3000, 4800 і 6500 об/хв. Паливо – природний газ або рідке. Змащення циркуляційне під тиском. Стартер електричний ~380 В, 70 кВт. Керування дистанційне, автоматичне. Двигун випускається з 1998 р.

UGT 10000 витримує сейсмічний вплив до 7 балів за шкалою MSK-64 і зберігає працездатність при температурі повітря –55...+45 °С і відносній вологості до 100 % (при температурі зовнішнього повітря 15 °С).

Двигуни UGT 15000 та UGT 15000+

Газотурбінний двигун UGT 15000 (М90), розробка якого була завершена в 1984 р., став подальшим розвитком уніфікованого ряду економічних двигунів третього покоління, призначених для використання на кораблях будь-якого класу та в промисловості (рис. 5Д).

Двигун UGT 15000 добре зарекомендував себе на самому початку експлуатації завдяки повним і всебічним дослідженням, які були виконані при його створенні і включали в себе повузлове доведення компресора, камери згоряння і турбіни на лабораторних стендах, відпрацювання газодинамічних, теплотехнічних, міц-

нісних та віброакустичних характеристик на базі п'ятнадцяти двигунів із проведенням тривалих випробувань по виробленню еквівалента ресурсу. Випробування проводилися з подачею морської солі на вхід у компресор, з максимальним розцентруванням вихідного вала, з перевищенням номінального крутного моменту на силовій турбіні, при граничних параметрах для цього двигуна, з виробленням максимальної кількості запусків і перехідних процесів, очікуваних в експлуатації [4].

Старанність відпрацьовування двигуна UGT 15000 обумовила його високі експлуатаційні якості і широке застосування. Двигун може працювати на різних сортах рідкого і газоподібного палива при температурі зовнішнього повітря $-50...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості повітря 100 % при температурі $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За вимогою замовника UGT 15000 виготовляється з різними напрямками обертання силовій турбіни в реверсивному і неревверсивному виконанні.

Двигун пристосований для роботи з локальною і груповою системами керування в комбінованих енергетичних установках разом з дизелями, паровими турбінами та іншими газотурбінними двигунами.

UGT 15000 відповідає вимогам антропологічної сумісності, забезпечує доступ до основних вузлів, зручність обслуговування і мінімальні тимчасові витрати на усунення відмов. Двигун оснащений засобами технічного діагностування, що дозволяють оцінювати в умовах експлуатації його технічний стан без розбирання.

Модульна конструкція UGT 15000 передбачає можливість заміни при ремонті в умовах експлуатації начіпних агрегатів, паливних форсунок, жарових труб, компресора низького тиску та силовій турбіни. Запасні частини не вимагають пригонки по місцю і допускають мінімальне підрегулювання.

Двигун серійно випускається з 1988 р. До цього часу виготовлено більше 120 таких двигунів, сумарне напрацювання яких перевищило 250 тис. год. Сім з них відпрацьовували заявлений ресурс і продовжують успішно експлуатуватися.

UGT 15000 використовується у складі корабельних агрегатів М27, М9Б та М44, для приводу електрогенераторів (газотурбогенератори ГТГ-16), у газоперекачувальних агрегатах ГПА-Ц-16С, серійно виготовлюваних Сумським НВО ім. М.В. Фрунзе, у ГПА-16С "Урал" розробки ВАТ "НПО "Искра", у ГПУ-16А розробки НВКГ "Зоря"- "Машпроект" та ін. Крім того, його використання передбачене в декількох проектах модернізації агрегатів ГТК-10-4 із двигунами ВАТ "Невский завод" і "Coberra-182" фірми "Cooper Rolls". UGT 15000 може також застосовуватися для модернізації чи реконструкції ряду виробництв (хімічних, металургійних та ін.). Наприклад, на Одеському припортовому заводі він був установлений замість морально застарілих і зношених приводів фірми "Avon".

Двигун UGT 15000 (модифікація ДС90) був використаний для створення контактної парогазової установки типу "Водолій" потужністю 25 МВт. У ньому була змінена пропускна здатність турбін, камера згоряння пристосована для впорскування пари, організовані системи подачі пари.

На базі двигуна UGT 15000 для широкого застосування в електроенергетиці, транспортуванні газу і на флоті створений газотурбінний двигун **UGT 15000+**. Його конструкція виконана таким чином, щоб забезпечити взаємозамінність з двигуном UGT 15000, що дозволяє проводити модернізацію експлуатованих установок та агрегатів без зміни існуючих шахт повітроприйому, газовихлопу і фундаментів [6].

З метою скорочення часу доведення і застосування відпрацьованих вузлів двигуна UGT 15000, перевірених тривалою експлуатацією, в UGT 15000+ були збережені міра підвищення тиску, витрата повітря і частоти обертання компресорів двигуна UGT 15000. Збільшення потужності ГТД із 16 до 20 МВт забезпечено шляхом підвищення температури газу перед ТВТ. Такий підхід дозволив зберегти конструктивну схему двигуна UGT 15000. Бажання подальшого підвищення надійності й економічності визначило наступні конструктивні відмінності двигуна UGT 15000+:

- з метою підвищення надійності застосована більш досконала двохопорна конструкція соплового апарата турбіни високого тиску з підвищеною ефективністю повітряного конвективного охолодження;

- з метою підвищення економічності ГТД застосована система регульованого радіального зазору над робочими лопатками ТВТ;

- застосоване більш досконале металеве покриття з керамічним шаром робочих і соплових лопаток ТВТ;

- з метою збереження міри підвищення тиску в компресорі і витрати повітря на вході в двигун при збільшенні початкової температури газу змінені площі прохідних перерізів турбінної частини двигуна й удосконалена система охолодження;

- підвищені запаси газодинамічної стійкості компресора високого тиску і знижений максимальний закид температури газу при запуску ГТД шляхом організації відбору повітря між ступенями компресора з подальшим використанням його для охолодження соплових лопаток турбіни низького тиску;

- застосована вдосконалена схема міжступінчастого ущільнення компресора високого тиску, уведене роздільне профілювання проточної частини до і після відбору повітря;

- робочі і соплові лопатки та диски ТВТ і ТНТ виготовлені з нових жароміцних та жаростійких матеріалів;

- для забезпечення модульності конструкції двигуна силова турбіна виконана консольною, що дозволяє в експлуатації, коли необхідно, змінювати тільки газогенератор, не демонтуючи силову турбіну;

- впроваджені технологічні поліпшення роторів компресорів низького і високого тисків.

Доведення характеристик і конструкції нових елементів проводилося на чотирьох дослідних зразках двигуна, загальне напрацювання яких склало більше 40000 год.

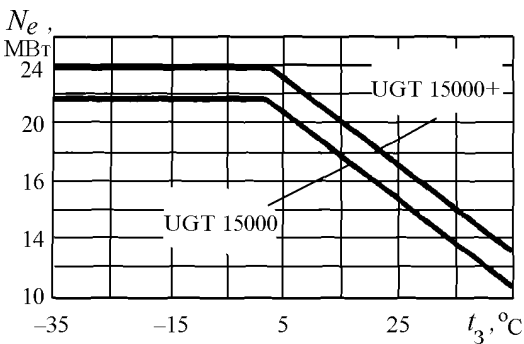
Основні технічні характеристики двигунів UGT 15000 і UGT 15000+ (в умовах ISO 2314) наведені в табл. 2.1.5, експлуатаційні характеристики – на рис. 2.1.20.

Таблиця 2.1.5. Основні технічні характеристики двигунів UGT 15000 та UGT 15000+

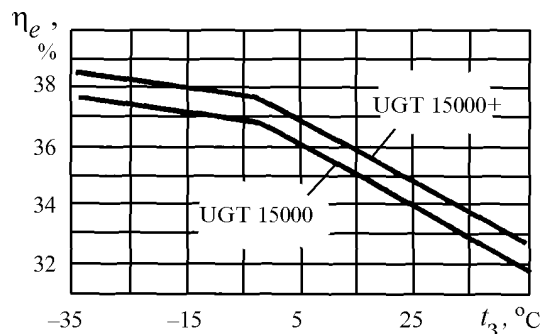
Параметри	Модифікації двигунів*					
	ДБ90	ДГ90	ДА90	ДО90	ДС90	ДА90+
Потужність, МВт	17,5	17,15	17,6	14,7	25,0	20,2
ККД, %	35	35	35	33	42**	36
Витрата повітря, кг/с	71	71	73	70	65	73
Міра підвищення тиску	19,6	19,5	19,6			
Температура газу, К:						
початкова	1349	1343	1348	1348	1335	1438
за ГТД	706	693	673	673	712	727
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000/3600	5200	5300	4400	3000/3600	5300
Габарити, м:						
довжина	6,1	4,7	4,8	5,0	6,4	6,0
ширина	2,2	2,1	2,2	2,6	2,5	2,3
висота	2,5	2,2	2,2	2,8	2,7	2,5
Маса, т	12,8	11,6	9,0	11,5	15,0	11,5

* ДБ90 – модифікація двигуна для приводу електрогенератора, ДГ90 – для приводу нагнітача газу на компресорній станції, ДА90 і ДО90 – корабельні нереверсивний і реверсивний двигуни, ДС90 – двигун контактної парогазової установки.

** У даному випадку ККД всього агрегату.



а



б

Рис. 2.1.20. Залежність потужності (а) і ККД (б) двигунів UGT 15000 та UGT 15000+ від температури повітря на вході

Конструктивні особливості

Двигун UGT 15000 виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною. Він складається з компресорів низького 2 і високого 3 тисків (див. рис. 2.1.2), камери згоряння 4, турбін високого 5 і низького 6 тисків, силової турбіни (турбіни нагнітача) 7 та агрегатів, навішених на двигун*.

Компресори 2 і 3 разом з турбінами, що приводять їх в обертання, утворюють два контури (відповідно низького і високого тисків), які кінематично не пов'язані між собою і мають різні частоти обертання. Потужність від силової турбіни через ресору передається споживачу.

Компресор низького тиску (рис. 2.1.21) осьовий, дев'ятиступінчастий, складається із вхідного пристрою, переднього корпусу 1, корпусу КНТ 2 та ротора КНТ 3, встановленого на передній 6 і задній 5 опорах, та перехідника 4.

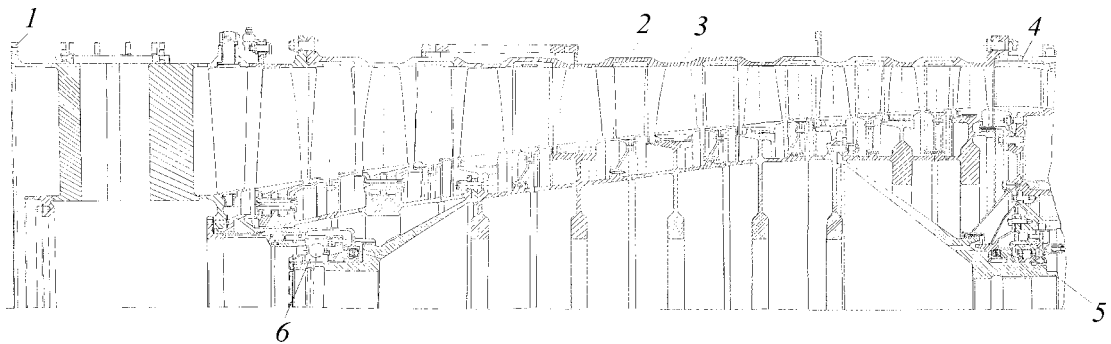


Рис. 2.1.21. Компресор низького тиску UGT 15000

Вхідний пристрій призначений для забезпечення плавного підведення атмосферного повітря в компресор і утворений зовнішнім та внутрішнім обтічниками. Кільцевий канал між ними є початком проточної частини двигуна.

Передній корпус складається із зовнішньої і внутрішньої стінок, жорстко з'єднаних між собою шістьма профільованими стояками, і призначений для розміщення передньої опори КНТ, поворотного вхідного напрямного апарата та приводу нижньої коробки приводів.

Передня опора ротора пружна. Корпус опори гнучкий, тобто має можливість радіально переміщатися за рахунок деформації пружних елементів своєї стінки. Коливання поглинаються демпфером, що являє собою масляний шар між корпусом опори і лабіринтовою кришкою, який обмежений двома ущільнювальними кільцями. Для надійного змащення й охолодження кулькового підшипника передньої опори масло підводиться в двох місцях: у зазор між внутрішньою обоймою підшипника і сепаратором через жиклери маслопідвідного кільця та радіально – через отвір у внутрішній обоймі підшипника.

* Конструкція UGT 15000 розглядається на прикладі двигуна ДГ90.

Корпус компресора низького тиску виконаний у вигляді порожнього циліндра, що має горизонтальний рознім. У циліндричних проточках корпусу розміщено вісім напрямних апаратів, що кріпляться до нього гвинтами. У нижній половині зовнішньої поверхні корпусу є дві бобишки з нарізними отворами для кріплення опор двигуна.

Ротор КНТ дисково-барабанної конструкції, складається з передньої і задньої цапф, робочих лопаток і дисків, поєднаних у три нерознімні складальні одиниці – барабани 1–2-го, 3–7-го та 8–9-го ступенів. Між собою і з цапфами барабани з'єднані за допомогою стяжних болтів.

Робочі лопатки перших двох ступенів мають шарнірне кріплення, що дозволяє їм повертатися щодо осі пальця при роботі двигуна. Робочі лопатки інших ступенів установлені в пазах дисків з'єднанням типу "ластівчин хвіст".

Компресор високого тиску (рис. 2.1.22) осьовий, десятиступінчастий, складається з перехідника 1, корпусів 2 та ротора 3 турбокомпресора високого тиску.

Перехідник призначений для плавного підведення повітря з КНТ в КВТ. Він складається із зовнішньої і внутрішньої стінок, поєднаних між собою рядом напрямних лопаток останнього ступеня КНТ. У перехіднику розміщені задня опора ротора КНТ, передня опора ротора турбокомпресора високого тиску, вхідний напрямний апарат КВТ та датчик виміру частоти обертання.

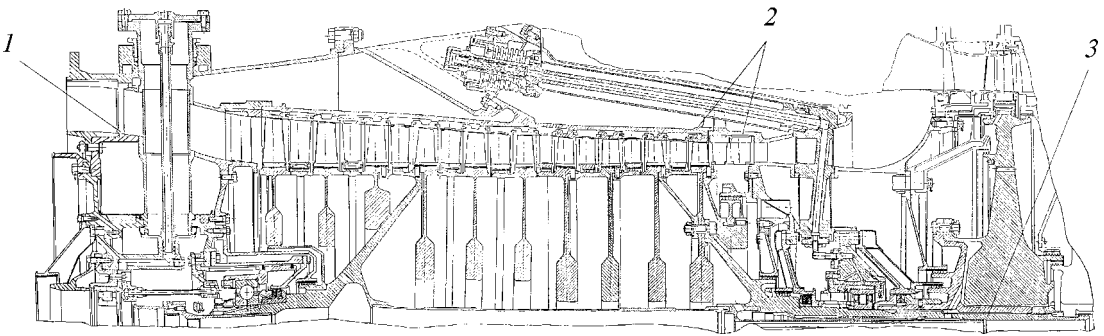


Рис. 2.1.22. Компресор високого тиску UGT 15000

Ротор 3 конструктивно поєднує ротори КВТ і ТВТ. Передача крутного моменту від ротора ТВТ до ротора КВТ здійснюється через шліцьове з'єднання.

Ротор КВТ дисково-барабанної конструкції, складається з десяти дисків, робочих лопаток, передньої і задньої цапф та внутрішнього вала. Робочі лопатки встановлені в пази дисків хвостовиками типу "ластівчин хвіст". Осьова фіксація лопаток здійснюється пластинчастими замками, кінці яких відгинаються на торці хвостовиків.

За ротором КВТ організована розвантажувальна порожнина для забезпечення необхідного зусилля на упорний підшипник. Для стабілізації осьових зусиль, що діють на підшипник, розвантажувальна порожнина поєднана трубами з порож-

ниною перед диском ТВТ. На десятому диску ротора встановлений лабіринт, що обмежує надходження повітря в розвантажувальну порожнину.

Камера згоряння (рис. 2.1.23) трубчасто-кільцева, протитокова, складається з підвіски 1, колектора 2, трубки підведення 3, переднього конуса, виконаного разом з корпусом КВТ 4, кожуха камери згоряння 8, внутрішнього кожуха 14, шістнадцяти жарових труб 7, розташованих паралельно осі двигуна в кільцевому просторі між кожухами 8 і 14, шістнадцяти змішувачів 9, закріплених на сопловому апараті ТВТ, шістнадцяти одноканальних газових форсунок з пальцем 5 і форсунок 6.

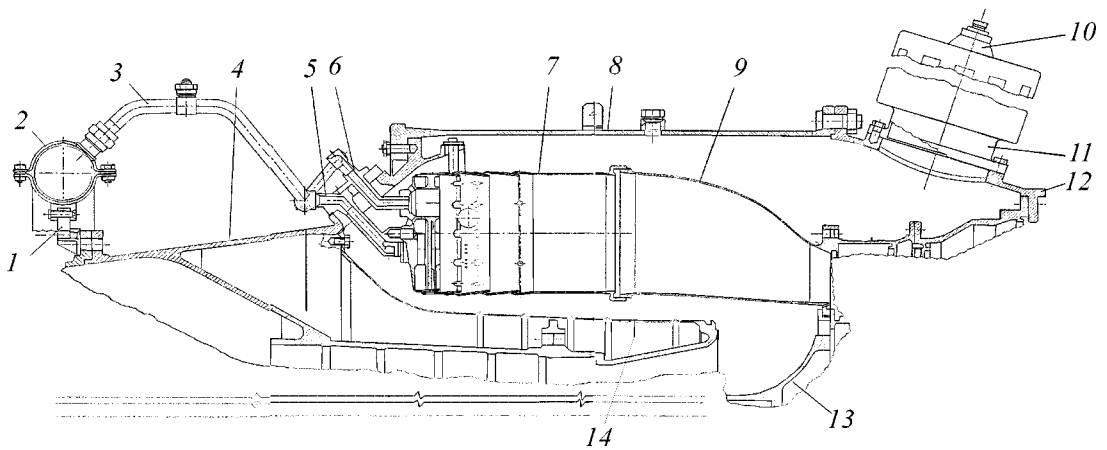


Рис. 2.1.23. Камера згоряння UGT 15000

Для зниження швидкості потоку повітря перед жаровими трубами передбачений кільцевий двоступінчастий дифузор 13.

Запалювання палива в камері згоряння під час запуску здійснюється від двох запалювачів. Перекидання полум'я між жаровими трубами забезпечується через полум'єперекидаючі патрубки.

На силовому корпусі 12 і двох компенсаторах 11 встановлені два клапани перепуску повітря 10, один з яких стравлює повітря з камери згоряння в атмосферу при запуску двигуна, другий – при спрацьовуванні захисту по обмеженню частоти обертання силової турбіни.

Паливні форсунки одноканальні, складаються з корпусу і ковпачка, у якому виконані один центральний отвір і два ряди отворів по колу, призначених для рівномірної подачі газу. Форсунка з пальцем має штуцер перекидання газу на отуголовочну форсунку і палець для встановлення в жарову трубу.

Турбіна високого тиску (рис. 2.1.24) осьова, одноступінчаста, консольного типу, складається із соплового апарата 1 і ротора 2. Лопатки турбіни мають конвективне охолодження. Усередину соплових лопаток вставляється дефлектор, що призначений для перерозподілу охолодного повітря, яке надходить через отвори в корпусі і після охолодження залишає лопатки через щілини у вихідних крайках.

Ротор ТВТ складається з диска, робочих лопаток та цапфи ТВТ. Робочі лопатки в диску кріпляться ялинковими замками. Для зниження динамічних напружень у порожнині під нижньою полицею лопаток установлені демпфери.

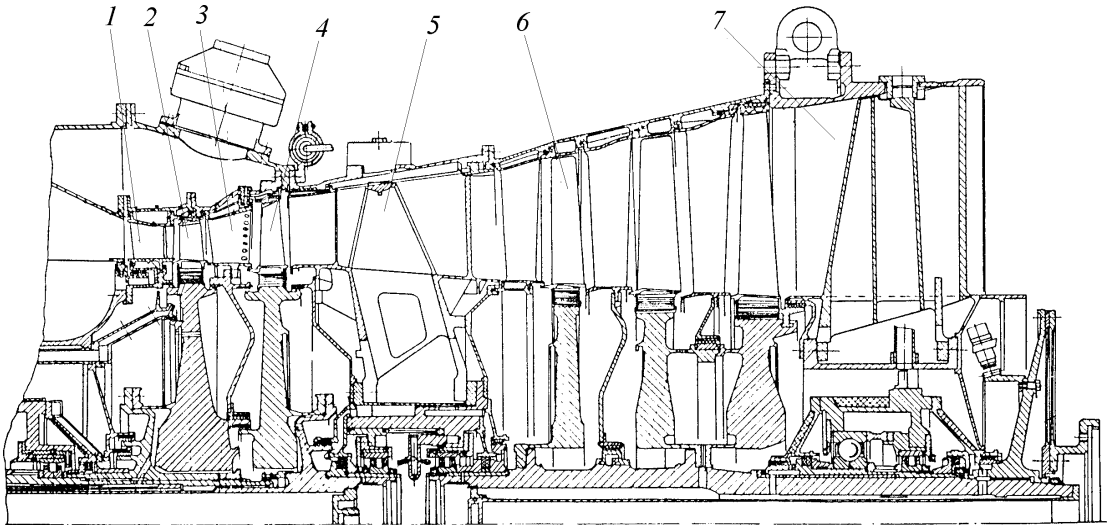


Рис. 2.1.24. Турбінна частина UGT 15000

Для зменшення радіального зазору над обандаженими робочими лопатками розташовані стільникові вставки, що своїми виступами входять у пази корпусу.

Турбіна низького тиску (див. рис. 2.1.24) осьова, одноступінчаста, складається із соплового апарата 3, ротора 4 та опорного вінця 5. Соплові лопатки охолоджувані, з дефлектором. Ротор ТНТ складається з диска, робочих лопаток, закріплених за допомогою ялинкових хвостовиків, та вала ТНТ. Диск із валом з'єднується болтами.

Опорний вінець ТНТ призначений для розміщення задньої опори ротора турбіни низького тиску і передньої опори ротора силової турбіни. Він також утворює проточну частину між цими турбінами. Стояки з корпусом опорного вінця з'єднуються за допомогою пакетів пружних елементів, що встановлюються на цапфу із зазором і призначені для компенсації теплових розширень. Корпус опори має пружний елемент типу "біляче колесо" для самовстановлювання ротора ТНТ із метою зменшення навантажень, що діють на роликовий підшипник через дисбаланс ротора. Для гасіння вібрації роторів в опорному вінці передбачені масляні демпфери.

Силовa турбіна (див. рис. 2.1.24) осьова, триступінчаста*, складається із соплових апаратів 3–5-го ступенів, ротора 6 та опорного вінця 7.

На диску 5-го ступеня кріпиться лабіринт, що разом із кришкою опорного вінця організовує за ротором турбіни розвантажувальну порожнину. Частина повітря, що підводиться через перехідник КНТ у цю порожнину, потім іде на підпір передніх

* У деяких модифікаціях (наприклад, ДБ90) – чотириступінчаста.

і задніх лабіринтових та радіально-торцевих ущільнень. У корпусі підшипників опорного вінця турбіни розташовуються роликовий підшипник, що несе радіальне навантаження, і кульковий підшипник, що сприймає частину осьового навантаження.

Для передачі крутного моменту з вала турбіни на вал споживача використовується пружна муфта, на корпусі якої встановлений збудник датчика обмеження частоти обертання силової турбіни.

Коробки приводів механічно пов'язані з контуром низького тиску. Нижня коробка приводів призначена для розміщення основного маслоагрегату двигуна, приводу від виносної коробки приводів та приводу індуктора з пристроєм для ручного прокручування, виносна коробка – для розміщення приводу до електростартерів (~380 В, 2х70 кВт).

Ресурс до капітального ремонту двигуна UGT 15000 складає 25000 год, призначений ресурс – 75000 год.

Двигун UGT 16000

Газотурбінний двигун UGT 16000 (рис. 2.1.25) є єдиним двигуном другого покоління, що випускається в даний час НВКГ "Зоря"-Машпроект". У ньому найбільш повно й оригінально вирішені питання поєднання простої прямої компоновальної схеми ГТД з відносно малими аеродинамічними втратами і безсумнівними зручностями при транспортуванні, монтажі та особливо ремонті на об'єкті з досить високим ККД у цілому і дуже високою надійністю двигуна.



Рис. 2.1.25. Газотурбінний двигун UGT 16000

До переваг UGT 16000 можна віднести: стабільну роботу на будь-якому експлуатаційному режимі, швидкі запуск і набір навантаження, можливість роботи на природному газі і дизельному паливі, високу надійність, великий термін експлу-

атації, низьку експлуатаційну вартість та відсутність обмежень у всьому діапазоні обертів ГТД.

UGT 16000 є подальшим розвитком корабельного двигуна М8 (ДО59) – одного з перших газотурбінних двигунів другого покоління, що почали розроблятися НВКГ "Зоря"- "Машпроект" у середині 60-х років. З часом поряд із заходами щодо поліпшення економічності і ресурсу підвищувалися початкова температура газу перед турбіною та потужність двигуна. При збереженні компресорів, як на двигуні М2, потужність ГТД збільшувалася поетапно з 13,2 до 14,7 МВт, а потім до 16,5 МВт (модифікація ДН59) (табл. 2.1.6). У деяких корабельних модифікаціях уперше в світовій практиці використана реверсивна силова турбіна. У даний час ці двигуни продовжують широко використовуватися на кораблях ВМФ ряду країн.

Таблиця 2.1.6. Використання UGT 16000 на кораблях ВМФ та комерційних суднах

Модифікація двигуна	Початок експлуатації	Потужність, МВт	Кількість ГТД, виготовлених до 2000 р.	Тип агрегату, до складу якого входить двигун
ДО59	1968	13,2	9	М8
ДЕ59	1974	14,7	60	М7К, М12
ДК59	1974	16,5	151	М3Е, М5Е, М8Г, М8НЛ, М8М, Т-1
ДИ59	1979	14,2	8	М25
ДТ59	1980	15,8	70	М12А, М9, М9Б, М7Н, М21, М21А, М36
ДН59	1983	16,5	42	М8В, М3Н

На основі UGT 16000 у середині 70-х років були розроблені суднові газотурбінні установки з утилізацією тепла відхідних газів. Агрегатами М25 були обладнані чотири контейнеровози типу "Капитан Смирнов" (проект 1609), побудовані Чорноморським суднобудівним заводом (м. Миколаїв) у період з 1979 по 1987 р. Для кораблів проектів 1833 і 1164 були створені подібні агрегати Т-1 та М21.

Основні технічні характеристики агрегату М25 наведені нижче:

Сумарна потужність переднього ходу*	18,39 МВт
У тому числі:	
ГТД	14,12 МВт
парової турбіни	4,27 МВт
Питома витрата палива	не більше 0,238 кг/(кВт·год)
Частота обертання вихідного фланця редуктора	130 об/хв

* Для максимального режиму (без відбору пари на утилізаційний турбогенератор і суднові потреби).

Температура газів:	
перед котлом-утилізатором	663 К
за котлом-утилізатором	452 К
Потужність заднього ходу ГТД*	5,74 МВт
Ресурс:	
агрегату	100000 год
ГТД до капітального ремонту	25000 год
призначений ГТД	50000 год
Маса агрегату в робочому стані	149 т
У тому числі:	
ГТД з рамою, газовипускним патрубком, кожухом, ресорою, маслобаком та електроустаткуванням редуктора	19 т
котла-утилізатора з устаткуванням	55 т
ТУК	45 т
парової турбіни	22 т

* Використано двигун з реверсивною силовою турбіною.

Тепло відхідних газів у таких установках використовується для одержання додаткової механічної потужності в паровій турбіні, яка працює через підсумовуючий редуктор на гребний гвинт (рис. 2.1.26).

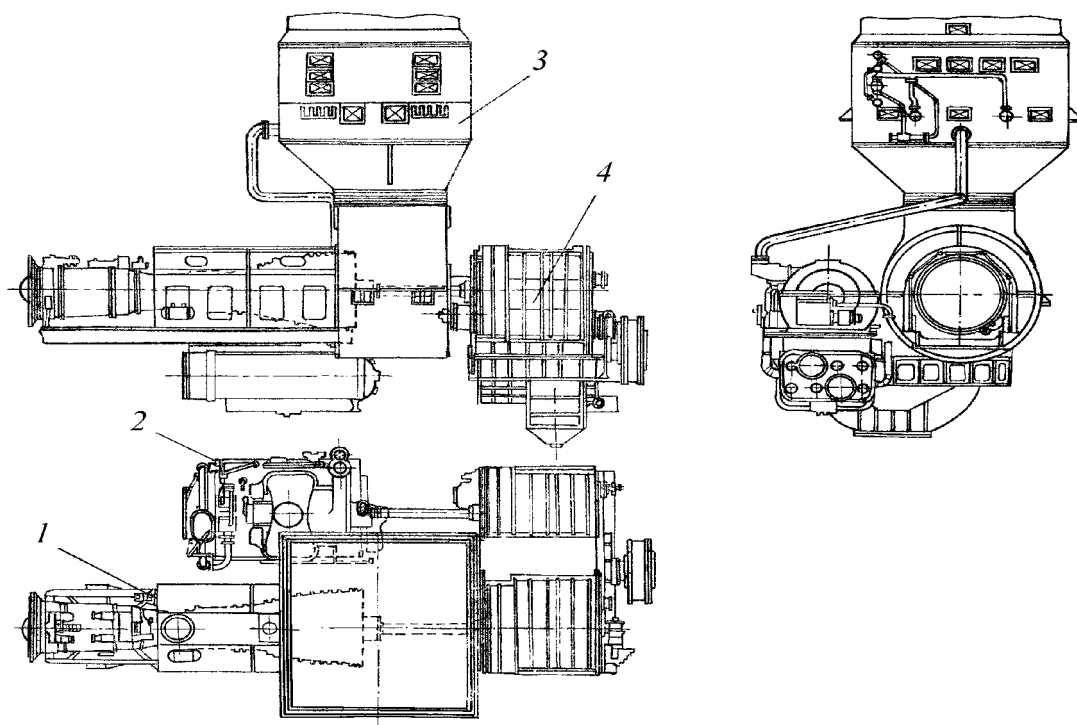


Рис. 2.1.26. Компонування газотурбінного агрегату М25:

1 – газотурбінний двигун; 2 – парова турбіна; 3 – котел-утилізатор; 4 – редуктор

Два агрегати М25 сумарною потужністю 36,8 МВт забезпечують контейнеровозу швидкість 25 вуз. Більше двадцяти років вони експлуатуються в різних кліматичних умовах. Сумарне напрацювання газотурбінних двигунів в агрегатах М25 на судах цієї серії перевищило 460 тис. год. Напрацювання кожного ГТД за рік складало приблизно 4000 год. Максимальне напрацювання з початку експлуатації одного двигуна склало 32 тис. год з одним середнім ремонтом.

Протягом тривалого періоду судна цієї серії належали Чорноморському морському пароплавству. Наприкінці 90-х років найновіше з них – "Владимир Васляев"* – було куплено командуванням морськими перевезеннями ВМС США. Інші три ролкери в даний час узяті англійською судноплавною компанією в бербоут-чартер і використовуються для розгортання сил швидкого реагування НАТО.

Широке застосування знайшов двигун UGT 16000 в енергетиці. Гарні масогабаритні характеристики, досягнуті економічність, ресурс і надійність дозволили використовувати його спочатку для пересувних та плавучих електростанцій, а потім і в складі стаціонарних енергоустановок. У період з 1980 по 1993 р. у різні регіони Радянського Союзу було поставлено більше 150 двигунів ДЦ59 потужністю 12 МВт (модифікація корабельного двигуна М8), починаючи з 1992 р. – більше 40 двигунів ДЖ59 потужністю 16 МВт (промислова версія корабельного ДТ59). Із січня 1996 р. на Мозирському нафтопереробному заводі (Білорусія) експлуатується газотурбінна електростанція ГТЭ-15 потужністю 15 МВт з утилізацією тепла газів, до складу якої входить двигун ДЖ59.

Основні технічні характеристики модифікацій UGT 16000 наведені нижче:

	ДЖ59**	ДТ59***
Потужність, МВт	16,3	15,8
ККД, %	31	28
Витрата повітря, кг/с	98,5	98,0
Міра підвищення тиску		12,7
Температура газу, К:		
початкова		1138
за ГТД	633	638
Частота обертання		
силової турбіни, об/хв	3000/5300	3500
Габарити, м	5,9×2,1×2,4	6,6×2,5×3,1
Маса, т	13	14
Ресурс, год:		
до капітального ремонту	25000	20000
призначений	75000	60000

Різні модифікації двигуна UGT 16000 є в даний час одними з найбільш розповсюджених приводів нагнітачів природного газу на компресорних

* У даний час має найменування "Roy M. Wheat".

** Промислова модифікація двигуна.

*** Корабельний реверсивний двигун.

станціях, розташованих на території колишнього Радянського Союзу. В агрегаті ГПА-10 використовується двигун ДР59 потужністю 10 МВт (промислова модифікація корабельного ДЕ59), у складі ГПА-16 – двигун ДЖ59Л2*. Напрацювання деяких із двигунів ДР59 без капітального ремонту досягло 100 тис. год, окремих двигунів ДЖ59Л2 – 35 тис. год.

З 1992 р. двигуни ДЖ59Л2 також широко використовуються для заміни застарілих приводів при модернізації агрегатів ГТК-10-4 і ГПА-25/76 розробки ВАТ "Невський завод" (було виготовлено 28 двигунів).

Експлуатаційні характеристики двигуна UGT 16000 зображені на рис. 2.1.27.

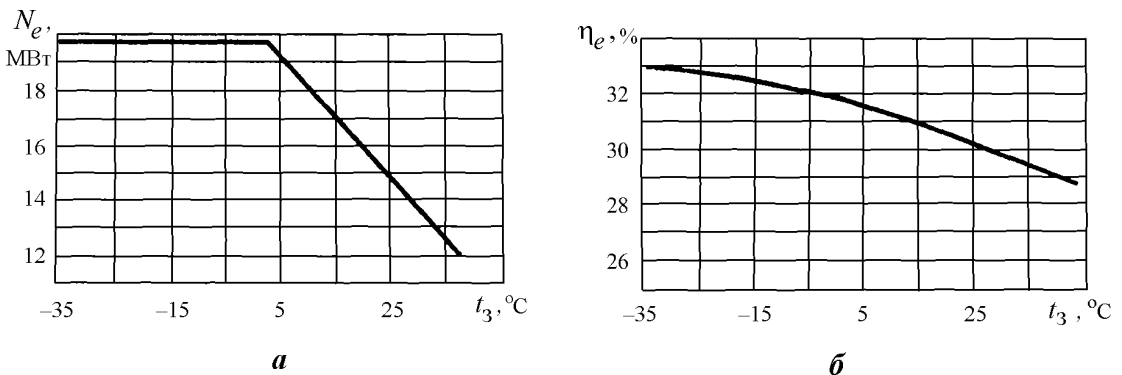


Рис. 2.1.27. Залежність потужності (а) і ККД (б) UGT 16000 від температури повітря на вході

Конструктивні особливості

Двокаскадний газотурбінний двигун з вільною силовою турбіною. Компресор осьовий. Число ступенів компресора – 7 + 9. Камера згоряння трубчасто-кільцева, прямоотокова. Число жарових труб – 10. Турбіни осьові. Число ступенів турбін компресорів – 2 + 2. Число ступенів силової турбіни – 2 або 3. Силова турбіна реверсивного і нереверсивного виконання. Напрямок обертання силової турбіни лівий або правий. Підшипники – 4 кулькових радіально-упорних та 7 роликів радіальних. Змащення циркуляційне під тиском. Стартер електричний ~380 В, 210 (3x70) кВт. Керування дистанційне, автоматичне.

Двигун UGT 25000

Газотурбінний двигун UGT 25000 (рис. 6Д) є першим двигуном четвертого покоління НВКГ "Зоря"-Машпроект" і найбільш потужним та економічним з уніфікованого ряду газотурбінних двигунів UGT 3000, UGT 6000, UGT 10000

* З 1991 р. НВКГ "Зоря"-Машпроект" виготовив більше 150 двигунів ДЖ59Л2 і разом з ВАТ "Констар" (м. Кривий Ріг) з 1978 р. – більше 550 двигунів ДР59.

і UGT 15000, призначених для приводу нагнітачів природного газу, електрогенераторів та суднових рушіїв [2, 5].

У конструкції UGT 25000 збережена традиційна схема – модульний двигун простого циклу з двокаскадним газогенератором і вільною силовою турбіною.

Основні переваги двигуна: високі ККД простого циклу і при часткових навантаженнях, можливість роботи на рідкому і газоподібному паливі в будь-яких кліматичних умовах, змінювана частота обертання силової турбіни, швидкі запуск і навантаження, компактна модульна конструкція, простота обслуговування в експлуатації.

UGT 25000 пристосований для роботи в установках з утилізацією тепла газів, а також для спільної роботи з дизелями, газовими і паровими турбінами.

Малі габарити і маса полегшують транспортування та монтаж двигуна на місці.

UGT 25000 оснащений засобами діагностичного контролю для раннього попередження відмов і несправностей. За допомогою бороскопів можна ретельно обстежувати стан проточної частини двигуна без розбирання.

Модульна конструкція забезпечує заміну вузлів в умовах експлуатації. Можлива заміна напіпних агрегатів, паливних форсунок, жарових труб, компресорів низького тиску та силової турбіни. Для зручності обслуговування основні і допоміжні агрегати встановлені в доступних місцях.

При проектуванні UGT 25000 максимально враховувався досвід розробки й експлуатації газотурбінних двигунів третього покоління, застосовуваних на флоті з 1972 р. Це компактні двигуни, що відрізняються високою економічністю, маневреністю, великим ресурсом, надійною роботою в морській і запиленій атмосфері. Експлуатація двигунів третього покоління на флоті до моменту створення UGT 25000 перевищила 200 тис. год.

Двигун випускається серійно з 1995 р.

Основні технічні характеристики UGT 25000 (в умовах ISO 2314) наведені в табл. 2.1.7, експлуатаційні характеристики – на рис. 2.1.28.

Таблиця 2.1.7. Основні технічні характеристики UGT 25000

Параметри	Модифікації двигуна*		
	ДГ80	ДН80**	ДА80
Потужність, МВт	27,5	26,5	28,7
ККД, %	36	36	37
Витрата повітря, кг/с	87	86	93
Міра підвищення тиску	21,8	21,8	23,6
Температура газу, К:			
початкова	1518	1518	1548
за ГТД	758	748	773
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000/3600	3700/4670	3270

Продовж. табл. 2.1.7

Параметри	Модифікації двигуна*		
	ДГ80	ДН80**	ДА80
Габарити, м	6,4×2,5×2,7		
Маса, т	16		
Ресурс, год:			
до капітального ремонту	25000	25000	20000
призначений	100000	100000	60000

* ДГ80 – модифікація двигуна для приводу генератора електричного струму, ДН80 – нагнітача газу компресорної станції, ДА80 (або М80) – нереверсивна суднова модифікація двигуна.

** Двигун, призначений для роботи у складі компресорних станцій, має кілька модифікацій силової турбіни за частотою і напрямком обертання: варіант ДН80Л з частотою обертання 3700 об/хв, що застосовується для модернізації агрегату ГПА-25/76 ВАР "Невський завод"; варіант ДН80П з частотою обертання 4850 об/хв і турбіною правого обертання, призначений для заміни двигуна MS5003 розробки фірми "General Electric" в імпортованих агрегатах ГТК-25И постачання фірми "Nuovo Pignone"; варіант ДУ80Л з частотою обертання 4850 об/хв лівого обертання, призначений для створюваних Сумським НВО ім. М.В. Фрунзе і ВАР "НПО "Искра" нових агрегатів ГПА-Ц-25С та ГПА-25С "Урал".

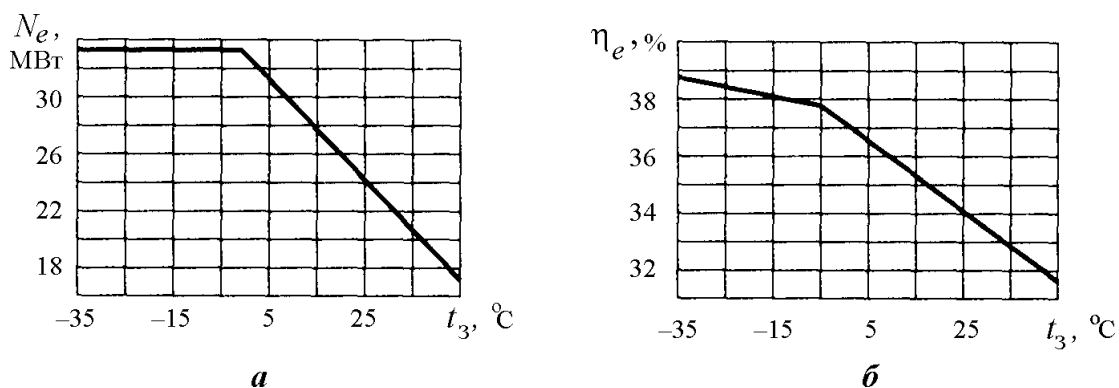


Рис. 2.1.28. Залежність потужності (а) і ККД (б) UGT 25000 від температури повітря на вході

Конструктивні особливості

До складу двигуна UGT 25000 (рис. 2.1.29) входять вхідний пристрій 1, два осьових компресори низького 2 і високого 3 тисків, що приводяться в обертання двома турбінами, відповідно низького 6 і високого 5 тисків, трубчато-кільцева протитокова камера згоряння 4 з віяловим розташуванням жарових труб та силова турбіна 7. Двигун установлений на рамі 9 і закритий теплозвукоізолюючим кожухом. Приведення напіпних агрегатів, а також стартерів 11 для запуску ГТД здійс-

снюється за допомогою коробок приводів 10 і 12, кінематично пов'язаних з ротором компресора низького тиску. Передача крутного моменту здійснюється за допомогою пружної муфти 8. ГТД має пристрої, що забезпечують прокручування компресорів непрацюючого двигуна.

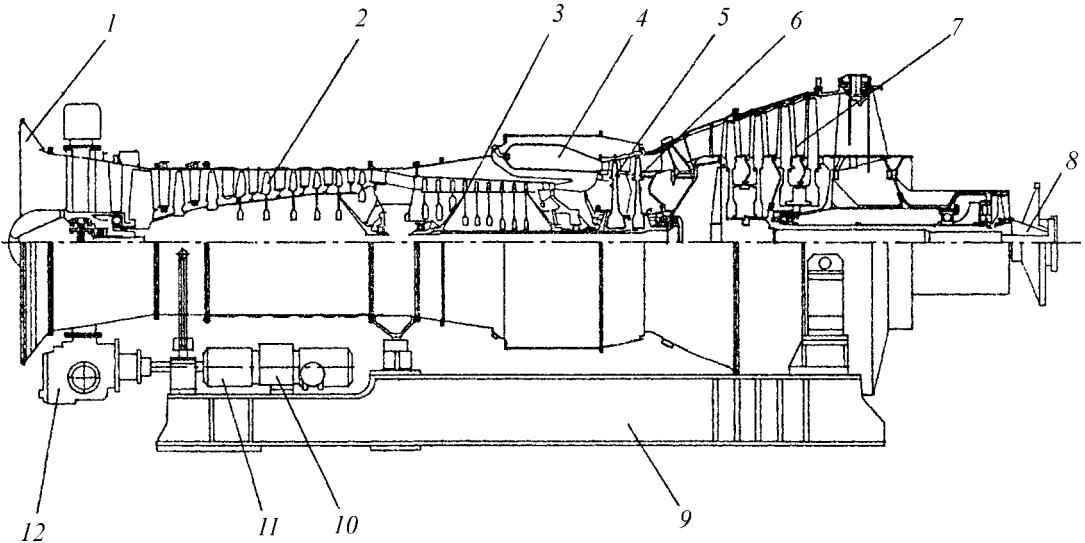


Рис. 2.1.29. Конструктивна схема двигуна UGT 25000

Компресор низького тиску (рис. 2.1.30) осьовий, дев'ятиступінчастий, складається із вхідного пристрою 1, переднього корпусу 2, корпусу поворотних апаратів 8, корпусу КНТ 12 та ротора КНТ 10.

Вхідний пристрій забезпечує плавне підведення повітря в компресор і складається із зовнішнього та внутрішнього обтічників. Кільцевий канал між обтічниками є початком проточної частини двигуна.

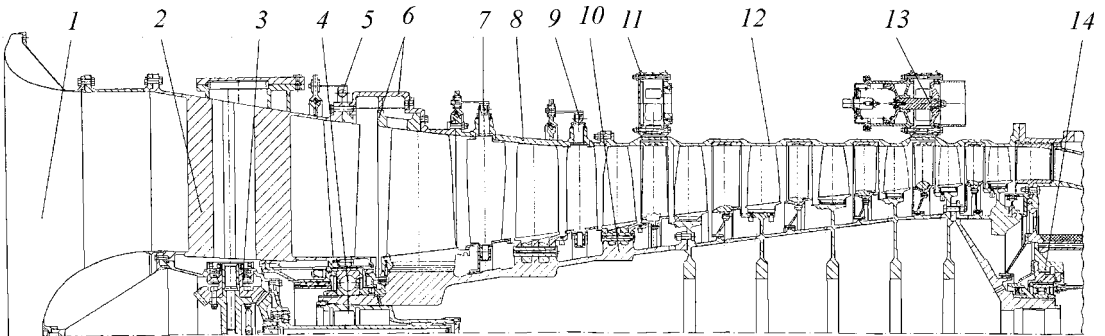


Рис. 2.1.30. Компресор низького тиску UGT 25000

У передньому корпусі 2 розміщені поворотний вхідний напрямний апарат 5, передня опора 4 та привід 3.

Корпус поворотних апаратів 8 призначений для встановлення механізмів повороту напрямних апаратів нульового 7 і першого 9 ступенів. Корпус КНТ 12 виконаний у вигляді порожнього циліндра із фланцями вертикального і горизонтального рознімання. На верхній і нижній половинах зовнішньої поверхні корпусу розташовані два повітрозбірники.

Через повітрозбірник 11 відбирається повітря з другого ступеня компресора на охолодження зовнішніх корпусів силової турбіни. У циліндричних проточках корпусу КНТ встановлюються напрямні апарати.

Ротор КНТ 10 складається з цапфи-диска нульового-другого ступенів, дисків, робочих лопаток та задньої цапфи. Він установлений на двох гнучких опорах: передній 4 і задній 14, розташований в перехіднику. Гнучкі опори виконані з масляними демпферами, що зменшують динамічні навантаження на підшипники і рівень корпусної вібрації.

Для забезпечення тривалої роботи в заданому діапазоні режимів і при запуску компресор низького тиску має три поворотні напрямні апарати: вхідний 5, нульового ступеня 7 і першого ступеня 9, лопатки яких синхронно обертаються загальним механізмом залежно від статичного тиску повітря в проточній частині на виході з КВТ. З метою збільшення запасів стійкості КНТ на малих режимах у нульовому ступені застосований антизривний пристрій 6, а за шостим ступенем установлені два клапани 13 випуску повітря з проточної частини в атмосферу. Застосування цих пристроїв забезпечує необхідний запас стійкості турбокомпресора низького тиску.

Привід 3 призначений для передачі крутного моменту від електростартерів до ротора КНТ при запуску і для приводу всіх начіпних механізмів під час роботи двигуна.

Компресор високого тиску (рис. 2.1.31) дев'ятиступінчастий, складається з перехідника 1, корпусу КВТ 2, силового корпусу 3, заднього корпусу 5 та ротора турбокомпресора 6.

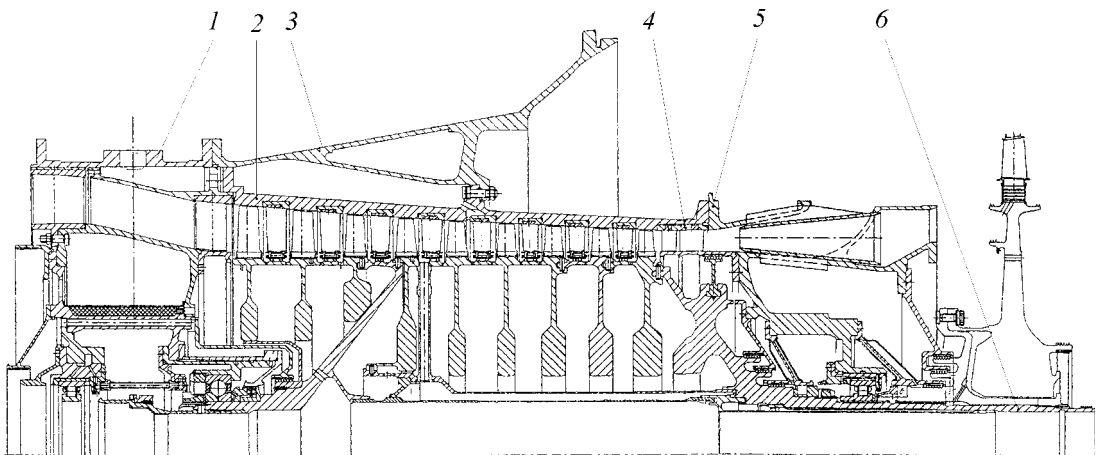


Рис. 2.1.31. Компресор високого тиску UGT 25000

Перехідник 1 призначений для плавного підведення повітря з КНТ до КВТ і розміщення напрямного апарата на виході з КНТ, задньої опори КНТ, передньої опори турбокомпресора високого тиску та вхідного напрямного апарата.

Корпус КВТ 2 являє собою обичайку, що має горизонтальне рознімання і служить для встановлення напрямних апаратів КВТ. До середнього фланця корпусу кріпиться силовий корпус 3, до заднього – задній корпус 5. На виході з корпусу компресора встановлений випрямний апарат 4, призначений для часткового зниження швидкості потоку повітря і забезпечення його осьового виходу в дифузор.

Силовий корпус 3 призначений для посилення конструкції в найбільш гарячому місці двигуна, а також використовується для кріплення комунікацій заднього корпусу.

Задній корпус 5 являє собою кільцевий дифузор, у якому відбувається зниження швидкості повітря і підвищення тиску перед входом до камери згоряння, а також здійснюється відбір повітря на охолодження лопаток соплового апарата ТВТ. У ньому розміщується задня опора турбокомпресора високого тиску.

У задньому корпусі за дев'ятим ступенем ротора розташована задня розвантажувальна порожнина КВТ, яка поєднана з порожниною перед диском турбіни високого тиску. Постановкою лабіринтових кришок різного діаметра досягається певна величина осьового зусилля на кульковий підшипник передньої опори КВТ.

Ротор 6 конструктивно поєднує ротори КВТ і ТВТ. Ротор КВТ дисково-барабанний, складається із дисків, робочих лопаток, передньої та задньої цапф. До ротора КВТ консольно прикріплений диск турбіни високого тиску. Передача крутного моменту від ротора ТВТ до ротора КВТ здійснюється через шліцьове з'єднання.

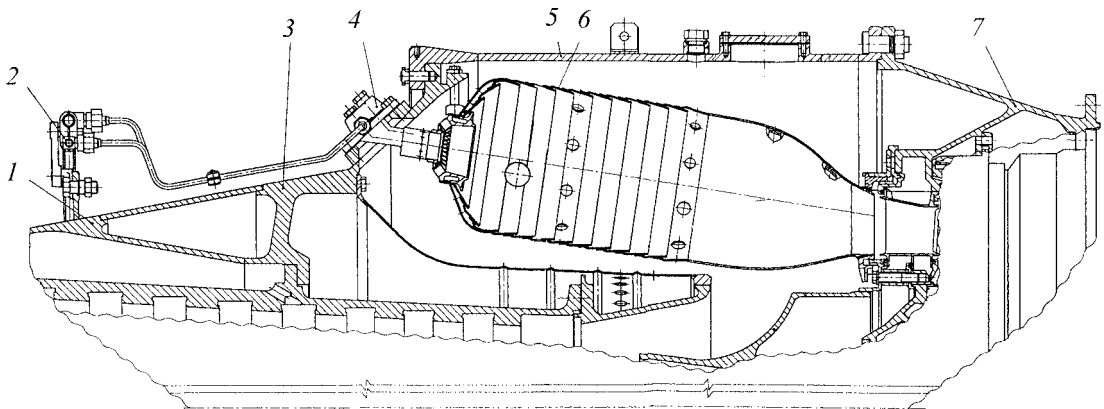
У компресорах на границях масляних і повітряних порожнин у районах опор установлені радіально-торцеві контактні ущільнення, які дозволяють зменшити безповоротні втрати масла, що йде в проточну частину, і знизити його температуру в районах опор шляхом зменшення прориву гарячого повітря в масляну порожнину.

*Камера згоряння** (рис. 2.1.32) складається з підвіски 1, силового корпусу 7, дифузора 8, кожуха камери згоряння 5, шістнадцяти жарових труб 6, розташованих у кільцевому просторі між зовнішнім і внутрішнім кожухами камери згоряння з невеликим підйомом головки, шістнадцяти форсунок 4, що кріпляться до бобишок, розташованих проти кожної жарової труби на корпусі КВТ 3, паливних колекторів 2 першого і другого ступенів, трубок підведення та запалювачів.

Внутрішній кожух камери згоряння, який виконує роль екрана і формує необхідне поле швидкостей повітряного потоку, складається з тонкостінної оболонки і двох фланців. Переднім фланцем кожух кріпиться до корпусу КВТ, а заднім спирається на зовнішню стінку корпусу заднього. На оболонці виконані порожнини для проходу труб комунікацій задньої опори, розташованої під камерою згоряння.

* Розглядається конструкція двигуна, що працює на рідкому паливі.

Запалювання палива в камері згоряння при запуску здійснюється двома запальвачами, які забезпечують запалювання паливоповітряної суміші в двох жарових трубах. Перекидання полум'я від однієї жарової труби до іншої виконується через полум'єперекидаючі патрубки жарових труб.



8

Рис. 2.1.32. Камера згоряння UGT 25000

Паливо подається і розпилюється шістнадцятьма двосопловими двоканальними відцентровими форсунками 4, що забезпечують якісний розпил палива у всьому діапазоні режимів роботи ГТД. Перший канал забезпечує запуск двигуна і роботу його на холостому ході. Інші режими роботи двигуна забезпечуються спільною роботою обох каналів.

Кожна жарова труба своєю хвостовою частиною (обоймою) телескопічно входить у проточки соплового апарата ТВТ. У головній частині втулкою завихрювача вона спирається на ковпачок форсунки і двома фіксаторами кріпиться до козирка корпусу КВТ. Така схема кріплення жарових труб забезпечує незмінне взаємоположення торця ковпачка форсунки і торця завихрювача жарової труби. Температурне подовження жарової труби компенсується телескопічним з'єднанням жарових труб і корпусу соплового апарата ТВТ.

Турбіна високого тиску (рис. 2.1.33) осьова, одноступінчаста, консольного типу, складається із соплового апарата і ротора. Сопловий апарат турбіни містить силовий корпус 1, соплові лопатки та напрямний апарат.

Лопатки соплового апарата охолоджувані. Охолодження вхідної крайки соплових лопаток плівкове, охолодження середньої частини лопаток і вихідної крайки використовує вихрову матрицю. Охолодне повітря підводиться до лопаток знизу. Направний апарат підводить його до робочих лопаток турбіни.

Ротор ТВТ складається з диска 15, поєднаного болтами із цапфою 14. Цапфа з диском 15 установлюється на цапфу компресора високого тиску і затягується гайкою. У пазах диска встановлені робочі лопатки турбіни.

Турбіна низького тиску (див. рис. 2.1.33) осьова, одноступінчаста, складається

із соплового апарата, ротора ТНТ і опорного вінця. Сопловий апарат турбіни містить корпус соплового апарата, блоки лопаток та діафрагму 17.

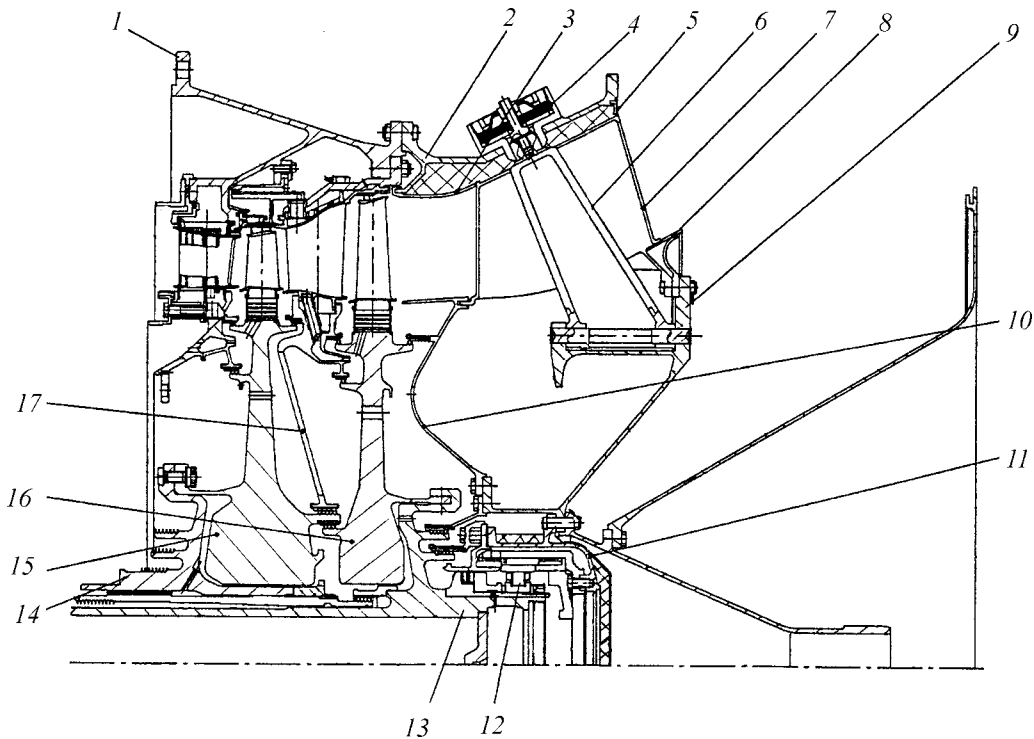


Рис. 2.1.33. Турбіни високого і низького тисків UGT 25000:

1 – силовий корпус; 2 – корпус опорного вінця ТНТ; 3, 4, 5 – зовнішній кожух; 6 – компенсатор; 7 – стояк; 8 – обтічник; 9 – корпус опори; 10 – передня стінка; 11 – корпус підшипника; 12 – роликовий підшипник; 13 – вал ТНТ; 14 – цапфа ТВТ; 15 – диск ТВТ; 16 – диск ТНТ; 17 – діафрагма

Блоки лопаток охолоджувані, консольні, зібрані по три лопатки в одному блоці. Система охолодження профільної частини блоків лопаток формується вихровою матрицею. Охолодне повітря підводиться до них через п'ятий ступінь КВТ зверху. Частина охолодного повітря проходить через лопатки і надходить у напрямний апарат для підведення до робочих лопаток турбіни.

Ротор ТНТ складається з диска 16, вала 13 та робочих лопаток. Вал з диском поєднані штифтами. У пазах диска встановлені робочі лопатки.

Опорний вінець призначений для розміщення задньої опори ротора й утворює проточну частину між ТНТ і силовою турбіною. Він складається з корпусу 2 і дев'яти обтічників 7. Через шість з дев'яти обтічників проходять силові стояки 6, поєднані з корпусом за допомогою компенсаторів 4 теплових розширень, через три інші обтічники – труба підведення повітря, труба підведення масла і труба зливу масла.

Силовая турбіна (рис. 2.1.34) осьова, чотириступінчаста, складається із соплових апаратів, ротора й опорного вінця.

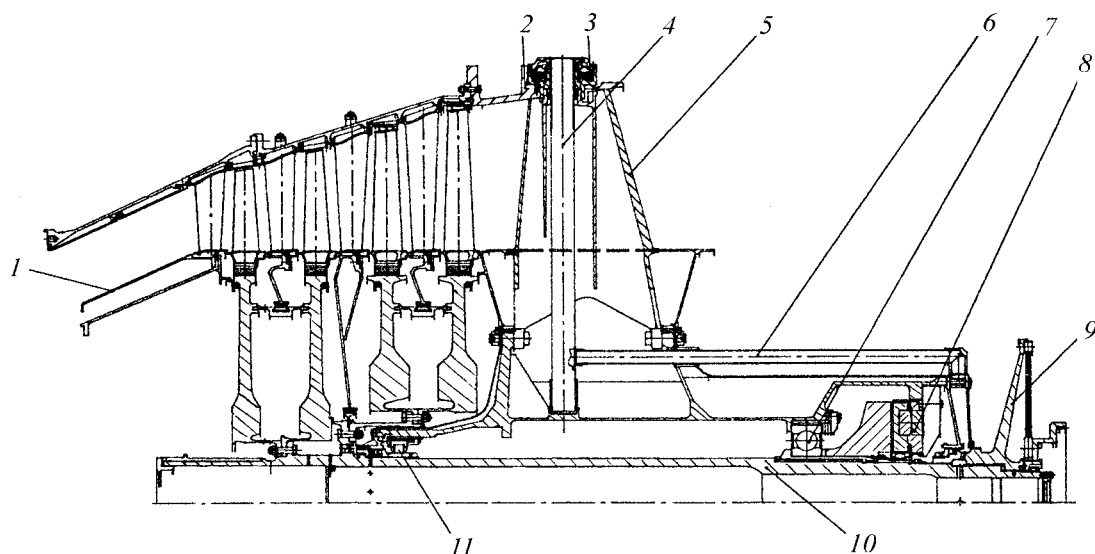


Рис. 2.1.34. Силовая турбіна UGT 25000

Ротор турбіни консольного типу, складається з вала 10, до якого кріпляться попарно диски 1–4-го ступенів. У ялинкові пази, виконані на ободах дисків, вставлені робочі лопатки. Консольність силовой турбіни поліпшує модульність конструкції двигуна, оскільки дозволяє в експлуатації при необхідності змінювати тільки газогенератор, не демонтуючи силову турбіну.

Опорами ротора є роликовий підшипник 11, кульковий підшипник 7 та упорний підшипник ковзання 8. На кінці ротора розташована пружна муфта 9, призначена для передачі крутного моменту від вала силовой турбіни до споживача, а також для компенсації зламів і неспіввісності* валів.

Опорний вінець турбіни складається з корпусу 2, компенсатора 3, дев'яти стояків-обтічників 5, внутрішнього кожуха 1 і корпусу підшипників, у якому розташовані опори ротора. Труби підведення повітря позначені 4 та 6.

Напрямок обертання силовой турбіни лівий або правий.

Високу готовність двигуна до дії забезпечують: циркуляційна система змащення з начіпним та електропривідним маслоагрегатами, паливна система з черпаковим паливним насосом, прилади контролю й автоматичного захисту, електричний (~380 В, 3х70 кВт) або пневматичний стартер для розкручування контуру низького тиску.

* З'єднувальна дискова муфта допускає перекіс валів до 0,5 град та осьовий зсув до 5 мм.

Двигун ГТД 110

Газотурбінний двигун ГТД 110 (рис. 2.1.35 та 7Д) призначений для використання у складі парогазових установок потужністю 325 і 170 МВт з метою вироблення електричної і теплової енергії в базовому, напівпіковому та піковому режимах застосування. На базі ГТД 110 за вимогою замовника може бути створена установка ГТЭ-110 з електрогенератором [10, 14].

За своїми техніко-економічними характеристиками ГТД 110 відповідає кращим світовим зразкам і є першим двигуном такого класу, створеним у країнах колишнього Радянського Союзу, у якого температура газів на вході в турбіну складає 1483 К, ККД – 36 %, концентрація NO_x у відхідних газах – менше 50 мг/нм³.

Маса двигуна в півтора-два рази менша, а вартість майже на 30 % нижча, ніж у світових зразків. За технічними й екологічними параметрами ГТД 110 відповідає вимогам ГОСТ 29328 і міжнародному стандарту API-616 на промислові газові турбіни.

Відмітною рисою двигуна ГТД 110 є малі габарити і маса, яка не перевищує 50 т. Це дозволяє здійснювати постачання двигуна на місце експлуатації в цілком зібраному і випробуваному вигляді єдиним модулем на рамі в тепло- та звукоізолюючому контейнері. Перед відправленням замовнику кожен зразок двигуна ГТД 110 проходить здавальні випробування з перевіркою його характеристик на номінальній потужності і пред'являється замовнику на відповідність параметрів, заданих у технічних умовах. Такий метод приймання газотурбінних двигунів та установок, який є прийнятим в авіаційній і суднобудівній промисловості, дозволяє різко знизити вартість та час монтажних і пусконаладжувальних робіт порівняно з традиційними енергетичними паротурбінними блоками. Загальний час монтажу і пусконаладжувальних робіт двигуна оцінюється приблизно в один-півтора місяця [11, 17, 23].

Привабливою особливістю ГТД 110 є можливість його встановлення на вже діючі електростанції. У процесі експлуатації забезпечується сервісне обслуговування. Капітальний ремонт здійснюється на заводі-виготовлювачі.



Рис. 2.1.35. Газотурбінний двигун ГТД 110

Даний двигун створений у результаті виробничої кооперації з російською компанією ВАТ "НПО "Сатурн". Розробка велася на замовлення РАТ "Единые энергетические системы России". Перший дослідний двигун був виготовлений у 1998 р. До 2000 р. він відпрацював чотири дослідно-довідних цикли на дизельному і газоподібному паливі. Випробування на заводському стенді НВКГ "Зоря"- "Маш-проект" показали повну відповідність експериментальних характеристик ГТД 110 їхнім проектним значенням і підтвердили правильність рішень, закладених у конструкцію.

Другий двигун, зібраний у серпні 2001 р., після заводських випробувань був установлений на Іванівській ДРЕС (м. Комсомольськ, Росія). Після проходження міжвідомчих випробувань у складі стенда ГТЭ-110 з видачею електричної потужності в енергосистему він був у вересні 2003 р. прийнятий в експлуатацію. У період 1998–2003 рр. загальне еквівалентне напруження обох двигунів ГТД 110 складо 20000 год.

Аналогічні агрегати намічається поставити на Конаківську, Щекінську і Краснодарську ДРЕС, Калінінградську ТЕЦ-2, Північно-Західну ТЕЦ (ВАТ "Лен-енерго"), Елістинську ДРЕС і деякі інші об'єкти РАТ "ЕЭС России". За експертними оцінками, орієнтовний попит на ГТД 110 у найближчі десять років складе близько 100 шт. для двох десятків російських електростанцій.

Основні технічні характеристики ГТД 110 (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

	Базовий режим	Піковий режим
Номинальна потужність, МВт	114,5	125,0
ККД, %	36,0	36,5
Витрата повітря, кг/с	357	15,0
Міра підвищення тиску		
Температура газу, К:		
перед турбіною	1483	1541
за ГТД	790	820
Витрата паливного газу $(H_u = 50090 \text{ кДж/кг})$, кг/год	22510	24220
Частота обертання ротора ГТД, об/хв	3000	
Ресурс, год:		
до капітального ремонту	25000 при числі пусків не більше 300	4000 при числі пусків не більше 1000
призначений	100000 при числі пусків не більше 1000	16000 при числі пусків не більше 5000
Концентрація NO _x , мг/нм ³ (при 15 % O ₂), не більше	50	—
Габарити, м, не більше	5,7×3,7×4,0	
Маса, т	50	

* Використовується природний газ з тиском 2,5 МПа, аварійне паливо – дизельне за ГОСТ 305–82.

Експлуатаційні характеристики ГТД 110 зображені на рис. 2.1.36. Російська сторона відносить створення ГТД 110 до числа пріоритетних розробок, упровадження яких дозволить ліквідувати наявне технологічне відставання електроенергетичного комплексу Росії від інших промислово розвинутих країн. Передбачається, що двигун ГТД 110 стане основою гами двигунів потужністю 60...160 МВт, застосовуваних у парогазових та енергетичних установках у діапазоні потужностей 90...500 МВт із ККД 55...58 % (табл. 2.1.8).

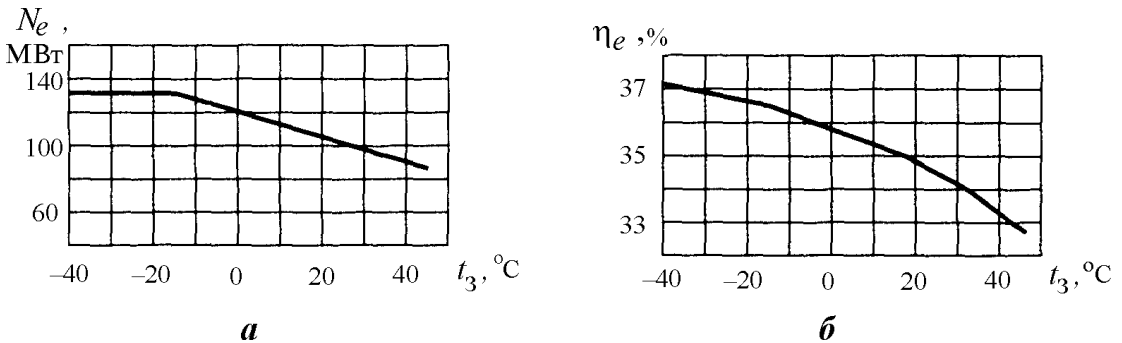


Рис. 2.1.36. Залежність потужності (а) та ККД (б) ГТД 110 від температури повітря на вході

Таблиця 2.1.8. Характеристики розроблюваних газотурбогенераторів на основі ГТД 110

Параметри	ГТЭ-60	ГТЭ-110+	ГТЭ-110М
Потужність, МВт:			
на клеммах генератора	60	140	160
компрессора	78,8	170,5	172,6
ККД ГТД в умовах ISO 2314, %	36,3	37,5	38,0
Витрата, кг/с:			
повітря через компрессор	198,2	407,0	407,0
вихлопних газів	187,5	412,6	413,3
Міра підвищення тиску	14,7	16,6	17,0
Температура, К:			
газу перед турбіною	1483	1551	1655
вихлопних газів	790	816	872
Витрата палива (газ $H_u = 50056$ кДж/кг), кг/год	11887	26850	30282
Частота обертання газогенератора, об/хв	4060	3000	3000
Планований рік розробки	2003	2004	2005

Конструктивні особливості

Газотурбінний двигун ГТД 110 (рис. 2.1.37) виконаний однокаскадним із

двохопорним ротором та відбором потужності з боку компресора. Він складається з компресора 1, камери згоряння 2, турбіни 3 і комунікацій.

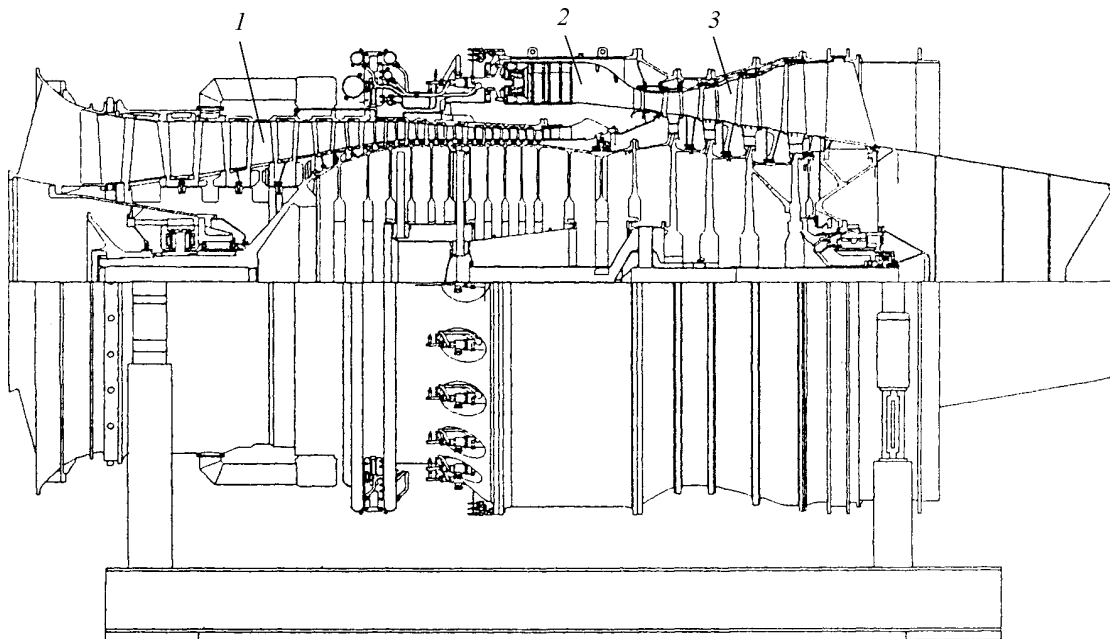


Рис. 2.1.37. Конструктивна схема ГТД 110

Компресор (рис. 2.1.38) осьовий, має 15 ступенів. У ньому передбачене керування кутом установлення лопаток поворотного входного напрямного апарата за допомогою електропривода.

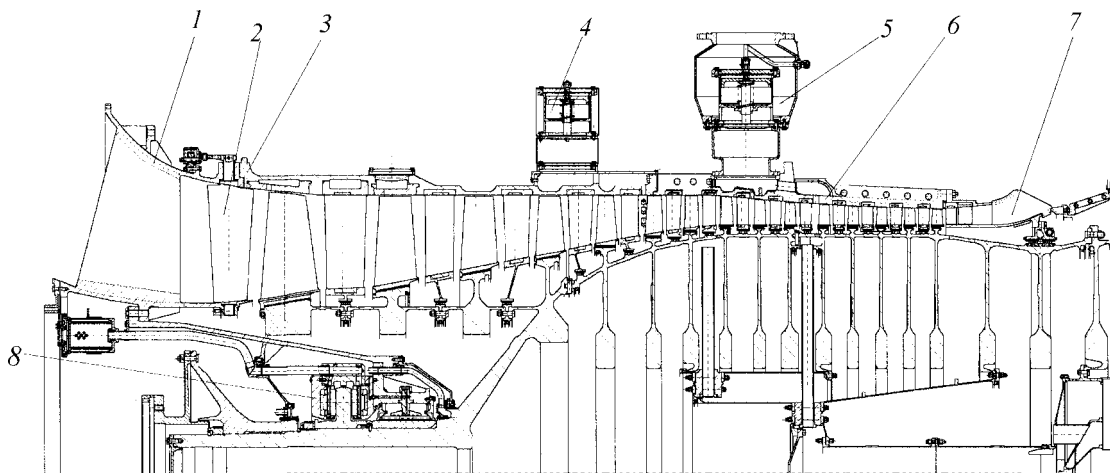


Рис. 2.1.38. Компресор двигуна ГТД 110

Передній корпус 1 компресора є одним з елементів силової схеми двигуна,

через який передаються радіальні й осьові навантаження, що виникають при обертанні ротора, на передню опору 8 двигуна. Він виконаний у вигляді профільованих обичайок, з'єднаних між собою профільними стояками. У проточній частині між зовнішньою і внутрішньою стінками здійснюється плавний поворот повітря від радіального напрямку до осьового.

У передньому корпусі розміщені передня опора ротора і вхідний напрямний апарат 2, на зовнішній обичайці змонтований механізм повороту вхідного напрямного апарата.

Передня опора складається з двох підшипників ковзання – опорного й упорного. Опорний підшипник ковзання містить корпус і п'ять самоустановлюваних сегментів. Сегменти на поверхні, що стикається з передньою цапфою ротора, мають антифрикційний шар. З азотованою поверхнею корпусу опори контактує криволінійна поверхня сегментів, що дозволяє їм самовстановлюватися відносно цапфи ротора. Упорний підшипник ковзання двосторонній, складається з 28 колодок та упорного гребеня. Колодки розташовані по 14 штук з кожної сторони гребеня і з боку гребеня мають антифрикційний шар, із протилежної же сторони в них уставлений сферичний упор з азотованої сталі, який спирається на пружні пластини. Сферичні упори дозволяють колодкам самовстановлюватися щодо упорного гребеня, а пружні пластини, що прогинаються під дією осьової сили, компенсують перекид упорного гребеня. Змащення й охолодження деталей підшипника здійснюються струминною подачею масла з форсунок, установлених між колодками, і з отворів, що сполучають масляні канали корпусу підшипника з його внутрішньою порожниною.

Корпус 1–5-го ступенів 3 компресора призначений для розміщення п'яти напрямних апаратів. Над робочими лопатками 1-го і 2-го ступенів організовані антизривні пристрої, виконані в корпусі компресора у вигляді кільцевих камер, у які повітря попадає через щілинні кільця. Над компресором також розміщений клапан перепуску повітря 4.

Напрямні апарати виконані у вигляді зовнішнього і внутрішнього півкільця, поєднаних між собою напрямними лопатками. Кожна лопатка в зовнішнє кільце встановлюється хвостовиком типу "ластівчин хвіст", у внутрішнє – призматичним хвостовиком. У внутрішніх кільцях лопатки фіксуються штифтовкою.

Корпус компресора зварений, складається з двох половин із горизонтальним розніманням. За напрямним апаратом 5-го ступеня організований відбір повітря при запуску ГТД.

Корпус 6–14-го ступенів 6 містить у собі напрямні апарати 6–14-го ступенів та дифузори 7. За своєю конструкцією і матеріалом корпус та напрямні апарати аналогічні корпусу компресора і напрямним апаратам 1–5-го ступенів.

На корпусі 6 виконані відбори повітря за 8-м ступенем на охолодження корпусів і соплових лопаток турбіни та відбір повітря за 10-м ступенем, з якого через п'ять клапанів 5 здійснюється перепуск повітря в атмосферу для забезпечення сталої роботи двигуна при запуску. Через 10-й ступінь та протиобліднювальний клапан також відбирається повітря на протиобліднювальну систему.

Ротор компресора дисково-барабанної конструкції, складається з трьох начіпних дисків (1–3-го ступенів), диска-цапфи 4-го ступеня, двох барабанів (5–10-го і 11–15-го ступенів) та робочих лопаток.

Барабани поєднані між собою і з диском-цапфою за допомогою штифтів. Начіпні диски з'єднані між собою через лабіринтові втулки стяжними болтами. Робочі лопатки встановлені в пазах дисків замковою частиною типу "ластівчин хвіст". Осьова фіксація лопаток здійснюється пластинчастими замками.

За 7-м і 10-м ступенями з допомогою радіально встановлених труб організовані відбори повітря в порожнину ротора. Відбір за 7-м ступенем призначений для охолодження дисків компресора, а за 10-м – для охолодження ротора турбіни.

На 17-му диску компресора встановлений двопоясний розвантажувальний лабіринт і є фланець для поєднання ротора компресора з ротором турбіни за допомогою призонних болтів.

Камера згоряння (рис. 2.1.39) протитокова, трубчасто-кільцевого типу, має двадцять жарових труб, які забезпечують роботу на двох видах палива – газоподібному і рідкому.

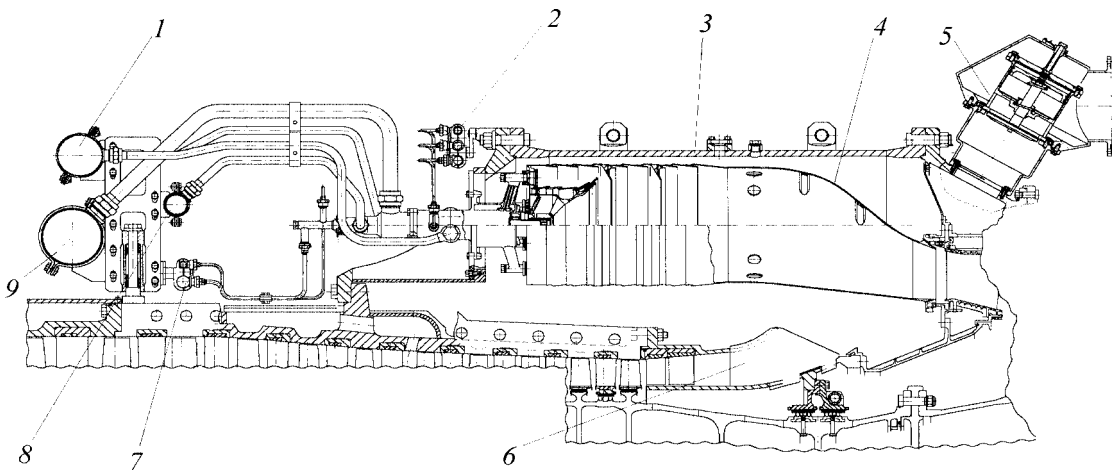


Рис. 2.1.39. Камера згоряння двигуна ГТД 110:

1 – газовий колектор форсунок пілотної зони; 2 – колектори рідкого палива форсунок пілотної зони; 3 – кожух камери згоряння; 4 – жарова труба; 5 – клапан перепуску повітря; 6 – дифузор; 7 – колектори рідкого палива основної форсунки; 8 – газовий колектор дифузійної зони; 9 – газовий колектор гомогенної зони

Жарові труби 4 складаються з двох частин: кільцевої головної частини й основної труби, які утворюють дві зони горіння при роботі двигуна. Кожна кільцева частина має фронтową дошку з вісьмома осерадіальними завихрювачами та передкамерою. Внутрішня стінка кільцевої частини виконана у вигляді циліндра із системою конвективно-загороджувального охолодження. Зовнішня стінка кільцевої частини й основної труби виготовлена двошаровою "черепичного" типу із системою конвективно-загороджувального охолодження.

Зовнішня стінка жарової труби складається з трьох сегментних частин, поєднаних у циліндр. Кожен сегмент стінки складений з набору сегментних вставок, закріплених на зовнішньому корпусі за допомогою зачепів і заклепок.

У центрі головної частини жарової труби розташовується двоярусний завихрювач. Внутрішній ярус складається з лопаткового осерадіального завихрювача з передкамерою, який має 12 лопаток, зовнішній – так само, тільки без передкамери. Двоярусний завихрювач має 12 трубок підведення газоподібного палива.

Змішувач жарової труби виконаний у вигляді конфузорного (за газом) патрубка з конвективною і конвективно-загороджувальною системами охолодження. Роботу конвективної системи охолодження забезпечує повітря, що виходить з осерадіального дифузора 6 при обтіканні змішувача по поверхні з боку внутрішнього діаметра камери згоряння і бічних поверхонь.

Обойма жарової труби забезпечує газощільне телескопічне поєднання жарової труби з одним сопловим апаратом турбіни по чотирьох поверхнях. Крім закріплення в сопловому апараті кожна жарова труба в районі головної частини кріпиться до силового корпусу двома фіксаторами.

Паливні форсунки комбіновані, призначені для подачі газоподібного і рідкого палива. Для запалювання палива при запуску в камері згоряння передбачені плазмові запалювачі: два для газоподібного і два для рідкого палива.

Кожух 3 обмежує кільцевий канал камери згоряння по зовнішньому діаметру і є елементом силової схеми двигуна. На ньому є місця для встановлювання запалювачів. Кожух містить дві частини і має горизонтальне рознімання, яке складається з фланцевого з'єднання і стяжної планки.

Турбіна двигуна (рис. 2.1.40) осьова, чотириступінчаста, складається із соплових апаратів 1–4 першого-четвертого ступенів зі своїми зовнішніми корпусами, ротора 5 та опорного вінця 6. Корпус турбіни має тільки вертикальні рознімання, корпус соплового апарата 2-го ступеня – горизонтальне рознімання, яке забезпечує можливість демонтажу і заміни робочих лопаток 1-го та 2-го ступенів і соплових лопаток 2-го ступеня без розбирання інших корпусів двигуна.

Соплові апарати 1–3-го ступенів і робочі лопатки 1-го та 2-го ступенів охолоджувані. Охолодження соплового апарата 1-го ступеня конвективно-плівкове вторинним повітрям, 2-го і 3-го ступенів конвективне кондиціонованим повітрям, відібраним за компресором.

Ротор турбіни, поєднаний з ротором компресора болтовим з'єднанням, складає одне ціле – ротор двигуна.

Диски перших трьох ступенів турбіни з'єднані електронно-променевим зварюванням. Диск 4-го ступеня через конічний перехідник приєднаний болтами. Ротор через втулку і цапфу, що кріпиться до диска 4-го ступеня болтами, спирається через колодки упорного підшипника на статор. На роторі з боку диска 4-го ступеня начеплений диск, що несе лабіринтові вставки для організації розвантажувальної порожнини. З боку диска 1-го ступеня на ротор начеплений проміжний диск, який забезпечує підведення охолодного повітря і несе частину барабана ротора.

Усередині ротора закріплені кожухи, що забезпечують підведення охолодного повітря до робочих лопаток і дисків.

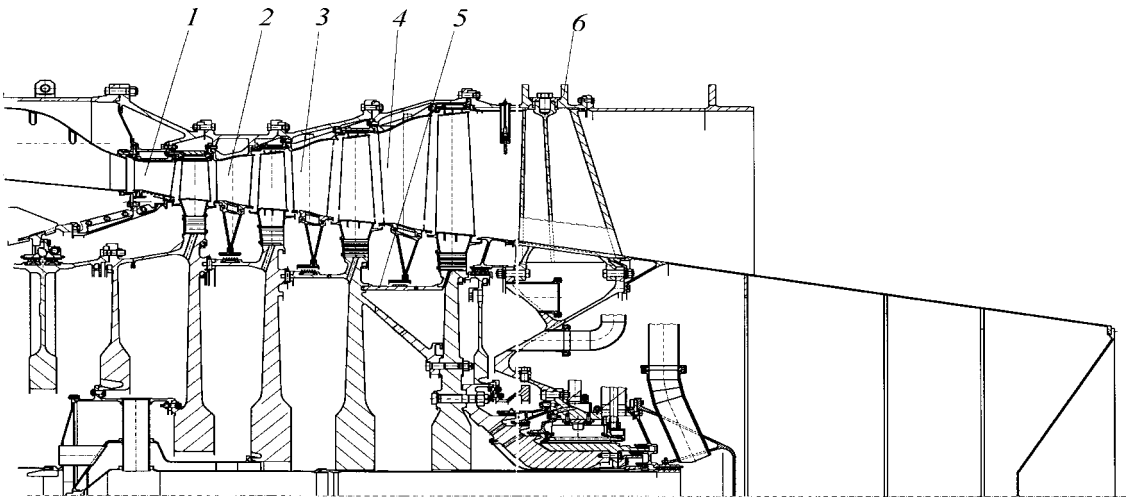


Рис. 2.1.40. Турбіна двигуна ГТД 110

Робочі лопатки 1-го ступеня литі, з конвективним охолодженням, без бандажної полиці. Робочі лопатки інших ступенів обандажені.

В опорному вінці турбіни розміщений опорний підшипник ковзання, який складається з п'яти самоустановлюваних колодок. Підведення масла здійснюється розбризкуванням через жиклери кільця-колектора на цапфу ротора.

Внутрішній корпус опорного вінця з'єднується з зовнішнім корпусом дванадцятьма стояками, що проходять через проточну частину турбіни.

У зовнішньому корпусі опорного вінця встановлені двадцять патрубків для розміщення термопар виміру температури газу на виході з турбіни. У районі горизонтальної площини розташовані дві опори для встановлення двигуна на раму. У конструкції опор передбачені цапфи для підйому двигуна краном.

Кріплення двигуна до рами здійснюється однією передньою і двома задніми опорами. Передня опора нерухома і являє собою твердий лист із ребрами, що кріпиться до фланця переднього корпусу компресора і до тумби рами. Задні опори кріпляться до цапфи опорного вінця турбіни і складаються з гнучких листів, установлених у два яруси у взаємно перпендикулярних площинах.

На бічній поверхні рами є чотири висувних рими для підйому двигуна на рамі з кожухом. При транспортуванні рими вводяться всередину рами, щоб не виходити за транспортний габарит.

2.1.2.2. Когенераційні газотурбінні установки. НВКГ "Зоря"- "Машпроект" має 30-літній досвід створення когенераційних газотурбінних установок, що забезпечують спільне вироблення електричної і теплової (у вигляді пари чи гарячої

води) енергії. Перші установки подібного роду підприємство почало поставляти в першій половині 70-х років на плавучі електростанції типу "Северное сияние". Відтоді НВКГ "Зоря"- "Машпроект" набув значного досвіду створення компактних теплоутилізаційних контурів, заснованих на малогабаритних утилізаційних котлах змійовикового типу з примусовою циркуляцією. Сумарне напруцювання таких котлів у судновій і стаціонарній енергетичній установках перевищує 100 тис. год.

Котел, що утилізує тепло випускних газів, разом із всім обслуговуючим устаткуванням установлюється на вихлопі ГТД. Газовідвід котла оснащений системою шумоглушіння. Пара і гаряча вода, вироблені утилізаційним контуром, можуть використовуватися в технологічних процесах або для теплофікації (опалення).

На основі своїх газотурбінних двигунів НВКГ "Зоря"- "Машпроект" розробив ряд когенераційних установок, оснащених теплоутилізаційними контурами на тиск пари 1,2...2,5 МПа (табл. 2.1.9) [26].

Таблиця 2.1.9. Основні технічні характеристики когенераційних установок

Тип установки	Потужність, кВт			ККД, %	КВП, %		Витрата		
	електрична	парова	водогрійна		паровий	паровий + водо-грійний	пари, т/год	паливного газу, м ³ /год	рідкого палива, кг/год
UGT 2500C	2750	4730	1000	27,5	75,0	84,8	6,3	1000	840
UGT 6000C	6000	8600	1900	30,1	73,2	82,8	11,1	2000	1680
UGT 6000+C	7900	11200	1970	31,3	75,7	83,5	14,4	2530	2130
UGT 10000C	9900	12900	2140	33,4	76,9	84,1	15,7	2980	2500
UGT 16000C	14500	18640	8400	27,9	63,8	79,9	24,5	5220	4380
UGT 15000C	16000	19500	4390	32,5	72,1	81,0	24,4	4940	4150
UGT 15000+C	18500	22700	4140	33,4	74,4	81,9	27,9	5560	4670
UGT 25000C	25000	28500	7000	34,8	74,5	84,2	35,1	7210	6060

Характеристики і кількість пари можуть змінюватися за вимогою замовника в межах наявної теплової потужності. Додаткові парові секції низького тиску (0,3... ..0,6 МПа) і водогрійні секції для теплофікації можуть підвищити кількість утилізованого тепла на 25...35 %.

При необхідності значного збільшення кількості вироблюваної пари та (чи) гарячої води (наприклад, у зимовий період) утилізаційний котел може оснащуватися додатковою камерою згоряння.

2.1.2.3. Установки з упорскуванням пари в проточну частину ГТД (варіант STIG). З другої половини 80-х років НВКГ "Зоря"- "Машпроект" розробляє газотурбінні установки з подачею пари в проточну частину ГТД. Як і в когенераційних установках, енергія випускних газів двигуна використовується для вироблення пари в утилізаційному котлі. Однак, на відміну від них, отримана пара надалі не використовується як теплоносії, а підводиться в проточну частину турбіни ГТД як додаткове робоче тіло для одержання додаткової механічної енергії. За термінологією, прийнятою в англійських країнах, такі установки належать до класу STIG (STeam In Gas).

Установки з упорскуванням пари в проточну частину ГТД характеризуються: найбільшим приростом потужності (до 80 %), мінімальними значеннями емісії NO_x і CO без додаткових витрат та малими капітальними витратами на одиницю встановленої потужності.

НВКГ "Зоря"- "Машпроект" пропонує два типи установок, що працюють за циклом STIG, – установки з неконвертованою (S1) і конвертованою (S2) проточною частиною газотурбінного двигуна (табл. 2.1.10).

Таблиця 2.1.10. Основні характеристики установок з упорскуванням пари

Тип установки	Потужність електрична, кВт		ККД, %		Витрата		
	з подачею пари	без подачі пари	з подачею пари	без подачі пари	пари, т/год	газу, м ³ /год	рідкого, палива т/год
UGT 2500S1	4300	2750	35,5	27,5	6,3	1220	1020
UGT 6000S1	8000	6000	36,3	30,1	11,1	2210	1860
UGT 10000S2	16000	6700	43,0	30,0	12,9	3740	3140
UGT 15000S2	25000	11400	42,0	28,3	24,0	5980	5020
UGT 25000S1	30800	25000	40,0	34,8	35,1	7730	6490
UGT 25000S2	40700	17000	42,8	31,7	46,4	9550	8020

Установки типу S1 можуть з високою ефективністю використовуватися як у варіанті когенерації – з передачею пари зовнішньому споживачу, так і для одержання додаткової електричної енергії при подачі пари в проточну частину ГТД. При цьому в обох випадках забезпечується високий ККД роботи установки. Такі можливості установок типу S1 дозволяють з максимальною ефективністю використовувати пару для оптимізації режиму роботи установки [26].

Унаслідок конвертації проточної частини ГТД установки типу S2 забезпечують одержання максимальних потужності і ККД при роботі в режимі впорскування пари.

Додатковим позитивним ефектом установок, що працюють за циклом STIG, є істотне поліпшення екологічних характеристик ГТД. Частина пари, що підводиться до двигуна, подається в зону горіння камери згоряння ГТД. При цьому відбуваються оптимізація процесу згоряння палива та істотне зниження рівня емісії оксидів азоту NO_x .

2.1.2.4. Установки типу "Водолій". При роботі газотурбінної установки за циклом STIG пара після спрацювання в проточній частині двигуна разом із вихлопними газами безповоротно йде в атмосферу. При цьому втрачається велика кількість прісної котлової води. Для її поповнення* (із забезпеченням потрібної якості для роботи парових котлів) необхідна наявність спеціального цеху водопідготовки. У деяких випадках викид великих кількостей парогазової суміші несприятливо впливає на екологічну обстановку в районі експлуатації таких установок [20, 28].

В НВКГ "Зоря"- "Машпроект" за участю провідних спеціалістів Українського державного морського технічного університету (Я.Х. Сорока, М.О. Дикий, М.В. Ващиленко, А.П. Шевцов) для скорочення витрат на підготовку живильної води розроблена оригінальна технологія "Водолій", яка дозволяє виділяти пару з вихлопних газів для повторного використання в циклі.

З 1985 р. на підприємстві проводилися теоретичні, а потім і експериментальні дослідження вловлювання води з парогазового потоку. До 1991 р. експериментально була підтверджена можливість ефективної регенерації води з парогазового потоку і встановлені основні геометричні співвідношення пристроїв для регенерації.

Для регенерації води була розроблена конструкція контактного конденсатора-газоохолоджувача (рис. 2.1.41). У контактному конденсаторі 3, встановленому на вихлопному патрубку котла-утилізатора 2, внаслідок зрошення водою відбувається охолодження парогазової суміші до температури, меншої від точки роси водяної пари, висаджування води і збирання конденсату. Зібраний конденсат надходить у збірник 5, очищається від домішок і подається знову в котел-утилізатор.

Для поліпшення екологічних характеристик ГТД частина пари, що підводиться до камери згоряння 9, надходить безпосередньо в зону горіння** (так зване *екологічне підведення пари*), інша частина (так зване *енергетичне підведення*) змішується з газом на виході з камери згоряння.

Позитивним ефектом роботи установок типу "Водолій" є їхня здатність генерувати додаткову кількість прісної води, яка утворюється в результаті хімічної

* Близько 20...30 т/год для установки потужністю 16...25 МВт.

** Приблизно 15 % від загальної витрати пари.

реакції окиснювання вуглеводневого палива при його спалюванні в камері згоряння ГТД 9. Тому кількість води, висадженої в контактному конденсаторі, більша від кількості пари, виробленої котлом-утилізатором.

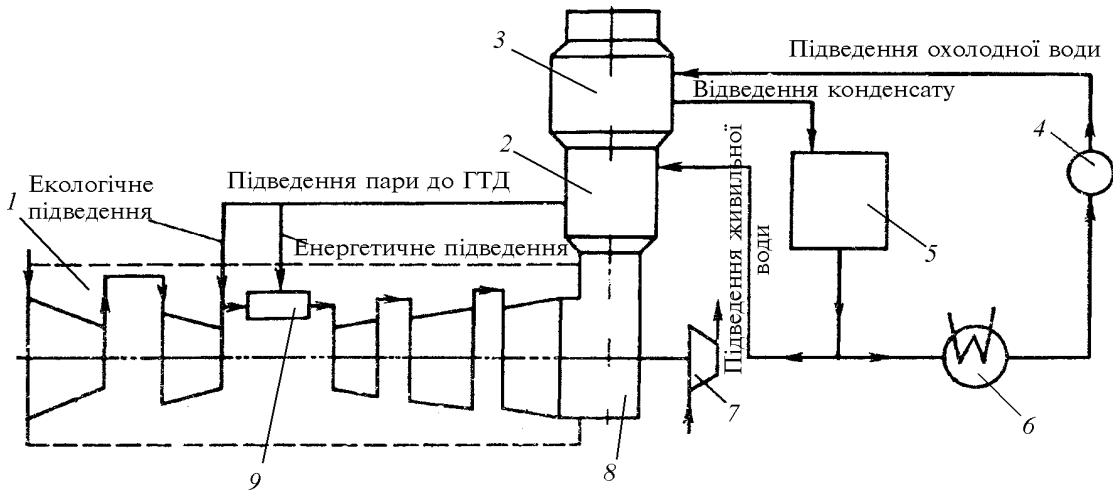


Рис. 2.1.41. Схема контактної парогазової установки:

1 – газотурбінний двигун; 2 – котел-утилізатор; 3 – парогазовий конденсатор; 4 – електронасос;
5 – збірник конденсату; 6 – охолоджувач; 7 – споживач потужності; 8 – газівідвід;
9 – камера згоряння ГТД

Проектні рішення відпрацьовувалися на установці потужністю 25 МВт, яка складалася з газотурбінного двигуна UGT 15000 (ДС90), котла-утилізатора КУП 3100, розміщеного на газовихлопі ГТД, контактного парогазового конденсатора КК-90, системи впорскування охолодної води в конденсатор для охолодження газопарового потоку до температури конденсації, системи збору суміші охолодної води і конденсату, охолодження цієї суміші до необхідної температури і наступного впорскування її частини в конденсатор.

Двигун ДС90 (див. також табл. 2.1.5) був отриманий шляхом доробки серійного двигуна UGT 15000. У ньому була змінена пропускна здатність турбін, камера згоряння пристосована для впорскування пари, організовані системи подачі пари. Витрата впорскуваної пари на номінальному режимі склала 8,1 кг/с (12,5 % від витрати повітря) при тиску впорскування 2,0 МПа.

Котел-утилізатор КУП 3100 серійно випускається для суднових агрегатів М25, установлюваних на контейнеровозах типу "Капитан Смирнов". Температура газопарової суміші на вході до нього склала 623 К, на виході – 450...470 К, паропроодуктивність – 29...30 т/год.

Характеристики контактного конденсатора КК-90 (рис. 2.1.42) наведені нижче:

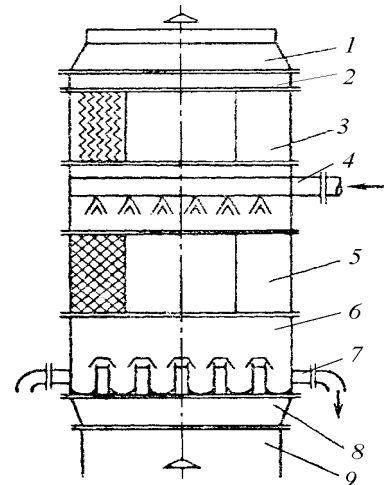
Площа поперечного перерізу на вході	20,3 м ²
Габарити	5,85×3,53×3,56 м
Маса	12,8 т

Температура парогазової суміші на вході	450...470 К
Температура газів на виході	310...320 К
Коефіцієнт уловлювання води з парогазової суміші	0,99...1,0
Температура охолодної води	30 °С
Витрата охолодної води	800 т/год
Температура конденсату на виході	60...70 °С

Після серії проведених випробувань дана установка протягом декількох років працює на стенді НВКГ "Зоря"- "Машпроект", виробляючи електроенергію для потреб підприємства й міської мережі.

Рис. 2.1.42. Контактний парогазовий конденсатор:

1 – вихлопний патрубок; 2 – решітка; 3 – жалюзійна секція; 4 – підвід охолодної води; 5 – сітчаста секція; 6 – водоконденсатозбірник; 7 – відвід водоконденсатної суміші; 8 – перехідник; 9 – економайзер



На цій установці були досліджені і відпрацьовані: ефективність регенерації води з парогазового потоку на різних режимах роботи; стабільність характеристик контактного конденсатора-газоохолоджувача та його систем; екологічні характеристики;

теплотехнічні характеристики при впорскуванні пари в проточну частину, статичні і динамічні характеристики ГТД та установки в цілому на всіх експлуатаційних режимах (від холостого ходу до номінального) при роботі з упорскуванням пари і регенерацією води;

накопичення за час тривалої роботи домішок у конденсаті, що циркулює в системі охолодження, відкладення в проточній частині ГТД, котла та конденсатора, питання корозії;

запуск, автоматичне керування, аварійні режими й інші експлуатаційні питання.

У даний час НВКГ "Зоря"- "Машпроект" для потреб енергетики, газової і нафтової промисловості пропонує розроблений на основі двигунів простої схеми ряд контактних парогазових установок потужністю 4...40 МВт (табл. 2.1.11). Установкою потужністю 16 МВт обладнаний газоперекачувальний агрегат ГПУ-16К, встановлений на компресорній станції "Ставищенська" (Черкаська обл., Україна).

Установки типу "Водолій" (рис. 2.1.43) володіють високими технічними характеристиками і є найбільш перспективними для застосування в маловодних і в екологічно чистих районах, де існують суворі обмеження на кількість пари та шкідливих речовин у відхідних газах.

Таблиця 2.1.11. Основні характеристики установок типу "Водолій"

Тип установки	Потужність електрична, кВт		ККД, %		Витрата		
	з подачею пари	без подачі пари	з подачею пари	без подачі пари	пари, т/год	газу, м ³ /год	палива рідкого, т/год
UGT 2500S1A	4190	2750	34,6	27,5	6,3	1220	1020
UGT 10000S2A	15600	6700	41,9	30,0	12,9	3740	3140
UGT 15000S2A	24370	11400	41,0	28,3	24,0	5980	5020
UGT 25000S2A	39700	17000	41,7	31,7	46,4	9550	8020



Рис. 2.1.43. Загальний вигляд ГТА типу "Водолій"

Дані установки також дозволяють додатково підвищити вироблену потужність при високих температурах зовнішнього повітря шляхом упорскування води на вхід у двигун. При цьому забезпечується збереження параметрів ГТД і повернення води в цикл.

2.1.2.5. Комбіновані газопаротурбінні установки. НВКГ "Зоря"- "Машпроект" має великий досвід створення комбінованих газопаротурбінних установок. У таких установках тепло газів, що відходять від двигуна, використовується в котлі-

утилізаторі для виробництва пари. Отримана пара надходить в окрему парову турбіну (ПТ), яка виробляє деяку додаткову потужність.

У суднових енергетичних установках (наприклад, на основі агрегатів M21 і M25) потужність парової турбіни через підсумовуючий редуктор передається на привод гребного гвинта (див. рис. 2.1.5 та 2.1.28). В установках, створюваних для стаціонарної енергетики, парова турбіна і кожний з газотурбінних двигунів приводять в обертання власний електрогенератор.

Використовуючи багаторічний досвід проектування, виробництва й експлуатації морських газопаротурбінних установок, НВКГ "Зоря"- "Машпроект" пропонує на базі двигунів власної розробки ряд стаціонарних комбінованих установок потужністю 13,5...325,0 МВт і ККД 45...52 % (табл. 2.1.12) [26].

Таблиця 2.1.12. Основні характеристики комбінованих газопаротурбінних установок

Тип установки	Кількість і тип двигунів	Потужність електрична, кВт	ККД, %	Витрата	
				газу, м ³ /год	палива рідкого, кг/год
UGT 10000CC1	UGT 10000 + ПТ	13500	45,8	2980	2500
UGT 15000CC1	UGT 15000 + ПТ	22700	45,3	4940	4150
UGT 25000CC1	UGT 25000 + ПТ	34700	47,5	7210	6060
UGT 110000CC1	ГТД 110 + ПТ	160000	50,5	31810	26700
UGT 10000CC2	2×UGT 10000 + ПТ	27000	46,3	5960	4940
UGT 15000CC2	2×UGT 15000 + ПТ	45800	45,9	9880	8300
UGT 25000CC2	2×UGT 25000 + ПТ	70000	48,5	14420	12120
UGT 110000CC2	2×ГТД 110 + ПТ	325000	52,0	63620	53400

У ролі базових використовуються дві схеми: CC1 (1 + 1) – один газотурбінний двигун з паровим котлом-утилізатором і одна парова турбіна, які працюють кожний на свій генератор (моноблок); CC2 (2 + 1) – два газотурбінних двигуни з утилізацією тепла газів і одна парова турбіна, що використовує пару від двох котлів-утилізаторів, які працюють кожний на свій генератор (дубль-блок).

2.1.2.6. Детандер-генераторні агрегати та енергоутилізаційні комплекси.

Одним з напрямків робіт НВКГ "Зоря"- "Машпроект" останнім часом є розробка енергоутилізаційних комплексів і детандер-генераторних установок для виробництва електроенергії шляхом дроселювання природного газу на газорозподільних станціях у розширювальних турбінах (турбодетандерах). Характеристики перспективних розробок підприємства в цьому напрямку наведені в табл. 2.1.13.

Утилізація тиску газу, надлишкового для споживачів, у магістральних газопроводах на газорозподільних станціях і пунктах за допомогою турбодетандерних

8 Таблица 2.1.13. Основные параметры турбодетандерів та енергоутилізаційних комплексів

Характеристики	Турбодетандери та енергоутилізаційні комплекси									
	ЭУК-5	ЭУК-7	ЭУК-12	ЭУК-13	ЭУК-15	ЭУК-30	ДТА-1200	ДТА-2500-ВД	ДТА-2500СД1	
	Потужність, МВт	3,1	4,6	7,0	6,8	8,8	13,2	1,15	4,6	3,0
	Витрата газу, кг/с, нм³/год	14,0 50000	28,0 100000	32,0 115000	32,0 115000	40,0 144000	50,0 180000	6,0 22000	28,0 100000	14,0 50000
	Температура газу на вході в детандер, К	493	363	443	453	388	508	573	363	453
Номінальний тиск га- зу, МПа: на вході на виході	3,3 0,1	4,0 0,12	5,5 0,12	1,1 0,25	5,1 1,25	5,3 1,25	4,9 1,85	4,0 0,12	2,6 0,09	

агрегатів та енергоутилізаційних комплексів дозволяє забезпечити вироблення 120...150 Вт·год електроенергії на 1 м^3 газу, що еквівалентно економії приблизно 50 % енерговитрат на його подачу від родовища до споживачів.

Після проходження стендових випробувань у червні 2003 р. дослідно-промисловий зразок детандер-генераторної установки потужністю 3 МВт (ДГА-2500СД1) був установлений на ТЕЦ м. Новгорода (Росія). Турбодетандер агрегату виконаний у вигляді триступінчастої осьової турбіни, оснащеної регульованими сопловими апаратами перших двох ступенів із спільним електроприводом. Ротор турбодетандера встановлений у підшипниках ковзання. Напрямок обертання ротора правий. Номінальна частота обертання 14000 об/хв.

Для зниження частоти обертання ротора до 3000 об/хв у склад агрегату включений редуктор планетарного типу з розстроюванням потужності, який поєднаний з генератором через з'єднувальний вал і фрикційну муфту.

В установці використовується двохопорний генератор ТК-4-2 ЗУЗ виробництва ВАТ "Привод" (м. Лисьва) з безщітковою системою збудження. Номінальна напруга генератора складає 6,3 кВ, потужність – 4 МВт, ККД – 97,2 %.

Агрегат оснащений системою регулювання, яка забезпечує його запуск, режимну роботу у всьому діапазоні зміни параметрів газу, а також підтримання заданого тиску за агрегатом при нормальній роботі і зупинці турбодетандера.

Література до підрозд. 2.1

1. Бондин Ю., Коваленко А. Энергетические установки для "Зубров" // Двигатель. – 2002. – № 2. – С. 22–23.
2. Бондин Ю., Михайлов А. Основные результаты опытно-промышленной эксплуатации ГТД ДН80Л № 2 на КС "Софиевская" // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 4. – С. 12–14.
3. Боцула А.Л., Рыбальченко С.В. Использование газотурбинных двигателей разработки НПП "Машпроект" в газотранспортных сетях и в качестве приводов технологического оборудования // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 74–85.
4. Газотурбинный двигатель ГТД 15000. – К.: Внешторгиздат, 1991.
5. Газотурбинный двигатель ГТД 25000. – К.: Внешторгиздат, 1993.
6. Жирицкий О.Г., Трошин В.П., Горобец А.С. Опыт создания базового газотурбинного двигателя мощностью 20 МВт // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – № 1. – С. 118–120.
7. Игнатенко Л. Опыт использования конвертированного корабельного ГТД для привода компрессора ПХПГ // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 3. – С. 16–17.
8. Коваленко А.В., Бондаренко А.С., Бочаров И.В. Газотурбинные установки на Военно-морском флоте и опыт их эксплуатации на кораблях с динамическими принципами поддержания // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 31–37.

9. Коваленко А., Боцула А., Лимборская Л. Двигатели и установки "Машпроекта" для газовиков и энергетиков // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 32–36.
10. Межибовский В. ГТД-110 – основа перевооружения энергетики России // Двигатель. – 2002. – № 1. – С. 18–21.
11. Новый газотурбинный двигатель мощностью 110 МВт для стационарных газотурбинных установок / В.И. Романов, С.В. Рудометов, О.Г. Жирицкий, В.В. Романов // Теплоэнергетика. – 1992. – № 9. – С. 15–21.
12. НПО "Машпроект": 1954–1994 / Под ред. О.Г. Жирицкого. – О.: Черноморье, 1994.
13. НПО "Машпроект" 40 лет. Краткая история предприятия / Под ред. В.И. Романова. – Николаев: Облтипография, 1994.
14. Ольховский Г., Березинец П. Перспективы использования ГТЭ-110 в тепловой энергетике // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6. – С. 21–22.
15. Перспективный газотурбинный привод для ГПА компрессорных станций / А. Коваленко, В. Романов, А. Филоненко, О. Кучеренко // Двигатель. – 2002. – № 3. – С. 8–11.
16. Производственное объединение "Зоря". Промышленные газовые турбины и газотурбинные установки. – К.: КВЦ, 2000.
17. Результаты испытаний ГТЭ-110 на стенде Ивановской ГРЭС на жидком топливе / В.В. Романов, А.А. Филоненко, В.М. Межибовский, М.Л. Иневаткин // Теплоэнергетика. – 2002. – № 9. – С. 36–39.
18. Рекуперативный газотурбинный двигатель нового поколения / В.И. Романов, О.Г. Жирицкий, Б.С. Берестнев, М.В. Синкевич // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 121–125.
19. Романов В.И., Коваленко А.В., Бондаренко А.С. Опыт применения газовых турбин на судах морского флота // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 26–30.
20. Романов В.И., Кривуца В.А. Комбинированная газопаровая установка мощностью 16–25 МВт с утилизацией тепла уходящих газов и регенерацией воды из парогазового потока // Теплоэнергетика. – 1996. – № 4. – С. 27–30.
21. Романов В.И. НПП "Машпроект" 45 лет // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 10–17.
22. Романов В., Лимборская Л. Морские и промышленные газотурбинные установки // Двигатель. – 2000. – № 4. – С. 18–21.
23. Романов В., Межибовский В. ГТД-110 – от проекта к реальности // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6. – С. 8–12.
24. Сорочан В. ПО "Зоря": десант морских газовых турбин на материк // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 2. – С. 21–22.
25. Сташок А.Н., Шелестюк А.И. Газотурбинные двигатели НПП "Машпроект" для электростанций. Опыт и новые энергосберегающие технологии // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 52–57.
26. Украинские газовые турбины промышленного применения. – К.: Внешторгиздат, 2000.
27. Шелестюк А.И. О концепции развития энергетического и судового газотурбостроения в Украине // Изв. Акад. инж. наук Украины. – 1999. – Вып. 1. – С. 45–51.
28. Экологически чистая технология "Водолей" для получения электрической и тепловой энергии / В. Романов, А. Коваленко, В. Кривуца, В. Лупандин // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 1. – С. 8–10.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан підприємства НВКГ "Зоря"- "Машпроект".
 2. Дайте характеристику газотурбінної продукції, що випускається НВКГ "Зоря"- "Машпроект".
 3. Розкрийте особливості конструкції двигунів другого-четвертого покоління НВКГ "Зоря"- "Машпроект".
 4. Поясніть конструктивні особливості, технічні й експлуатаційні характеристики двигуна UGT 2500.
 5. Охарактеризуйте технічні параметри та галузі застосування двигунів UGT 3000, UGT 6000 і UGT 16000.
 6. Розкрийте конструктивні особливості, технічні й експлуатаційні характеристики двигуна UGT 15000.
 7. Поясніть особливості конструкції двигуна UGT 25000.
 8. Розкрийте конструктивні особливості, технічні й експлуатаційні характеристики двигуна ГТД ІІ0.
 9. Дайте характеристику когенераційних установок та установок з упорскуванням пари в проточну частину ГТД (варіант STIG), які випускаються НВКГ "Зоря"- "Машпроект".
 10. Проаналізуйте особливості конструкції парогазових установок типу "Водолій".
 11. Охарактеризуйте комбіновані газопаротурбінні установки, що випускаються підприємством.
-

2.2. ЗМКБ "Прогрес" та ВАТ "Мотор Січ"

	<i>Повне найменування:</i> Державне підприємство "Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро "Прогрес" ім. академіка О.Г. Івченка". <i>Адреса підприємства:</i> 69068, Україна, м. Запоріжжя, вул. Іванова, 2.
	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Мотор Січ". <i>Адреса підприємства:</i> 69068, Україна, м. Запоріжжя, вул. 8 Березня, 15.

2.2.1. Відомості про підприємства

Історія підприємств почалася в 1916 р., коли Петербурзьке акціонерне товариство "Дюфлон, Константинович и К^о" (скорочено "Дека") організувало в м. Олександрівську (так до 1921 р. називалося Запоріжжя) виробництво авіаційних поршневих двигунів. За площею виробничих будівель завод перевершував будь-який з моторних заводів царської Росії, а за своїм оснащенням був одним із кращих.

Первістком підприємства став зібраний у вересні 1916 р. двигун типу "Мерседес" потужністю 100 к.с., який одержав назву Дека М-100 і встановлювався на декількох модифікаціях чотиридвигунового літака "Ілья Муромец", сконструйованого видатним авіаконструктором І.І. Сикорським.

У 20–30-х роках завод № 9 "Большевик" (з грудня 1927 р. – Державний авіаційний завод № 29) освоює серійне виробництво двигуна "Hispano-Suizaas" 8FB (перейменованого в М-6), п'ятициліндрового зіркоподібного двигуна М-11, ліцензійних Bristol "Jove" VI (М-22) і "Mistral-Major" 14K (М-85 та його модифікації М-86, М-87, М-88, М-89 і М-90).

Під час Великої Вітчизняної війни завод був евакуйований у м. Омськ, де за роки війни випустив більше 10,5 тис. двигунів М-88Б і АШ-82ФН конструкції А.Д. Швецова*.

Після звільнення Запоріжжя в жовтні 1943 р. уряд прийняв рішення про організацію на території колишнього заводу № 29 бази ремонту авіадвигунів М-88Б, що одержала найменування завод № 478.

5 травня 1945 р. на заводі створюється дослідно-конструкторське бюро (ДКБ) № 478 для розробки нових і модернізації раніше створених авіадвигунів середньої та малої потужності для цивільної авіації. Очолив ДКБ-478 кадровий конструктор заводу О.Г. Івченко, який став пізніше генеральним конструктором. Основу колективу нового конструкторського бюро склали фахівці дослідно-конструкторського

* На базі заводу № 29 у м. Омську надалі було створено Омське моторобудівне виробниче об'єднання ім. П.І. Баранова.

відділу (існував на заводі з 1930 р.), які пройшли школу створення і доведення авіадвигунів від М-11 до М-88Б та АШ-82ФН. У 1959 р. ДКБ стало самостійним підприємством і було перейменовано в Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро (ЗМКБ) "Прогрес".

У 1947 р. в ДКБ-478 під керівництвом О.Г. Івченка закінчилася розробка першого двигуна власної конструкції М-26ГР (гелікоптерний, редукторний) потужністю 500 к.с. Він став першим поршневим двигуном повітряного охолодження, спеціально призначеним для вертольотів, не тільки в Радянському Союзі, але й у світі. Після успішного закінчення комплексу випробувань йому був присвоєний індекс "АИ" – "Александр Івченко", який з тих пір є фірмовим позначенням двигунів розробки ЗМКБ "Прогрес".

З 1953 р. Запорізький моторобудівний завод перейшов до виробництва газотурбінних двигунів. Першим було освоєне виробництво турбореактивних двигунів (ТРД) РД-45 і РД-500, розроблених під керівництвом В.Я. Климова на базі двигунів "Nene" і "Derwent-5" фірми "Rolls-Royce".

У 1957 р. пройшов державні випробування і був запущений у серійне виробництво розроблений ДКБ О.Г. Івченка турбогвинтовий двигун АИ-20 злітною потужністю 4000 к.с. На його основі надалі було створено ціле сімейство модифікованих двигунів потужністю 4000...5180 к.с. Майже 14000 двигунів цього типу успішно експлуатувалися на Ан-8 і Ан-12, пасажирських Іл-18 і Ан-10, амфібіях Бе-12. Модифікації двигуна АИ-20Д серії 5 та 5Э випускаються на підприємстві і сьогодні.

На основі АИ-20 було створене сімейство двигунів меншої розмірності АИ-24 потужністю 2550...2820 к.с. З 1961 р. випущено більше 11000 таких двигунів, які встановлювалися на пасажирських літаках Ан-24, транспортних Ан-26, а також на літаках Ан-30, призначених для спеціальних робіт.

У 1967 р. ЗМКБ "Прогрес" завершило розробку свого першого турбореактивного двоконтурного двигуна АИ-25 тягою 1500 кгс на злітному режимі. Трьома такими двигунами оснащувався літак Як-40. Усього випущено майже 6500 ТРДД типу АИ-25.

У 1973 р. був розроблений і запущений у серійне виробництво двигун АИ-25ТЛ (1720 кгс) для навчально-тренувального літака L-39 чехо-словацької фірми "Aero Vodochody". На сьогоднішній день випущено біля 5000 АИ-25ТЛ, що експлуатуються в 37 країнах світу.

Для літака підвищеної місткості Як-42 ЗМКБ "Прогрес" розробило перший вітчизняний тривальний ТРДД з великою мірою двоконтурності Д-36, який забезпечує тягу 6500 кгс на злітному режимі. Серійне виробництво двигуна ведеться з 1977 р. Надалі були створені двигуни Д-36 серій 1А, 2А і 3А. У даний час в експлуатації знаходяться більше 800 представників сімейства Д-36. Для розроблених модифікацій літака Ан-74 об'єднаними зусиллями запорізьких підприємств створюються чергові модифікації ТРДД Д-36 серій 4А, 5А і 5АФ.

На базі ТРДД Д-36 ЗМКБ "Прогрес" розробило найпотужніший у світі

вертолітний двигун Д-136, який забезпечує потужність на максимальному злітному режимі 11400 к.с. Він призначається для важкого транспортного вертольота Ми-26. На сьогоднішній день в експлуатації знаходяться близько 500 двигунів Д-136.

Для важкого транспортного літака Ан-124 "Руслан" створений двоконтурний турбореактивний двигун Д-18Т, що забезпечує тягу 23400 кгс на злітному режимі. Двигун серійно випускається з 1985 р. Літак Ан-124 з чотирма ТРДД Д-18Т є одним з найбільших у світі транспортних літаків і значно перевершує за показниками С-5 фірми "Lockheed". Надважкий літак Ан-225 "Мрія" із силовою установкою, що включає в себе шість двигунів Д-18Т, здатний транспортувати вантажі масою до 250 т. У даний час на базі Ан-124 і Ан-225 розробляються кілька авіаційно-космічних систем, у тому числі разом з іноземними фірмами. Усього в експлуатації знаходиться 176 двигунів Д-18Т.

На стадії відпрацювання конструкції й освоєння виробництва знаходиться нове покоління тривальних ТРДД з великою мірою двоконтурності – двигуни сімейства Д-436Т1 з тягою на злітному режимі 7500 кгс. Базовий варіант двигуна Д-436Т1 призначений для пасажирського літака нового покоління Ту-334, перший політ якого відбувся 8 лютого 1999 р. Модифікованими двигунами Д-436Т1 можуть оснащуватися літаки Ту-134, Як-42, Ан-72 і Ан-74. Морська модифікація ТРДД Д-436ТП призначена для багатоцільового літака-амфібії Бе-200.

ЗМКБ "Прогрес" розробило перший у світі маршовий турбогвинтовентиляторний двигун Д-27, призначений для широкофюзеляжного військово-транспортного літака Ан-70. Потужність двигуна складає 14000 к.с., за паливною ефективністю він на 25...30 % перевершує сучасні ТРДД. Гвинтовентилятор забезпечує дворазове збільшення піднімальної сили крила на етапах злету і посадки, а також високу крейсерську швидкість при низькому рівні шуму.

Для пасажирського літака Ту-324, що має замінити Ан-24, Як-40 і Ту-134, розробляється двовальний ТРДД з великою мірою двоконтурності АІ-22 тягою 3820 кгс на злітному режимі. Випробування двигуна АІ-22 почалися 26 вересня 2000 р.

Для бойових вертольотів у 1972 р. ВАТ "Мотор Січ" почало виробництво розробленого ДКБ ім. В.Я. Климова турбовального двигуна ТВ3-117 потужністю 2200 к.с. До цього часу підприємством виготовлено близько 22000 двигунів сімейства ТВ3-117, що напрацювали в експлуатації більше 12 млн год. Двигуни ТВ3-117 піднімають у небо 95 % вертольотів з маркою "Міль" і "Камов" у 60 країнах світу.

Об'єднаними зусиллями ЗМКБ "Прогрес", ДУП "Завод ім. В.Я. Климова" (м. С.-Петербург) і ВАТ "Мотор Січ" створений турбогвинтовий двигун ТВ3-117ВМА-СБМ1 злітною потужністю 2500 к.с. для пасажирського літака Ан-140, який повинен у найближчій перспективі замінити на авіалініях літаки Ан-24, Ан-26 і Як-40.

У співробітництві з ДУП "Завод ім. В.Я. Климова" розробляються двигуни ВК-2500 і ВК-1500. Турбовальний двигун ВК-2500 являє собою форсований

ТВЗ-117ВМА. Він призначений для встановлення на нові модифікації російських вертольотів марки "Ми" і "Ка". Турбогвинтовий двигун ВК-1500 має злітну потужність 1500 к.с. Він призначений для літаків місцевих ліній Ан-38 і Бе-32, а також для встановлення на раніше випущені літаки Ан-2.

Промислове застосування двигунів виробництва ВАТ "Мотор Січ" і ЗМКБ "Прогрес" почалося з 1967 р., коли в Тюменській області запрацювала промислова електростанція з двома турбогенераторами потужністю 2250 кВт, створена на базі авіаційних двигунів АІ-20, що відробили свій ресурс. Станція, встановлена замість енергопоїзда чехо-словацького виробництва, забезпечила одержання значного економічного ефекту. Паливом був попутний газ, який добувався при розробці родовища нафти.

У 1968 р. на газопроводі "Сияние Севера" і в околицях м. Печора запрацювали перші бурові установки з приводом від газотурбінних двигунів АІ-23СГ. Кожен двигун заміняв п'ять дизелів і швидко себе окупав. Цей проект був відзначений медалями Виставки досягнень народного господарства.

Широке застосування знайшли газотурбінні двигуни АІ-23У та АІ-23СГ для приводу бурових установок, АІ-23С-1 для приводу насосів, що подають воду в свердловини.

Потім почався серійний випуск сімейства пересувних електростанцій ПАЭС-1250, ПАЭС-1600, ПАЭС-2500 на базі двигунів АІ-20, що працювали як на газі, так і на природному газі з тиском 1,2 МПа. Ці станції знайшли широке застосування у віддалених районах Радянського Союзу, поставлялися вони і за кордон: від країн Південно-Східної Азії до держав Латинської Америки.

На базі запорізької пересувної електростанції ГТУ-1000 у Київському інституті електрозварювання ім. Б.О. Патона була створена унікальна установка "Север-1", призначена для зварювання труб магістральних газопроводів.

Двигуни ЗМКБ "Прогрес" були також використані при створенні енергетичних установок суден на підводних крилах "Буревестник", "Сормович", "Вихрь" і "Тайфун".

У даний час ВАТ "Мотор Січ" – це 9 спеціалізованих машинобудівних заводів на території України: Запорізькі моторобудівний (головне підприємство) і машинобудівний ім. В.І. Омельченка заводи, Сніжнянський машинобудівний завод, Волочиський машинобудівний завод, Лебединські моторобудівний і машинобудівний заводи, Гуляйпільські машинобудівний і механічний заводи, а також Запорізький завод товарів народного споживання, розташовані в Запорізькій, Донецькій, Хмельницькій і Сумській областях. На базі цих підприємств, які входили раніше до складу Виробничого об'єднання "Моторостроитель", у 1995 р. було створено Відкрите акціонерне товариство "Мотор Січ".

Газотурбінні двигуни запорізьких підприємств, створювані в тісному співробітництві з численними суміжниками з Росії й України, за експлуатаційними характеристиками відповідають кращим зразкам у своїх класах, тривалий час успішно експлуатуються в 106 країнах світу.

Двигуни розробки ЗМКБ "Прогрес" серійно випускаються також підприємством "Салют" (м. Москва), Казанським та Уфімським моторобудівними виробничими об'єднаннями.

У 2004 р. на базі ВАТ "Мотор Січ" і ЗМКБ "Прогрес" планується створення єдиного Запорізького авіамоторного комплексу, який буде проводити спільну політику в технічній, маркетинговій і ціновій сферах.

2.2.2. Продукція підприємств

ВАТ "Мотор Січ" у даний час є одним з найбільших у світі і єдиним українським підприємством із виробництва, супроводу в експлуатації та ремонту 55 типів і модифікацій надійних та економічних авіаційних газотурбінних двигунів – від невеликих допоміжних силових агрегатів до найпотужніших силових установок для найбільших у світі літаків "Руслан" і "Мрія", вертольотів Ми-26.

Споживачами вироблених двигунів є всесвітньо відомі літако- і вертольотобудівні ДКБ – Антонова, Берієва, Ільюшина, Туполева, Яковлева, Камова та Міля, а також чеська фірма "Аеро Vodochody" і китайська компанія "НАІС (G)".

Підприємствами ЗМКБ "Прогрес" і ВАТ "Мотор Січ" пропонуються для авіації турбореактивні двоконтурні двигуни Д-18Т, Д-36, Д-436Т1(ТП), АІ-25, АІ-25ТЛ, АІ-22 та АІ-222-(25), турбогвинтові двигуни ТВ3-117ВМА-СБМ1, АІ-20, АІ-24 (Т, ВТ) і ВК-1500, турбогвинтовентиляторний двигун Д-27, вертолітні двигуни ТВ3-117, Д-136 серії 1, ВК-2500 та АІ-450, допоміжні силові установки АІ-8, АІ-9, АІ-9В і АІ9-3Б.

Перспективним напрямком діяльності вважається виробництво наземної газотурбінної техніки. ЗМКБ "Прогрес" і ВАТ "Мотор Січ" випускають пересувні та блочно-транспортбельні електростанції потужністю 1...10 МВт, газотурбінні приводи сімейства Д-336 потужністю 4; 6,3 і 8 МВт, двигуни АІ-336-1/2-10 потужністю 10 МВт, які використовуються як приводи газоперекачувальних, газліфтових і нафтоперегінних агрегатів та блочно-транспортбельних електростанцій.

Ці сучасні газотурбінні приводи можуть успішно використовуватися як при будівництві нових компресорних станцій, так і при реконструкції станцій, що знаходяться в експлуатації. Відмітними їхніми якостями є модульна конструкція, високий рівень контролепридатності, комплекс засобів раннього виявлення несправностей і глибокого візуального й інструментального контролю.

З 2000 р. ЗМКБ "Прогрес" веде роботи зі створення двигуна АІ-318 потужністю 25...30 МВт для приводу нагнітачів газоперекачувальних агрегатів та іншого промислового застосування.

Збирання електростанцій і випробування приводів на природному газі здійснюються у філії ВАТ "Мотор Січ" – Запорізькому машинобудівному заводі ім. В.І. Омеляченка.

Підприємствами випускається також більше ніж 150 найменувань товарів народного споживання.

У даний час у загальному обсязі продукції, що випускається, близько 70 % займає вертолітна тематика, ще 20 % припадає на літакову тематику і 10 % – на наземну і цивільну продукцію та товари народного споживання.

Нижче наводяться характеристики наземного газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами*.

Двигуни сімейства Д-336 потужністю 4; 6,3 та 8 МВт

Промислові газотурбінні двигуни сімейства Д-336 отримані шляхом модифікації турбовального вертолітного двигуна Д-136. Розробка двигуна **Д-336-1/2** (рис. 8Д) потужністю 6,3 МВт велася з 1989 по 1997 р. З 1996 р. ЗМКБ "Прогрес" почало роботи зі створення двигуна **АИ-336-1/2-8** потужністю 8 МВт.

На базі двигуна АИ-336Э-1-6,3 ЗМКБ "Прогрес" в останні роки розробило двигун **АИ-336-1-4** потужністю 4 МВт. Новий двигун цілком уніфікований з базовим. Зниження потужності забезпечене зменшенням початкової температури газів перед турбіною, що спричинило відповідне погіршення ККД до 26 %.

Двигуни Д-336-1/2, Д-336-1/2Т, АИ-336Э-1-6,3, АИ-336Э-1-8 і АИ-336-1/2-8 використовуються як приводи газоперекачувальних, нафтоперегінних агрегатів і для електростанцій потужністю 6,3 та 8 МВт. Їхня конструкція передбачає принцип модульного збирання, застосування високоефективної системи охолодження гарячих деталей і матеріалів з високими міцнісними характеристиками. Двигуни можуть успішно працювати в різних кліматичних зонах при температурі навколишнього повітря –60...+45 °С на висоті над рівнем моря до 2000 м.

Підприємство має сертифікати відповідності на виготовлення цих двигунів, видані органом із сертифікації ЦС "Качество" від 30.12.99 р.

Основними достоїнствами двигунів сімейства Д-336 є висока економічність, стабільність параметрів, низька вартість обслуговування, ремонтоздатність без знімання з установки, малі емісії забруднюючих речовин, прийнятний рівень акустичних характеристик, надійність і безвідмовність в експлуатації.

Двигуни сімейства Д-336 виконані двокаскадними з вільною силовою турбіною (рис. 2.2.1). Шестиступінчастий КНТ приводиться одноступінчастою ТНТ, соплові лопатки якої охолоджуються повітрям, що відбирається від третього ступеня КВТ. Семиступінчастий осьовий КВТ приводиться одноступінчастою ТВТ, соплові і робочі лопатки якої охолоджуються повітрям із КВТ.

Кільцева камера згоряння з 24 основними двоконтурними форсунками має два запалювачі, що оснащені свічками запалювання і пусковими паливними форсунками. Вільна силова турбіна неохолоджувана, дво- чи триступінчаста залежно від частоти обертання. Схема укладання роторів шестиопорна, тобто кожний із

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційних сайтах підприємств – motornaftogazinvest.com.ua та www.motorsich.ru.

трьох роторів установлених на двох підшипниках. Запуск двигунів забезпечується розкручуванням ротора високого тиску.

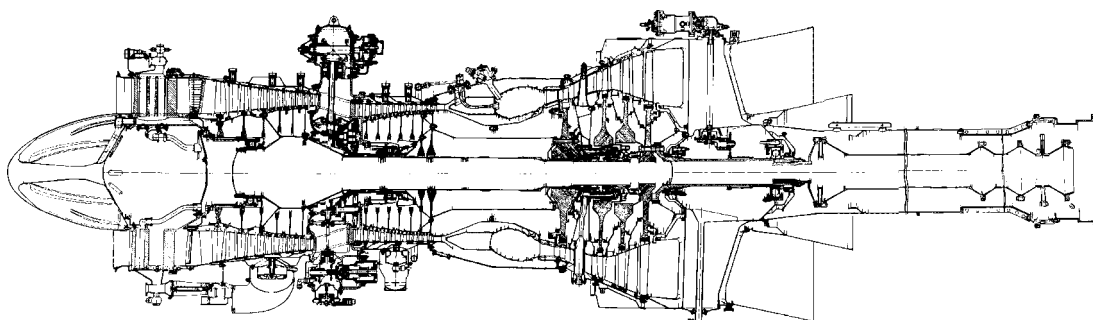


Рис. 2.2.1. Конструктивна схема двигуна Д-336-1/2

Технічні характеристики двигунів наведені в табл. 2.2.1, габаритні розміри й експлуатаційні характеристики – на рис. 2.2.2 і 2.2.3. При необхідності можуть бути виконані модифікації двигунів із частотою обертання силової турбіни 5000 або 3000 об/хв. Силкові турбіни двигунів Д-336-1, АИ-336-1-4, АИ-336Э-1-6,3 і АИ-336Э-1-8 – лівого обертання, двигунів Д-336-2, АИ-336-2-4 та АИ-336-2-8 – правого обертання.

Таблиця 2.2.1. Технічні характеристики двигунів сімейства Д-336

Параметри	АИ-336-1/2-4	Д-336-1/2, Д-336-2Т, АИ-336Э-1-6,3	АИ-336-1/2-8, АИ-336Э-1-8
Потужність, кВт:			
номінальна	4200	6300	8000
максимальна	5000	7560	9600
Витрата повітря, кг/с	27,2	31,95	35,6
Міра підвищення тиску	13,0	16,7	17,5
Температура повітря за КВТ, К	–	691	–
Вид палива	Газоподібне (природний або нафтовий газ)		
Витрата палива (при $H_u = 50056$ кДж/кг), кг/год	1270	1510	1875
Початкова температура газів, К	1187	1282	1365
Коефіцієнт відновлення тиску камери згоряння	–	0,946	–
Температура газів, К:			
перед силовою турбіною	–	879	–
за ГТД	675	704	725
Тиск газів перед силовою турбіною, МПа	–	0,288	–
Частота обертання силової турбіни, об/хв	8200		

Продовж. табл. 2.2.1

Параметри	АИ-336-1/2-4	Д-336-1/2, Д-336-2Т, АИ-336Э-1-6,3	АИ-336-1/2-8, АИ-336Э-1-8
Ефективний ККД, %, не менше	26	31	32
Габарити, м	3,9×1,1×1,2		4,1×1,1×1,2
Маса, кг	1470	1470	1570
Ресурс, год: до капітального ремонту призначений	25000 100000		
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах, мг/нм ³ , не більше	50 (150)		

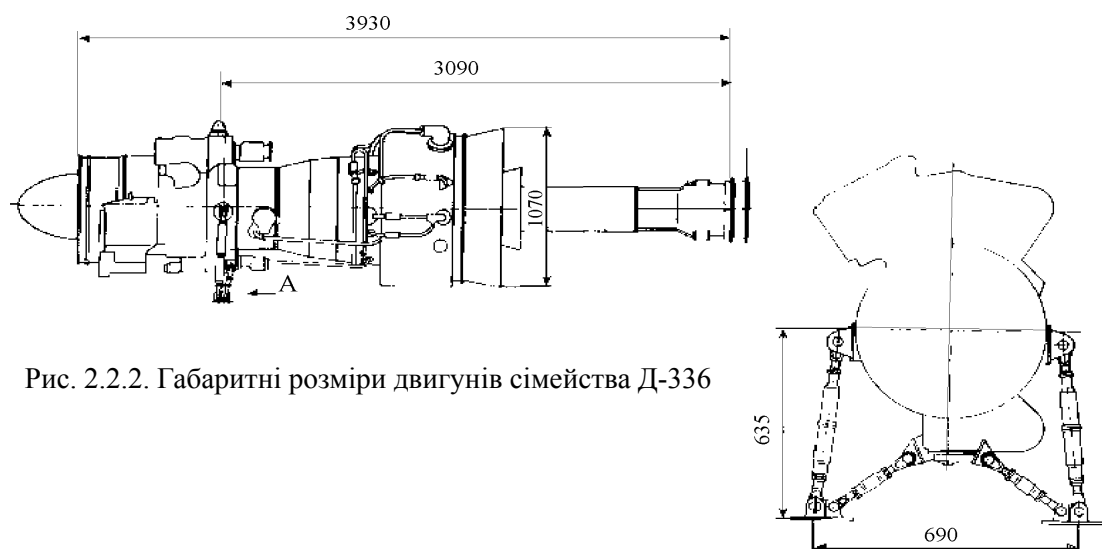


Рис. 2.2.2. Габаритні розміри двигунів сімейства Д-336

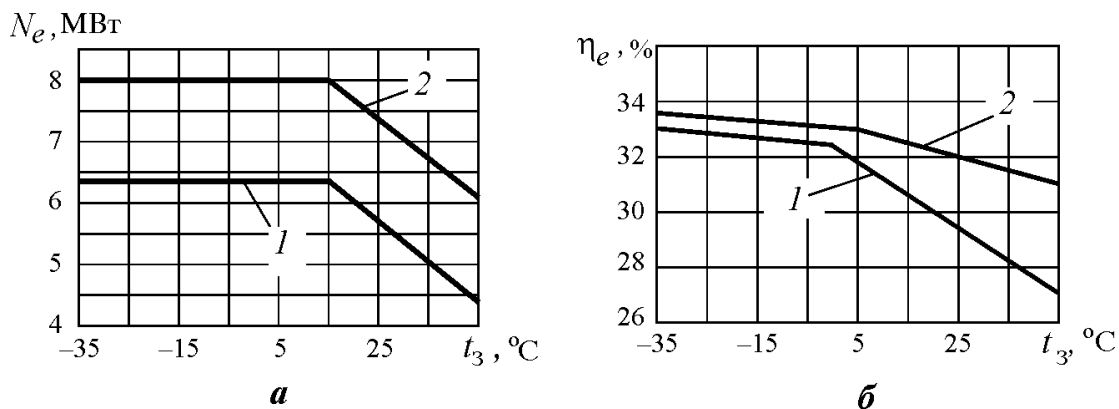


Рис. 2.2.3. Залежність потужності (а) та ККД (б) двигунів Д-336-1/2 (1) і АИ-336-8 (2) від температури повітря на вході

Як паливо використовується газ з робочим тиском 2,4 МПа. За бажанням замовника двигуни можуть бути переустатковані для роботи на рідкому паливі – гасі РТ, ТС-1 чи аналогічному паливі закордонного виробництва, а також на двокомпонентному – газі чи рідкому паливі.

У двигунах передбачені заходи для запобігання небезпеці пожеж, у тому числі титанової і магнієвої.

З 1996 р. ВАТ "Мотор Січ" було поставлено 35 двигунів сімейства Д-336. Загальне напруження цих газотурбінних приводів складає близько 76 тис. год. Основним споживачем є підприємство "Укртрансгаз". Постачання даних двигунів здійснюється також в Іран і Туреччину. Для компресорних станцій цих країн у період з 1997 р. по цей час було експортовано відповідно 12 і 4 приводи Д-336 потужністю 6,3 МВт (у складі газоперекачувальних агрегатів виробництва ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе").

Двигуни Д-336 і АИ-336-8, які відповідають усім міжнародним стандартам, можуть бути використані замість застарілих двигунів НК-12СТ для реконструкції існуючих компресорних станцій в Україні і Росії. Така заміна дозволить зменшити витрати паливного газу на 25...30 %, поліпшити екологічні показники завдяки зниженню забруднення атмосфери, зменшенню генерації оксидів азоту і вуглецю та значному зниженню рівня шуму.

У даний час відповідно до договору, укладеного в 2000 р. з ВАТ "Газпром" (Росія), налагоджується виробництво двигунів сімейства Д-336 на ВАТ "Уфимское моторостроительное производственное объединение" (УМПО). Перші двигуни, зібрані ВАТ "УМПО", почали поставлятися замовникам з червня 2001 р.

Двигун АИ-336-1/2-10

Двигун АИ-336-1/2-10 потужністю 10 МВт (рис. 9Д) є однією з останніх розробок ЗМКБ "Прогрес". Він отриманий шляхом модифікування тривального двоконтурного турбореактивного двигуна Д-436Т1. У даний час знаходиться в стадії освоєння серійного виробництва. Передбачається його використання як приводу газоперекачувальних агрегатів ГТК-10И, ГТК-10-3, ГТК-10-4.

Двигун виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною (рис. 2.2.4). Компресорна частина складається з семиступінчастих компресорів низького і високого тисків. Камера згоряння кільцева, малоємисійна, оснащена двадцятьма чотирма основними двоконтурними форсунками. До її складу входять два запалювачі, які містять свічки запалювання і пускові паливні форсунки. Необхідна концентрація гомогенозованої суміші в камері досягається перепуском вторинного повітря за допомогою повітряної заслінки-байпаса.

Турбіни високого і низького тисків одноступінчасті. Соплові лопатки обох турбін та робочі лопатки ТВТ охолоджуються компресорним повітрям. Силова турбіна неохолоджується, триступінчаста.

Схема укладання роторів двигуна шестиопорна, тобто кожний із трьох роторів

установлений на двох підшипниках. Запуск двигуна здійснюється розкручуванням електростартером ротора високого тиску.

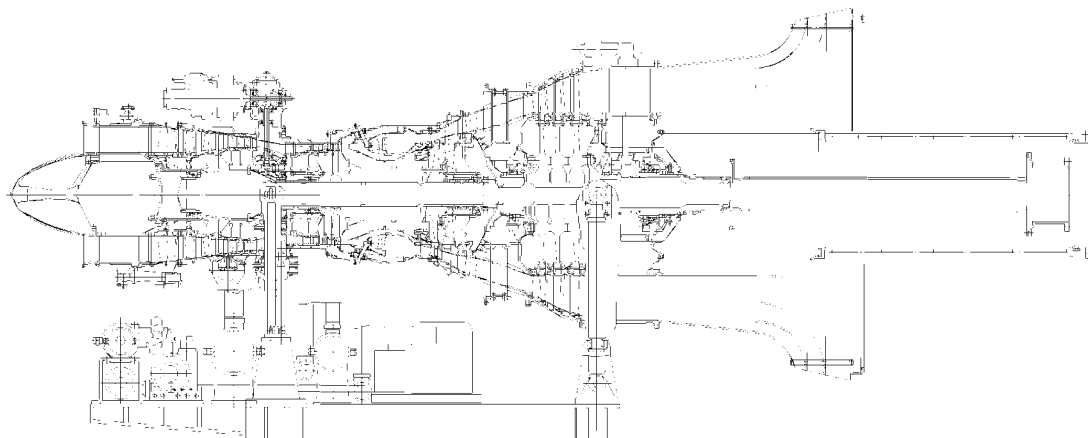


Рис. 2.2.4. Конструктивна схема двигуна АІ-336-1/2-10

При створенні двигуна були використані матеріали з високими міцнісними характеристиками, застосована високоефективна система охолодження деталей турбінного блоку. У конструкції реалізований принцип модульного збирання. Даний двигун може ефективно працювати в різних кліматичних зонах при температурі зовнішнього повітря $-60...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

АІ-336-1/2-10 відрізняється високою економічністю, низькою вартістю обслуговування, великим ресурсом, гарними експлуатаційними показниками (рис. 2.2.5), має прийнятний рівень акустичних характеристик і малу концентрацію шкідливих речовин у відхідних газах. Технічні характеристики АІ-336-1/2-10 наведені нижче:

Потужність:	
номінальна	10 МВт
максимальна	12 МВт
Витрата повітря	41,5 кг/с
Міра підвищення тиску	21,3
Частота обертання ротора силової турбіни*	4800 (6500) об/хв
Вид палива	газоподібне (природний або нафтовий газ)
Витрата палива (при $H_u = 50056\text{ кДж/кг}$)	2085 кг/год
Температура газів:	
початкова	1371 К
за ГТД	710 К
Ефективний ККД	не менше 34 %
Габарити	5,1×2,1×1,9 м
Маса	не більше 3350 кг
Призначений ресурс	100000 год
Концентрація NO_x (CO) у вихлопних газах	не більше 50 (150) мг/нм ³

* Модифікація АІ-336-1-10 має ліве обертання силової турбіни з частотою 4800 об/хв, АІ-336-2-10 – праве обертання з частотою 6500 об/хв.

За бажанням замовника двигуни можуть бути переустатковані для роботи на рідкому паливі – гасі РТ, ТС-1 чи аналогічному паливі закордонного виробництва.

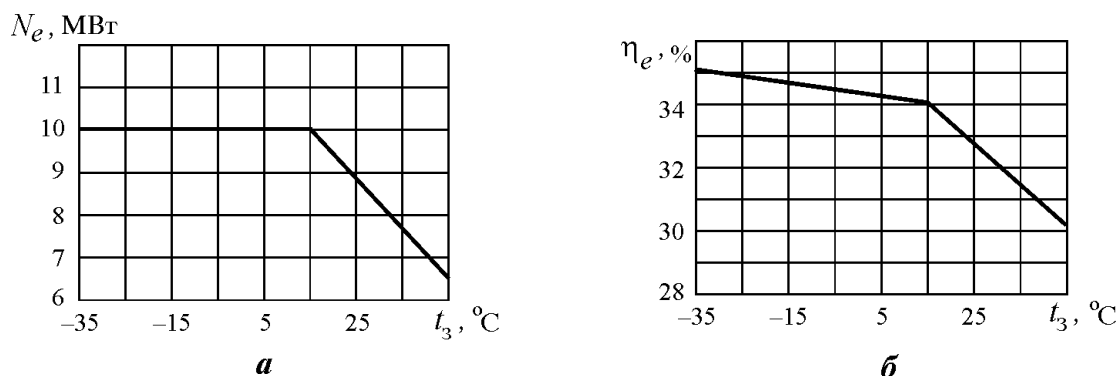


Рис. 2.2.5. Залежність потужності (а) і ККД (б) двигуна АІ-336-1/2-10 від температури повітря на вході

Перший двигун АІ-336-2-10 зданий у дослідно-промислову експлуатацію на компресорній станції "Новопсков" Луганської області у складі модернізованого агрегату ГТК-10И в листопаді 2002 р.

Газотурбінні електростанції ЭГ-6000, ЭГ-8000 і ЭГ-10000

Створені у ВАТ "Мотор Січ" на основі двигунів АІ-336Э-1-6,3, АІ-336Э-1-8 і АІ-336-1-10, що мають потужність 6, 8 і 10 МВт відповідно (табл. 2.2.2). Призначені для живлення електроенергією промислових і побутових споживачів у базовому й інших режимах роботи. Виконання блочно-транспортельне. Надійно працюють у діапазоні температур $-60...+45$ °С на газоподібному чи рідкому паливі в автономному і паралельному режимах.

Таблиця 2.2.2. Технічні характеристики електростанцій ЭГ-6000, ЭГ-8000 і ЭГ-10000

Параметри	ЭГ-6000	ЭГ-8000	ЭГ-10000
Потужність, кВт:			
номінальна	6000	7450	9700
максимальна	7200	9350	11700
Напруга змінного трифазного струму, В	10500		
Частота струму, Гц	50		
Ефективний ККД двигуна при номінальному навантаженні, %	32,0	32,5	34,5
Маса, т	60	70	70

Основними достоїнствами електростанцій (рис. 2.2.6) є висока якість вироблю-

ваної енергії, надійність, високі екологічні показники. Станції комплектуються устаткуванням, що забезпечує повну автономність роботи.

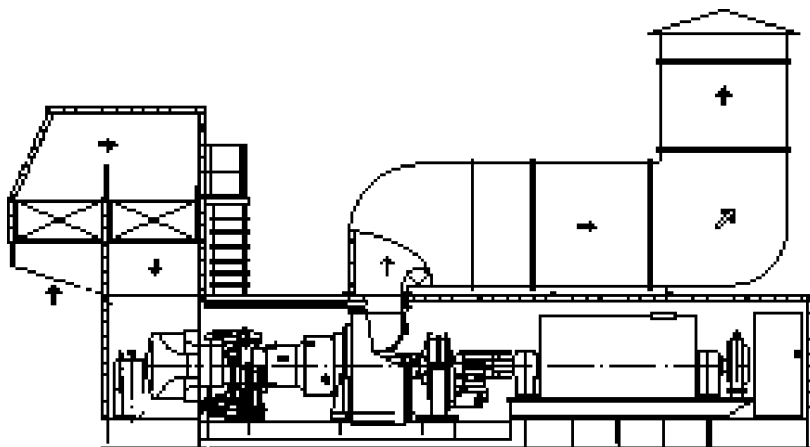


Рис. 2.2.6. Газотурбінна електростанція ЭГ-6000/ЭГ-8000/ЭГ-10000

Газотурбінні електростанції АИ-4000 та АИ-6000

Розроблені і випускаються ЗМКБ "Прогрес". Призначені для забезпечення електроенергією споживачів нафтової, газової й інших галузей промисловості в режимах роботи "базовий", "напівпіковий" за ГОСТ 29328–92, поставляються в модульному виконанні.

Електростанції АИ-4000 (АИ-6000) можуть працювати на ізольоване навантаження і паралельно з енергосистемою будь-якої потужності, для чого комплектуються всією необхідною апаратурою: газотурбінним двигуном та агрегатом запуску, генератором і комплектними розподільними пристроями, системами паливоживлення та змащення, блоком підготовки газу при роботі на газоподібному паливі, пультом керування двигуном і генератором, шумоглушниками входу та вихлопу, комплектом запчастин і пристроїв для забезпечення відпрацьовування однієї установки, експлуатаційною документацією. Робочий діапазон температур зовнішнього повітря –50...+60 °С.

Технічні характеристики електростанцій АИ-4000 та АИ-6000 наведені нижче:

	АИ-4000	АИ-6000
Потужність, кВт:		
номінальна	4000	6300
максимальна	5000	7500
Газотурбінний привід	АИ-336-1-4	АИ-336Э
Генератор	ТЭ-1-4	Т6-2РТЗ-1
Ефективний ККД, %	25,5	30,0
Напруга змінного трифазного струму, В	10500	
Частота струму, Гц	50	
Коефіцієнт потужності	0,8	

Сучасні газотурбінні агрегати

	АИ-4000	АИ-6000
Параметри газів на зрізі газовідводу:		
витрата, кг/с	27,5	32,2
температура, К	680	704
Потенційна теплова потужність котла-утилізатора, кВт	8100	11600
Ресурс, год:		
до капітального ремонту		25000
призначений		50000

Електростанції АИ-4000 (АИ-6000) розміщуються в двох контейнерах. У першому розміщені газотурбінний привід, електрогенератор, трансмісія електростанції, вхідний і вихідний пристрої ГТД, маслобак, рами двигуна, генератора та редуктора, шахти вентиляції відсіків та охолодження генератора. У другому – комплектний розподільний пристрій КРУ-10, допоміжний дизель-генератор, акумулятори, блоки і шафи систем керування та контролю, кабіна оператора.

Транспортування електростанцій може здійснюватися автомобільним, залізничним, повітряним чи водним транспортом.

Електростанції адаптовані для роботи в когенераційному циклі. Система запуску – пневматичний стартер (робоче тіло – паливний газ).

Газотурбінна електростанція ЭГ-1000

Виконана на основі модифікованого турбовального вертолітного двигуна ТВ3-137 (модифікація ТВ3-117) потужністю 1000 кВт*. Виробляється з 2000 р.

Електростанція призначена для живлення електроенергією промислових і побутових споживачів у базовому й інших режимах роботи. Основними її достоїнствами є блочно-транспортабельне виконання, можливість експлуатації в діапазоні температур $-50...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ на газоподібному паливі в автономному і паралельному режимах, висока якість вироблюваної електричної енергії, гарні екологічні показники, гарантований високий рівень сервісного обслуговування.

Технічні характеристики електростанції ЭГ-1000 наступні:

Потужність:	
номінальна	1000 кВт
максимальна	1100 кВт
ККД на клеммах генератора	24 %
Напруга	400 В
Частота струму	50 Гц
Паливо	природний або попутний нафтовий газ
Маса	30 т

* Див. також опис продукції ДУП "Завод им. В.Я. Климova".

Автоматизовані електростанції ЭГ-2500(Т) і АИ-2500 (ПАЭС-2500)

Автоматизована електростанція **ЭГ-2500** виробництва ВАТ "Мотор Січ" призначена для живлення електроенергією промислових і побутових споживачів, покриття нестачі електроенергії при пікових навантаженнях та резервування. Являє собою блокову автономну автоматизовану установку, що не вимагає зовнішнього джерела живлення для запуску.

ЭГ-2500 відрізняється високою транспортабельністю, надійністю, ремонтоздатністю, простотою і легкістю в керуванні, не вимагає великих витрат при введенні в експлуатацію. Стійко працює в автономному режимі, а також паралельно із зовнішньою енергосистемою.

Електростанція обладнана автоматичними системами запуску, прийому навантаження з наступною безупинною роботою, захисту і сигналізації з основних параметрів двигуна, а також системою шумоглушіння. Транспортування здійснюється автомобільним, залізничним, водним і повітряним транспортом.

Привод синхронного генератора здійснюється газотурбінним двигуном **АИ-20ДКЭ/ДМЭ** підвищеної надійності й економічності (рис. 10Д та 2.2.7).

Необхідно відзначити, що різні модифікації турбогвинтового двигуна АИ-20 використовуються у промисловості з кінця 60-х років. У даний час використовується енергетична модифікація двигуна АИ-20ДК третьої серії – АИ-20ДКЭ.

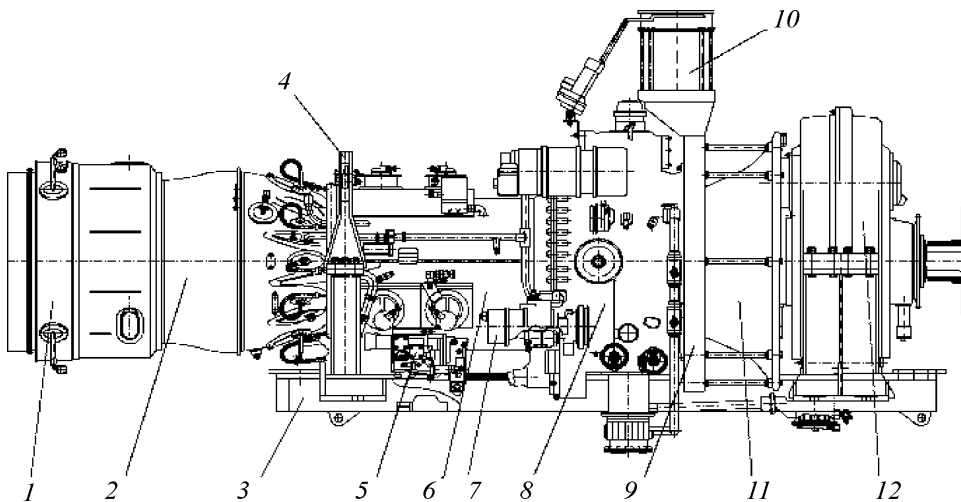


Рис. 2.2.7. Основні модулі двигуна АИ-20ДКЭ:

1 – турбіна; 2 – камера згоряння; 3 – рама приводу; 4 – портал підвіски газогенератора; 5 – агрегат запуску; 6 – компресор; 7 – регулятор подачі газу; 8 – лобовий картер; 9 – ежектор охолодження масла; 10 – повітряно-масляний фільтр; 11 – вхідний пристрій; 12 – редуктор

Двигун АИ-20ДКЭ виготовлений за простою схемою, одновальним (рис. 2.2.8). Вхідний пристрій ГТД виконаний у вигляді кільцевого каналу з ребрами жорсткості,

у яких розміщені елементи приводу агрегатів двигуна і канали для масла, що обігріває вхідний канал.

Компресор осьовий, десятиступінчастий. На його корпусі встановлені проти-помпажні клапани, які разом з поворотним вхідним напрямним апаратом забезпе-чують стійку роботу двигуна на малих навантаженнях. Ротор компресора дисково-барабанного типу.

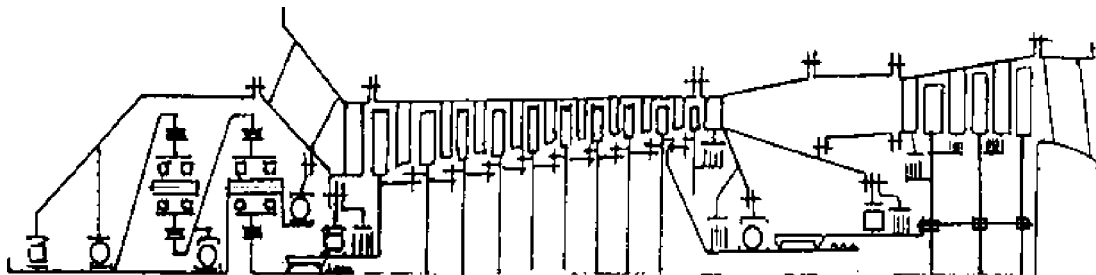


Рис. 2.2.8. Конструктивна схема двигуна АИ-20ДКЭ

Камера згоряння кільцевого типу, з десятьма робочими форсунками. Запалювання паливоповітряної суміші здійснюється запалювачами факельного типу, розташованими за головками камери згоряння.

З камери згоряння газу надходять у триступінчасту неохолоджувану осьову турбіну, ротор якої складається з вала і трьох дисків. Для зменшення її маси застосоване консольне розташування дисків з розміщенням опорного підшипника перед турбіною. В осьовому напрямку диски стягнуті з валом периферійними болтами. Для передачі крутного моменту в площинах стику дисків з валом поставлені втулки. Робочі і соплові лопатки турбіни виконані з жароміцного сплаву.

Передача крутного моменту споживачу здійснюється через редуктор, розташований з боку входу повітря в компресор. Редуктор виконаний за схемою двоступінчастої циліндричної косозубої передачі з поділом потужності на чотири потоки і співвісним розташуванням вхідного та вихідного валів. Рівне навантаження чотирьох потоків забезпечується гідравлічним пристроєм, сполученим з вимірювачем крутного моменту.

Редуктор виконаний в окремому модулі, що дає зручність доступу при проведенні регламентних робіт і забезпечує можливість заміни редуктора без заміни двигуна. У редукторі передбачені засоби діагностики, які дозволяють провадити експлуатацію за технічним станом.

Запуск АИ-20ДКЭ здійснюється від двох стартерів-генераторів з використанням пускової панелі.

Основні характеристики двигуна наступні:

Потужність:

номінальна

2500 кВт

максимальна

2750 кВт

Витрата повітря

21,2 кг/с

Агрегати виробництва підприємств України

Міра підвищення тиску	7,5
ККД компресора	0,849
Температура газів:	
початкова	1010 К
на виході	673 К
Паливо	рідке або газоподібне
Повнота згоряння рідкого палива	0,97
Частота обертання ротора:	
робоча	12350 об/хв
на холостому ходу	10400 об/хв
Напрямок обертання ротора	лівий
ККД:	
турбіни	0,915
ефективний при номінальному навантаженні	24 %
Частота обертання вихідного вала редуктора	1000 об/хв
Габарити	3,3×1,7×1,2 м
Маса	не більше 2500 кг
Ресурс:	
до капітального ремонту	25000 год
призначений	100000 год

Необхідно відзначити, що з 1957 р. дотепер випущено більше 13800 двигунів АИ-20 усіх модифікацій і серій.

На базі двигуна АИ-20ДКЭ ЗМКБ "Прогрес" виготовляє також пересувну автоматизовану електростанцію **АИ-2500**. Аналогічну електростанцію виготовляє ВАТ "Мотор Січ" за назвою **ПАЭС-2500**.

АИ-2500 (ПАЭС-2500) є пересувною автоматизованою електростанцією з устаткуванням, розміщеним у спеціальному двохосьовому напівпричепі ОдАЗ-99871. Електростанція переміщається до місця експлуатації тягачем, який допускає буксирування напівпричепів повною масою 30 т.

Напівпричіп-фургон має опорні площадки й отвори для встановлення електростанції на фундаменті й оснащений відкидними домкратами, що дозволяють виконати нівелювання електростанції на підготовленій площадці.

Основними достоїнствами АИ-2500 (ПАЭС-2500) є підвищена мобільність, простота керування, висока надійність, стійка робота на всіх режимах. Конструкція дозволяє проводити швидку заміну агрегатів, що забезпечує її високу ремонтоздатність.

Електростанції на основі двигуна АИ-20ДКЭ в даний час успішно експлуатуються в різних кліматичних зонах.

Технічні характеристики електростанцій на основі двигуна АИ-20ДКЭ наведені нижче:

Потужність номінальна	2500 кВт
Генератор	СГС-14-100-6У2
Вид струму	змінний, трифазний
Напруга	6300 В
Частота струму	50 Гц

Коефіцієнт потужності	0,8
Габарити	17,6×2,5×4,3 м
Маса	28,5 т

Турбодетандерна електростанція ЕТД-1000

Призначена для вироблення електроенергії екологічно чистим способом на газорозподільних станціях і газорегуляторних пунктах шляхом перетворення в турбіні енергії надлишкового тиску газу до передачі його споживачам. Одночасно може бути використана як генератор холоду для виробничих і господарських потреб. Виробляється з 2000 р.

Характеристики електростанції ЕТД-1000 наступні:

Потужність:	
номінальна	1000 кВт
максимальна	1250 кВт
Витрата газу	0,94...1,0 млн $\text{м}^3/\text{добу}$
Тиск газу:	
на вході	до 5,5 МПа
на виході	0,3...1,2 МПа
Напруга	6300 В
Частота струму	50 Гц
Маса	20 т

До основних достоїнств ЕТД-1000 належать:

наявність високоефективної системи дистанційного моніторингу, керування і технічного діагностування фірми "FESTO" (Австрія), що забезпечує високу надійність і комфортні умови експлуатації;

можливість використання на розподільних станціях, що мають різні значення параметрів витрати і тиску природного газу (шляхом застосування турбіни з регульованим сопловим апаратом);

стійка робота в автономному режимі, а також у паралельному з будь-якою зовнішньою енергосистемою;

швидка окупність та одержання високого прибутку;

відсутність потреби в спеціальних монтажних роботах (шляхом виготовлення у вигляді двох модулів блочно-контейнерного виконання).

Література до підрозд. 2.2

1. Асадуллин М., Павлович С., Перепелица С. Газотурбинный привод ГТП Д-336-2Т нагнетателя природного газа в России // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 6. – С. 17–19.

2. Басов Ю., Курченко Ю. Авиационному двигателестроению в Запорожье – 85 лет // Двигатель. – 2001. – № 3. – С. 5–12.

3. Богуслаев В. Газотурбинный привод для реконструкции компрессорных станций // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 6. – С. 15–17.
4. Богуслаев В. Для энергетики нового тысячелетия // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 28–29.
5. Богуслаев В. Украинские авиационные двигатели: на пороге 21 века // Двигатель. – 2000. – № 3. – С. 18–20.
6. Богуслаев В., Гуров В., Жеманюк П. Турбодетандер позволяет экономить // Двигатель. – 2001. – № 4. – С. 22–24.
7. Богуслаев В., Жеманюк П., Хомутов П. ГТУ нового поколения для газораспределительных станций // Двигатель. – 2002. – № 2. – С. 20–21.
8. Морозов А., Якубенко Е. Газотурбинные приводы газоперекачивающих агрегатов и электростанций // Двигатель. – 2001. – № 3. – С. 33–34.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування в ЗМКБ "Прогрес" і ВАТ "Мотор Січ".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається ЗМКБ "Прогрес" і ВАТ "Мотор Січ".
3. Розкрийте особливості конструкції, а також технічні й експлуатаційні параметри двигунів сімейства Д-336.
4. Розкрийте особливості конструкції, а також технічні й експлуатаційні параметри двигуна АИ-336-1/2-10.
5. Проаналізуйте склад і характеристики газотурбінних електростанцій, виконаних на основі двигунів потужністю 1, 4, 6, 8 і 10 МВт.
6. Дайте характеристику автоматизованих електростанцій на основі двигуна АИ-20ДКЭ/ДМЭ.

2.3. ВАТ "Турбоатом"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Турбоатом". <i>Адреса підприємства:</i> 61037, Україна, м. Харків, просп. Московський, 199. <i>Чисельність працюючих:</i> 6000 чол. (2003 р.).

2.3.1. Відомості про підприємство

Харківський турбогенераторний завод ім. С.М. Кірова був уведений в експлуатацію в січні 1934 р. Основним напрямком виробничої діяльності нового підприємства було виготовлення парових турбін і генераторів для потреб енергетики та ВМФ.

Уже через рік завод випустив першу парову турбіну потужністю 50 МВт (АК-50 з початковими параметрами 2,85 МПа, 400 °С і частотою обертання 1500 об/хв). Через три роки на випробному стенді успішно пройшла випробування турбіна АК-100 потужністю 100 МВт. Одночасно завод освоював випуск турбін із системами регулювання, унікальних зубчастих редукторів, насосів для кораблів ВМФ.

У роки Великої Вітчизняної війни колектив підприємства був евакуйований у м. Свердловськ, де поряд з випуском продукції для фронту приступив до розробки серії стаціонарних турбін на високі параметри пари. Відразу ж після звільнення Харкова в серпні 1943 р. у зруйнованих цехах заводу почався ремонт турбін для електростанцій Донецького басейну та інших регіонів країни.

У 1948 р. була випущена перша передвключена турбіна потужністю 25 МВт на параметри пари 8,8 МПа і 500 °С, що поклала початок пошукам оптимальних напрямків у розвитку стаціонарних турбоагрегатів.

Основна спеціалізація підприємства в галузі енергетичного машинобудування визначилася в 50-х роках, коли виготовлення генераторів було виділено в окреме виробництво (далі – завод "Електротяжмаш"), а Харківський турбінний завод (ХТЗ) зосередився на виробництві потужних парових, газових і гідравлічних турбін.

У 50–60-х роках серійно випускалися парові турбіни ВКТ-100 потужністю 100 МВт на параметри пари 8,8 МПа і 535 °С (початок виробництва – 1957 р.), К-150-130 потужністю 150 МВт для роботи на парі 12,7 МПа і 565 °С (1958 р.) і К-300-240 потужністю 300 МВт на парі надкритичних параметрів 23,5 МПа і 540 °С (1960 р.). Ці турбіни встановлювалися на численних вітчизняних і закордонних електростанціях. У цей же період були створені унікальний дослідно-промисловий зразок парової турбіни СКР-100 на параметри пари 32,4 МПа і 650 °С та перша модифікація парової турбіни К-500-240-1 потужністю 500 МВт із частотою обертання 3000 об/хв на параметри пари 23,5 МПа і 540 °С (1965 р.).

З 1958 р. Харківський турбінний завод виробляє турбіни для атомних електростанцій і в 60-х роках стає головним підприємством СРСР у галузі атомного енергомашинобудування. Спочатку налагоджується серійний випуск турбін потужністю 30 МВт, потім були випущені турбіни типів МК-36, АК-70-11, К-75-30. З 1969 р. великою серією виготовляються вологопарові агрегати К-220-44 потужністю 220 МВт для роботи з реакторами ВВЭР-440, з 1970 р. – турбоагрегати К-500-65/3000 потужністю 500 МВт. У 1981 р. ХТЗ почав виготовлення турбіни К-750-65/3000 потужністю 750 МВт для одноконтурних АЕС з реакторами РБМК-1500.

У 70-х роках на заводі вперше в СРСР було організоване виробництво тихохідних (з частотою обертання ротора 1500 об/хв) парових турбін для АЕС, що мають ряд техніко-економічних та експлуатаційних достоїнств. Турбіни К-500-60/1500 і К-1000-60/1500 потужністю 500 та 1000 МВт із 1975 і 1980 рр. встановлювалися на Нововоронезькій, Південноукраїнській, Калінінській, Запорізькій та інших станціях.

Турбіни К-220-44 виробництва ХТЗ успішно працюють у складі закордонних

АЕС: "Козлодуй" у Болгарії, "Ловііса" у Фінляндії, "Пакш" в Угорщині, "Норд" у Німеччині.

Важливим етапом у розвитку заводу стала організація в 1953 р. гідротурбінно-го виробництва. У 80–90-х роках підприємством виготовлялося понад 40 % гідротурбін, що випускалися в СРСР.

З 1948 р. на заводі проектується і виготовляються газотурбінні агрегати. У 50–60-х роках був створений ряд дослідно-промислових зразків газотурбінної техніки, у тому числі й агрегат потужністю 50 МВт з початковою температурою газів 1073 К.

Наприкінці 60-х років підприємством створюється газотурбінний двигун ГТ-35-770 потужністю 35 МВт, який знайшов застосування в перших вітчизняних парогазових установках. У 1972 р. перша така установка ПГУ-200 сумарною потужністю 170 МВт була введена в експлуатацію на Невинномиській ДРЕС. Установка була виконана за схемою з високонапірним парогенератором. Повітря, стиснуте в компресорі ГТД, направлялося в топку котла, брало участь у спалюванні палива, виробництві пари і тільки потім, із залишковими температурою і тиском, надходило в газову турбіну. До складу ПГУ-200 крім двигуна ГТ-35-770 входили парогенератор ВПГ-450 і парова турбіна К-160-130 виробництва ХТЗ.

Дана установка дотепер успішно експлуатується. Річне напрацювання енергоблока з високонапірним парогенератором досягає 7940 год, напрацювання на відмову – 1100...1400 год, що на 10...30 % краще, ніж у паротурбінних блоків з турбінами К-300-240 і К-800-240.

Другою спробою створення в Радянському Союзі парогазових установок стала розробка і промислова експлуатація двох енергоблоків ПГУ-250 потужністю 250 МВт, установлених у 1980 і 1982 рр. на Молдавській ДРЕС. Дана установка була створена за схемою зі скиданням продуктів згоряння від ГТД у низьконапірний газомазутний парогенератор. До складу кожного блока входили газотурбінний двигун ГТ-35-770 і парова турбіна К-210-130. Річне напрацювання кожного агрегату складає в даний час 7460 год. Середньоексплуатаційне зниження питомої витрати палива порівняно з паротурбінними блоками – 3...5 %.

З 1977 р. агрегат ГТЭ-35-770 в автономному виконанні також експлуатується на Якутській ДРЕС і служить для постачання м. Якутська електроенергією та теплом.

На базі ГТ-35 конструкторами ХТЗ у 80-х роках був створений газотурбінний агрегат ГТ-45 потужністю 50 МВт. У 90-х роках велася розробка двигуна ГТЭ-115 потужністю 115 МВт і парогазових установок на його основі.

У 1976 р. на базі заводу створюється Виробниче об'єднання атомного турбобудування "Харківський турбінний завод ім. С.М. Кірова". У 1997 р. об'єднання було перетворено в акціонерне товариство. Власниками акцій у даний час є 75 юридичних осіб (21,95 %) і 8,3 тис. фізичних осіб (2,83 %). Інша частина акцій належить державі.

У даний час ВАТ "Турбоатом" є основним підприємством в Україні з вироб-

ництва енергетичного устаткування для гідравлічних, теплових та атомних електростанцій, з виробництва гідравлічних затворів – єдиним у країнах СНД, а також одним з найбільш авторитетних виробників цієї продукції у світі. Продукція підприємства працює на 165 електростанціях колишнього Радянського Союзу* й у 26 країнах на чотирьох континентах.

Розробку конструкцій парових і гідравлічних турбін, а також газотурбінних установок, виконання розрахункових і науково-дослідних робіт та ведення турбін у виробництві здійснюють спеціальні конструкторські бюро "Турбоатом" і "Турбогідромаш". Ці ж підрозділи визначають необхідність залучення сторонніх проектних і науково-дослідних організацій для вирішення задач та відпрацювання конструкцій.

Основним напрямком діяльності підприємства в даний час є випуск турбін для реконструкції діючих і будівництва нових енергоблоків. У рамках цього планується реконструкція блоків теплових електростанцій потужністю 200 і 300 МВт (виконано пілотний проект блока № 8 Зміївської ТЕС), продовження будівництва Дністровської ГАЕС, будівництво Канівської ГАЕС, реконструкція гідроелектростанцій Дніпровського каскаду, введення двох блоків Рівненської і Хмельницької АЕС потужністю по 1 МВт, розвиток малої енергетики.

Необхідно також відзначити, що в загальному обсязі продукції, яка випускається, українські замовлення складають приблизно 35 %.

2.3.2. Продукція підприємства

У даний час ВАТ "Турбоатом" пропонує замовникам:

парові турбіни потужністю 2...1000 МВт, у тому числі турбіни для АЕС, конденсаційні турбіни для ТЕС, теплофікаційні турбіни, турбіни малої потужності з протитиском;

гідравлічні турбіни різних типів: радіально-осьові, поворотно-лопатеві, мікро-ГЕС потужністю 5...50 кВт;

газотурбінні енергетичні і парогазові установки;

дискові і кульові гідрозатвори, тягодуттьові машини, ротори ексгаустерів, литво сталеве і т.п.

Розглядаються плани спорудження парогазового теплофікаційного блока одиничної/теплової потужності 150/150 МВт на основі ГТЭ-115 у газотурбінному машинному залі Харківської ТЕЦ-3.

Далі наведені характеристики газотурбінного устаткування, що випускається підприємством**.

* Продукцією підприємства в Україні оснащені 40 % теплових, 85 % атомних, 95 % гідроелектростанцій сумарною потужністю 60 млн кВт.

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – turboatom.ukrbiz.net.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-45-3

Розроблений з урахуванням досвіду, набутого при проектуванні й експлуатації агрегатів типу ГТЭ-35-770. Поліпшення техніко-економічних показників досягнуто шляхом підвищення початкових параметрів циклу – температури від 1043 до 1153 К, міри підвищення тиску від 6,7 до 7,7. Витрата повітря через компресор при цьому зросла з 213 до 271 кг/с.

Перші дві модифікації агрегату розроблялися для конкретних схем парогазових установок (зокрема, передбачалося розташування високонапірного парогенератора між компресором і турбіною замість камери згоряння і т.п.), третя модифікація являє собою автономний енергоблок, виконаний за простою тепловою схемою.

Головний зразок ГТЭ-45-3 змонтований на Якутській ДРЕС у 1990 р. У липні 1996 р. був уведений другий агрегат, у листопаді 2002 р. – третій (модифікація ГТЭ-45-3М). Надалі планується встановлення ще одного (четвертого) енергоблока.

Конструктивно ГТЭ-45-3 являє собою одновальний газотурбінний агрегат простого циклу, блокового типу, розміщений на спільній рамі із вбудованою кільцевою камерою згоряння. Осьовий компресор складається з 16 ступенів з поворотним вхідним напрямним апаратом. Турбіна складається з чотирьох осьових ступенів.

Необхідність роботи агрегату в різних кліматичних умовах, у тому числі і при низьких температурах повітря в умовах Крайньої Півночі, врахована при проектуванні компресора: його перші ступені розраховані на знижені напори, мають відносно тонкі і слабо скривлені профілі решіток для уникнення виникнення режимів запирання та одержання досить високого ККД за даних умов.

Проточна частина компресора створена на базі 14-ступінчастого компресора двигуна ГТЭ-35. У прототипі 4–14-й ступені були перераховані з масштабом моделювання 1,045. Перед ними встановлені заново спроектовані п'ять осьових ступенів.

Турбіна і компресор агрегату виконані в спільному корпусі (рис. 2.3.1). Корпус має горизонтальне і кілька вертикальних рознімів. У передній частині компресора він спирається на нерухомі опори 5. Задні опори 4 корпусу гнучкі в поперечному напрямку. У подовжньому напрямку корпус переміщається завдяки шарнірним з'єднанням опор.

Для забезпечення пускових режимів компресор має скидання повітря за 5-м і 10-м ступенями, а вхідний напрямний апарат 1 виконаний з поворотними лопатками.

Ротор 2 компресора дисково-барабанного типу, зварений, складається з трьох частин. Лопатки в роторі кріпляться зубчиковими хвостовиками. Особливістю конструкції хвостового з'єднання є осьове заведення кожної лопатки в пази ротора. Така конструкція має підвищену ремонтоздатність (порівняно з тангенціальним заведенням), оскільки в разі потреби може бути проведена заміна однієї лопатки

без розбирання сусідніх лопаток. Крім того, жорсткість закладення лопаток не залежить від якості збирання.

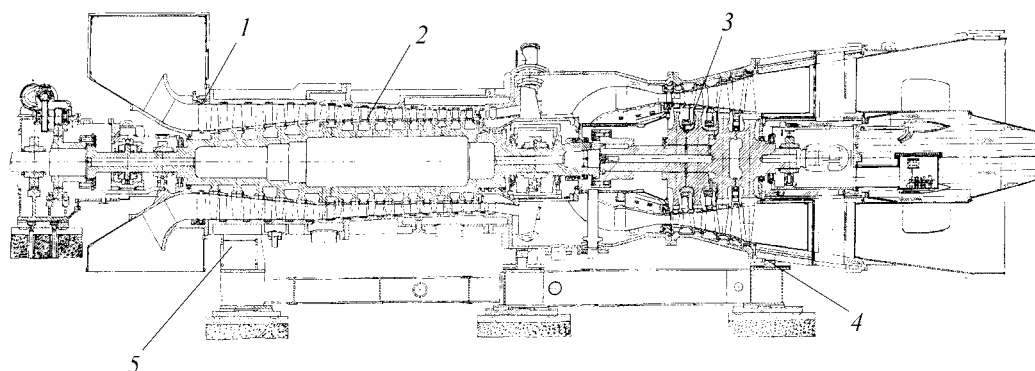


Рис. 2.3.1. Конструкція газотурбінного агрегату ГТЭ-45 для парогазових блоків з високонапірним парогенератором

Ротор і корпус турбіни охолоджуються повітрям, яке відбирається після компресора. Перед надходженням у турбіну дане повітря охолоджується в спеціальному теплообміннику. Соплові лопатки 1–3-го ступенів пустотілі. У 1-му ступені застосовані охолоджувані соплові лопатки із вставним дефлектором, поперечною течією повітря і скиданням його в проточну частину через щілини у вихідній крайці лопаток.

Ротор 3 турбіни складається з чотирьох дисків. Диски 3-го і 4-го ступенів поєднуються зварюванням. Відсутність отворів у дисках забезпечує необхідну міцність при високих навантаженнях від лопаток. Диски 1-го і 2-го ступенів насаджені на хвостовик диска 3-го ступеня й відцентровані радіальними штифтами. Диски охолоджуються повітрям, яке продувається через зазори у хвостових з'єднаннях лопаток. Для підведення повітря застосовані покривні диски й ущільнювальні буртики на лопатках (останні кріпляться до дисків хвостовиками ялинкового типу).

Ротори турбіни і компресора, які поєднані між собою і з ротором генератора жорсткими муфтами, спираються на три вбудовані підшипникові опори. Зусилля від опор передаються на корпус ГТД через радіальні стояки. Напрямні апарати компресора зварні, а соплові апарати турбіни збірні.

Маса ГТЭ-45-3 (180 т) дозволяє транспортувати його залізницею. Основні технічні характеристики агрегату (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

	ГТЭ-45-3	ГТЭ-45-3М
Потужність електрична, МВт	51,8	58,2
ККД, %:		
ефективний	27,7	29,0
компресора	85,4	—
турбіни	90,8	—
Витрата повітря, кг/с	271	295

Агрегати виробництва підприємств України

	ГТЭ-45-3	ГТЭ-45-3М
Міра підвищення тиску	7,7	8,26
Коефіцієнт запасу стійкості компресора	1,2	—
Паливо	природний газ	
Температура газів, К:		
початкова		1153
за ГТД	736	723
Коефіцієнт відновлення тиску камери згоряння	0,97	—
Відносна витрата охолодного повітря, %	4,5	—
Маса агрегату, т		180
Габарити, м		16,3×4,6×4,0

ВАТ "Турбоатом" на цьому газотурбінному агрегативі вперше освоювало такі конструктивні рішення, як блокова конструкція агрегату на рамі з трьохопорним ротором, кільцева камера згоряння, охолоджувані лопатки соплового апарата турбіни та ін.

Енергетична установка з ГТЭ-45-3 комплектується електрогенератором типу ТВФ-63-2ЕУЗ виробництва НВО "ЭЛСИБ", який має тиристорну систему самозбудження типу СТСТГ-250-2100-2,5-10,5-1РВ УХЛ4.

У даний час розробляється чергова модифікація агрегату – ГТЭ-45-3М2 потужністю 64,3 МВт, з початковою температурою газу 1200 К, яка має ККД 30 %.

На базі ГТЭ-45-3 конструкторами ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя) розроблений проект газотурбінного агрегату потужністю 71 МВт із ККД 30,7 % (ГТЭ-70). У ньому передбачається використання проточної частини турбіни ГТЭ-45-3, а компресор отриманий з компресора ГТЭ-115 зі знятим першим ступенем.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-115

ВАТ "Турбоатом" з кінця 80-х років веде роботи зі створення енергетичного газотурбінного агрегату ГТЭ-115, основним призначенням якого є застосування у складі парогазових установок, що працюють на природному газі й забезпечують значне підвищення ефективності його спалювання порівняно з паротурбінними блоками. Агрегат ГТЭ-115 може працювати у складі бінарної ПГУ зі спалюванням усього палива в камерах згоряння, ПГУ зі скиданням газів у котел і ПГУ з витисненням парової регенерації. У певних умовах доцільне застосування ГТЭ-115 як автономної енергоустановки для вироблення електроенергії і тепла у вигляді гарячої води чи пари шляхом охолодження вихлопних газів ГТД. Агрегат розробляється для роботи в базовому, напівпіковому і піковому режимах.

Технічні характеристики ГТЭ-115 і його модифікації ГТЭ-115М наведені нижче:

	ГТЭ-115	ГТЭ-115М
Потужність, МВт:		
електрична	114,0	136,5
теплова (в котлі-утилізаторі)	—	220
Витрата повітря, кг/с	395	418

	ГТЭ-115	ГТЭ-115М
Міра підвищення тиску	12,2	13,5
Температура газів, К:		
початкова	1413	1493
за ГТД	788	816
Ефективний ККД, %	33,2	35,3
Коефіцієнт використання енергії палива, %	—	80,5
Частота обертання ротора, об/хв	3000	
Габарити, м	18,6×5,3×5,0	—

Газотурбінний агрегат виконано одновальним, за простою схемою (рис. 2.3.2). Двигун складається із 16-ступінчастого компресора, чотириступінчастої турбіни і кільцевої камери згоряння, встановлених на рамі. Він може транспортуватися (без патрубків компресора і турбіни) на залізничному транспорті вантажопідйомністю 220 т.

Ротор ГТД виконано трьохпорним. Така конструкція забезпечує мінімальні радіальні зазори в проточній частині компресора і турбіни. Корпус двигуна також має три опори. Передня опора є фікс-пунктом, середня – пружинна, опора вихідної частини турбіни виконана з хитними лапами. Така система обпирання корпусу забезпечує стабільність і симетричність теплових переміщень.

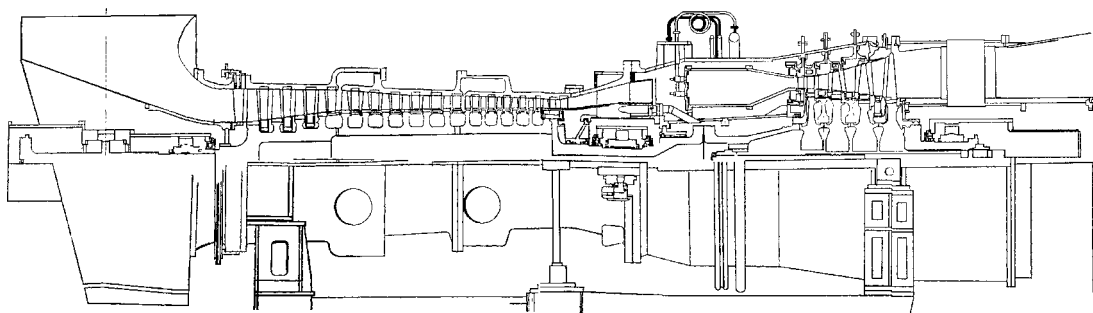


Рис. 2.3.2. Конструкція газотурбінного агрегату ГТЭ-115

Особливістю газотурбінного двигуна є наявність прямоотокового тракту робочого тіла з розвинутими дифузорами компресора і турбіни, що повинно сприяти одержанню високої економічності агрегату. Необхідна кількість вертикальних рознімань забезпечує доступ до проточних частин турбомашин і балансувальних площин валопроводу. Передбачено можливість установалення балансувальних тягарців (кульок) у вихідній частині роторів компресора і турбіни без розкриття корпусу.

Проточна частина компресора виконана шляхом надбудови проточної частини 12-ступінчастого компресора агрегату ГТ-6-750 ВАТ "ТМЗ" чотирма перед-включеними, заново спроектованими дозвуковими ступенями. Розміри хорд і кількість лопаток цих ступенів вибиралися за результатами випробувань моделі перших семи ступенів компресора газотурбінного агрегату ГТЭ-45 у ВАТ "НПО ЦКТИ".

За 4-м і 10-м ступеннями передбачені антипомпажні скидання повітря. Корпус компресора має горизонтальне і кілька вертикальних рознімань. Вхідний напрямний апарат виконаний з поворотними лопатками, проміжні напрямні апарати – звареними у вигляді півкілець, відцентрованих у корпусі.

Ротор компресора зварений, складається з трьох частин. Хвостові з'єднання робочих лопаток зубчикового типу виконані по дузі. Кожна робоча лопатка може бути встановлена чи знята з ротора окремо. Таким чином, застосування дугових хвостових з'єднань забезпечує ремонтоздатність звареного ротора на рівні збірних роторів. За 10-м ступенем у барабані ротора компресора виконані отвори для відбору повітря на охолодження лопаток турбіни.

При проектуванні проточної частини турбіни велика увага була приділена її аеродинамічній досконалості, міцності лопаткового апарата і ротора. Для перших трьох ступенів прийнята трохи збільшена навантаженість, що відповідає невеликому відхиленню потоку від осевого напрямку ($\alpha_2 = 70...80^\circ$), яке враховано при профілюванні соплових лопаток і практично не погіршує економічності турбіни. Це дозволило знизити середні діаметри ступенів і діаметри дисків, що позитивно позначилося на рівні напружень у дисках і робочих лопатках, а також на масогабаритних показниках агрегату.

Проточна частина турбіни спроектована з помірними кутами розкриття, які не перевищують 19° для периферійного і 10° для кореневого перерізів. Вихідні крайки соплових лопаток розташовані радіально.

Робочі лопатки перших двох ступенів і соплові лопатки перших трьох ступенів мають повітряне конвективне охолодження. Соплові лопатки 1–2-го ступенів і робочі лопатки 1-го ступеня виконані з внутрішнім дефлектором. У робочих лопатках 1-го ступеня дефлектор уставляється з торця пера лопаток і кріпиться до ніжки лопаток штифтом. У робочих лопатках 2-го ступеня і соплових лопатках 3-го ступеня охолодне повітря проходить через радіальну щілину з двома подовжніми перегородками.

Для інтенсифікації теплообміну у внутрішніх порожнинах усіх охолоджуваних лопаток є турбулізатори у вигляді ребер і штирів. У всіх лопаток випуск охолодженого повітря в проточну частину здійснюється через вихідну крайку. Повітря на охолодження соплових лопаток 1–2-го ступенів і робочих лопаток 1-го ступеня відбирається за компресором та проходить через повітроохолоджувач, а на охолодження робочих лопаток 2-го і соплових лопаток 3-го ступенів – за 10-м ступенем компресора.

Соплові лопатки всіх чотирьох ступенів і робочі лопатки 2–3-го ступенів виготовлені методом точного лиття зі сплаву ЦНК-7РС, робочі лопатки 1-го ступеня – зі сплаву ЦНК-7НК. Робочі лопатки 4-го ступеня виготовляються зі штампованої заготовки (нікелевий сплав ЭК-78). Температура металу охолоджуваних лопаток не перевищує 1123 К. Робочі лопатки 2–4-го ступенів мають бандажні полиці, що замикають лопатки на коло. Робочі лопатки кріпляться до дисків з'єднаннями "ялинкового" типу з прямими хвостовиками.

Ротор турбіни збірної конструкції із центральною стяжкою. Між основними дисками встановлені проміжні диски, за допомогою яких організовується тракт системи охолодження хвостовиків робочих лопаток в ободі дисків ротора. Основні і проміжні диски центруються радіальними штифтами.

Конструкція корпусу турбіни обоймового типу. На зовнішній корпус навішені три обойми, у які набрані соплові лопатки перших трьох ступенів і сегменти, що утворюють зовнішній контур проточної частини над робочими лопатками. Соплові лопатки 4-го ступеня набрані в окреме кільце. Особливістю конструкції соплових апаратів є знімна передня стінка у вигляді сегментів, у виступи яких заведені лопатки. Така конструкція полегшує збирання соплових апаратів та особливо їхній ремонт після тривалої експлуатації. Обойми апаратів 1–3-го ступенів виймаються з корпусу без виймання ротора турбіни. Обоймова конструкція дозволяє виконувати роздільне підведення охолодного повітря до соплових лопаток 1–3-го ступенів і тим самим регулювати температурний стан обойм та радіальні зазори.

Камера згоряння кільцевого типу є розвитком конструкції камери згоряння газотурбінного агрегату ГТЭ-45-3 і складається з жарової труби, фронтового пристрою, форсунок та паливного колектора.

Жарова труба з єдиною кільцевою зоною горіння складається із двох циліндричних корпусів, що мають горизонтальне рознімання. Фронтний пристрій складається з плоскої стінки, 72 лопаткових завихрювачів і 72 форсунок, розташованих співвісно з ними. У конструкції жарової труби і торцевої стінки передбачене переміщення більш гарячих елементів відносно більш холодних. Струминно-плівкова система охолодження елементів камери згоряння забезпечується системою отворів на зовнішній і внутрішній стінках. Форсунки двопаливні, з пневмомеханічною подачею рідкого палива.

Для зниження рівня шкідливих викидів розподіл повітря по трактах камери згоряння здійснюється таким чином, щоб у первинній зоні забезпечувався збіднений склад суміші. Також здійснені мікрофакельне спалювання палива та частковий автоматичний перерозподіл повітря по трактах камери згоряння при зниженні навантаження ГТД, передбачена можливість подачі води чи пари в камеру згоряння. Очікуване значення концентрації NO_x у відхідних газах у номінальному режимі при роботі на природному газі не повинне перевищувати 70...80 мг/м³ за нормальних умов.

Автоматичні регулювання, керування і захист будуть забезпечувати роботу агрегату на двох видах палива – природному газі і дизельному. Запуск агрегату здійснюється електрогенератором за допомогою тиристорних пускових пристроїв. Час пуску і досягнення номінальної потужності складає близько 20 хв.

На базі ГТЭ-115М розроблено проект агрегату з проміжним охолодженням повітря (одним/двома) і регенерацією.

У даний час роботи зі створення агрегату ГТЭ-115 не завершені. Розглядається можливість залучення до довідних робіт фахівців закордонних турбобудівних компаній, зокрема американської компанії "General Electric".

Література до підрозд. 2.3

1. Амосов А.Ф., Ахrameев В.И., Бумарсков А.О. Тепловые испытания газотурбинной установки ГТЭ-45 на Якутской ГРЭС в период опытной эксплуатации // Теплоэнергетика. – 1994. – № 9. – С. 13–19.
2. Антонова Э.Н. Тепловые испытания газотурбинной установки ГТЭ-45 на Якутской ГРЭС // Энергетик. – 2001. – № 7. – С. 12–14.
3. Бумарсков А.О., Каплан М.П., Торчинский В.Ш. Газотурбинная установка ГТЭ-45 // Энергомашиностроение. – 1984. – № 10. – С. 29–30.
4. Каплан М.П., Черномордик Л.И., Радченко А.А. Проектирование и аэродинамические исследования ступеней турбины ГТЭ-45 // Тр. ЦКТИ. – 1981. – Вып. 187. – С. 42–52.
5. Опыт освоения ГТЭ-45-3 на Якутской ГРЭС / Л.А. Зарубин, А.О. Бумарсков, В.П. Решитько, М.П. Каплан // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 12–14.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Турбоатом".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається ВАТ "Турбоатом".
3. Розкрийте особливості конструкції, а також технічні характеристики агрегату ГТЭ-45-3.
4. Розкрийте особливості конструкції, а також технічні характеристики агрегату ГТЭ-115.

2.4. ВАТ "Констар" та ВАТ ІВП "Енергія"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Криворізький турбінний завод "Констар". <i>Адреса підприємства:</i> 50045, Україна, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Окружна, 127. <i>Чисельність працюючих:</i> 2100 чел. (2002 р.).
	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Інжинірингово-виробниче підприємство "Енергія". <i>Адреса підприємства:</i> 50045, Україна, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Окружна, 127.

2.4.1. Відомості про підприємства

Криворізький турбінний завод "Восход" був заснований постановою Ради Міністрів СРСР від 31 грудня 1975 р. для серійного виробництва газотурбінних агрегатів компресорних станцій магістральних газопроводів. Для здійснення ком-

плексу дослідно-конструкторських робіт паралельно з ним було створено **Конструкторське бюро "Енергія"** як філія Союзного проектного бюро "Машпроект" (м. Миколаїв). Споруджуваний завод незабаром увійшов до складу Виробничого об'єднання "Заря", головним підприємством якого був Південний турбінний завод (м. Миколаїв). Колективи обох миколаївських підприємств відіграли чималу роль у становленні і розвитку виробництва газотурбінних агрегатів у Кривому Розі.

Порівняно з підприємством Південний турбінний завод, за аналогією з яким він створювався, завод "Восход" виріс на більш високому технічному рівні, оснащений унікальним імпортним устаткуванням і сучасним металургійним виробництвом.

Основним видом продукції заводу стала розроблена СПБ "Машпроект" конструкція газоперекачувального агрегату ГПА-10 (надалі ГПА-10-01) із двигуном ДР59Л потужністю 10 МВт, що був отриманий шляхом модифікації корабельного двигуна другого покоління ДЕ59Л. З 1979 р., коли завод "Восход" був уведений у дію, по 2002 р. було випущено більше 400 подібних агрегатів, які успішно експлуатуються дотепер у системах транспортування природного газу.

У загальному обсязі продукції в усі роки значною була питома вага різного енергетичного і технологічного устаткування. Підприємство здійснювало також гарантійно-технічне обслуговування виробів та всі види ремонту в заводських умовах.

У 1992 р. у зв'язку з перебудовою промисловості України Криворізький турбінний завод був виділений у самостійне підприємство. КБ "Енергія" у тому ж році було перетворено в Дослідний завод "Енергія"*.

У наступний період через скорочення поставок продукції російській газовій промисловості, для забезпечення потреб якої і створювалися підприємства, рентабельність їх поступово падала, і в 2000–2003 рр. вони були збитковими. У 2001–2002 рр. була проведена поетапна приватизація Криворізького турбінного заводу і на його основі створено Відкрите акціонерне товариство "Криворізький турбінний завод "Констар". Найбільшими акціонерами підприємства є український промислово-інвестиційний консорціум "Металургія" (26 % акцій), компанії "Grata Investiciac SIA" (Латвія) і "Toyberg Betailigungen AG" (Швейцарія) (по 24,9 % кожна). Раніше (у грудні 1997 р.) була проведена приватизація Дослідного заводу "Енергія".

2.4.2. Продукція підприємств

В обсязі продукції ВАТ "Констар" дотепер провідне положення займають виробництво і ремонт газоперекачувальних агрегатів ГПА-10 (ГПА-10-01), а також привідних двигунів ДР59Л (рис. 11Д). Так, у 2001 р. підприємством було постав-

* Надалі – ВАТ ІВП "Енергія".

лено замовнику п'ять агрегатів ГПА-10 на загальну суму 17,21 млн грн, що склало 24,4 % від загального обсягу виробленої продукції. Надходження від капітального ремонту, поставок деталей і вузлів для цих агрегатів склали 47,04 млн грн (66,8 %).

Виробництво газотурбінних двигунів і система якості у ВАТ "Констар" сертифіковані за міжнародними стандартами німецькою фірмою "TUF NORD".

Перспективним напрямком вважається випуск уже освоєного у виробництві привідного газотурбінного двигуна ДО49 для мобільних комплектно-блокових автономних електростанцій потужністю 2,5 МВт. Перші серійні зразки такого двигуна, створеного колективом НВКГ "Зоря"- "Машпроект", успішно пройшли кваліфікаційні випробування. Вони становлять серйозний практичний інтерес для ряду потенційних замовників.

ВАТ ІВП "Енергія" пропонує для суднового і промислового застосування газотурбогенератори ГТГ 100К(М) потужністю 100 кВт. Їхнє серійне виробництво ведеться з 1987 р. Можливе також використання двигуна, що входить до складу газотурбогенератора, для приводу насосів та інших промислових цілей.

Розроблені і готуються до серійного виробництва енергозберігаючі установки з безкомпресорними турбінами (потужнісний типорозмірний ряд від 2,5 до 6,0 МВт), які дозволяють утилізувати потенціальну енергію природного газу при зниженні його тиску до споживчих величин в умовах газорозподільних станцій і газоредукційних пунктів. Комплектно-блокове виконання і відносна простота конструкції визначають високу економічну ефективність таких установок та дозволяють реалізувати технологію прямого енергозбереження. Перші зразки установок, виготовлені досвідними виробничими потужностями, вже кілька років успішно експлуатуються в умовах ТЭЦ-21 м. Москви, накопичено необхідний експлуатаційний і технологічний досвід.

Підприємства роблять свій внесок і в проблему освоєння вітроенергетики в Україні. У співробітництві з фірмою "Вінденерго" ВАТ "Констар" освоїло і випускає вузли вітроенергетичних установок потужністю 110 кВт. Спільно з фахівцями інституту ім. Патона освоєне виготовлення комплектної нафтофонтанної арматури, запірної арматури високого тиску. На різних етапах підготовки виробництва і виготовлення знаходиться широка гама устаткування для рудовидобувних та гірничо-збагачувальних підприємств, турбокомпресори наддування дизельних двигунів. ВАТ "Констар" і ВАТ ІВП "Енергія" мають досвід по виконанню поточного та відбудовного ремонту технологічних газових і парових турбін російського, європейського та японського виробництва, виготовленню запасних вузлів і деталей до них.

Далі наводяться характеристики газотурбінного устаткування, яке випускається підприємствами*.

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційних сайтах підприємств – www.constar.com.ua та www.energia.com.ua.

Двигун ДР59Л

Двокаскадний з вільною силовою турбіною двигун ДР59Л потужністю 10 МВт був створений миколаївським підприємством НВКГ "Зоря"- "Машпроект" у 70-х роках на основі однієї з корабельних модифікацій двигуна М8. Конструкція ДР59Л є типовою для двигунів другого покоління, які серійно випускалися НВКГ "Зоря"- "Машпроект" у 60–90-х роках*.

Двигун ДР59Л є приводом автоматизованого газоперекачувального агрегату ГПА-10-01, технічні характеристики якого наведені нижче:

Номінальна потужність двигуна	10,4 МВт
ККД двигуна	не менше 27,6 %
Міра підвищення тиску ГТД	9,7...10,5
Початкова температура газів	1058 К
Тиск паливного газу	2,5 МПа
Витрата паливного газу	3048 кг/год
Частота обертання силової турбіни	4800 об/хв
Призначений ресурс двигуна	82500 год
Довжина ГТД	5,9 м
Діаметр ГТД	1,7 м
Маса ГТД	не більше 10,5 т
Вихідний тиск природного газу	5,6 або 7,5 МПа

У даний час ВАТ "Констар" виготовляє нові агрегати, виконує всі види заводського ремонту, гарантійно-технічне обслуговування, модернізаційні доробки та поставку запасних частин.

Двигуни ДО49 та ДО51

Одновальний газотурбінний двигун **ДО49** (UGT 2500) розроблений і серійно випускається НВКГ "Зоря"- "Машпроект" з 1994 р.** Перші зразки цього двигуна ВАТ "Констар" випустило в 1999 р.

На основі двигуна ДО49 і генератора ТК-2,5-2Р УХЛЗ створена мобільна комплектно-блокова **автономна газотурбінна електростанція ГТГ-2500** потужністю 2,5 МВт, призначена для використання як альтернативне джерело енергії на промислових підприємствах та інших об'єктах.

При встановленні на газовихлопі двигуна котла-утилізатора (наприклад, широко розповсюдженого в котельнях водогрійного котла ПТВМ-30) забезпечується додаткове одержання теплової енергії у вигляді пари і (чи) гарячої води. Допускають застосування системи допалювання палива перед котлом для одержання стабільних параметрів пари незалежно від режиму роботи двигуна і зміни температури зовнішнього повітря.

* Див. опис продукції НВКГ "Зоря"- "Машпроект".

** Див. опис двигуна UGT 2500 НВКГ "Зоря"- "Машпроект".

Технічні характеристики електростанції ГТГ-2500 наведені нижче:

Номінальна електрична потужність	2,5 МВт
Напруга на клеммах генератора	6300 (10500) В
Теплова потужність котла-утилізатора	до 4,0 МВт
ККД привідного двигуна	28,5 %
Призначений ресурс привідного двигуна	80000 год
Паливо	природний газ
Час пуску і навантаження	не більше 20 хв
Клас використання	базовий або піковий

Газотурбінний агрегат на спільній рамі з турбогенератором у шумопоглинальному контейнері може розташовуватися в існуючій котельні без значних змін у конструкції і компонуванні штатного устаткування. Коли необхідно, котел можна експлуатувати при відключеному двигуні. Дооснащення існуючих котелень пропонованою когенераційною установкою дозволить вести спільне вироблення тепла й електричної енергії, перетворюючи об'єкти тепlopостачання в міні-ТЕЦ. Упровадження технології малої енергетики знизить витрату палива при виробленні тепла і дасть можливість виробляти дешеву електроенергію на існуючому тепловому постачанні споживачів. Крім поставок електростанцій і привідних двигунів ДО49 ВАР "Констар" здійснює також їхній заводський ремонт і гарантійно-технічне обслуговування. Можливе виконання ГТГ-2500 для розташування в стаціонарному приміщенні чи комплектно-блокове контейнерне – на відкритій площадці. На конструктивній основі двигуна ДО49 у ВАР ІВП "Енергія" для використання в газоперекачувальних агрегатах компресорних станцій розроблено двовальний з вільною силовою турбіною газотурбінний двигун **ДО51**.

Технічні характеристики двигуна ДО51 наведено нижче:

Номінальна потужність	2,5 МВт
ККД	28 %
Міра підвищення тиску	12
Витрата газу за турбіною	15 кг/с
Температура газу за турбіною	723 К
Витрата паливного газу	960 м ³ /год
Частота обертання силової турбіни	13000 об/хв
Діапазон регулювання частоти обертання силової турбіни	70...105 %
Призначений ресурс	75000 год

Газогенератор двигуна уніфікований з газогенератором ДО49. Силова турбіна консольного типу. У редукторі ГТД ДО49 розміщується коробка приводів, яка забезпечує передачу крутного моменту на навішений маслоагрегат, а також вентилятор відсмоктування масляної пари та електростартери.

Газотурбогенератор ГТГ 100К(М)

Газотурбогенератор ГТГ 100К потужністю 100 кВт (рис. 2.4.1) являє собою автономний енерговузол суднової електростанції.

Двигун ГТД 100К (МГ2К), що входить до складу газотурбогенератора, виконано одновальним із блокованою силовою турбіною. Компресор двигуна відцентровий, одноступінчастий. Камера згоряння трубчаста, індивідуальна, обладнана однією жаровою трубою. Потужність, вироблювана тріступінчастою осьовою турбіною, з одного боку, витрачається на привод компресора, з іншого – передається через редуктор генератору.

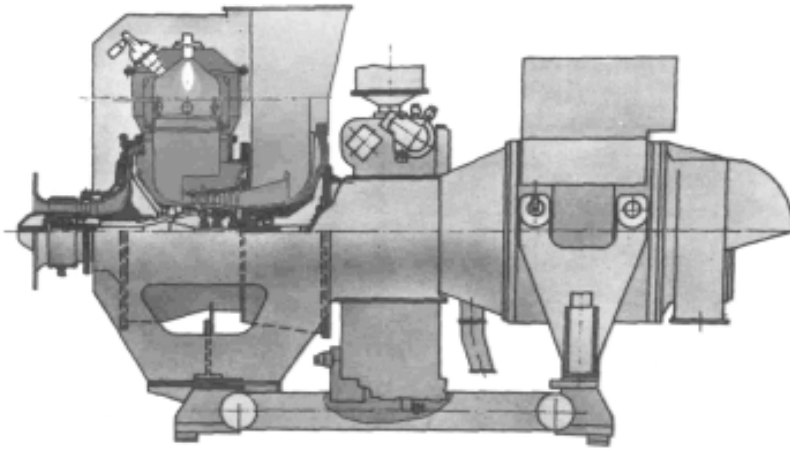


Рис. 2.4.1. Газотурбогенератор ГТГ 100К

Ротор двигуна спирається на два радіально-упорних кулькових підшипники і два упорних підшипники ковзання. Система змащення застосована циркуляційна під тиском, з начіпним маслоагрегатом. Запуск двигуна здійснюється за допомогою стартера постійного струму напругою 24 В, який має потужність 4,6 кВт. Керування газотурбогенератором автономне, автоматичне.

Для зменшення частоти обертання використовується співвісний редуктор зіркового типу, одноступінчастий, з розтросенням потоку потужності. Передаточне відношення складає 3,58.

Генератор СГБ-100 виробництва ЗАТ "Новатор" трифазний, синхронний, безконтактний, має частоту обертання ротора 12000 об/хв.

Блокована конструкція двигуна ГТД 100К дозволяє виробляти електричну енергію високої якості. Пружно-демпферні опори забезпечують довговічність підшипників і низький рівень вібрації ротора.

Двигун розроблений у 1986 р. З 1987 р. виготовляється серійно для десантних кораблів на повітряній подушці типу "Зубр" і "Мурена". На даний момент вироблено більше 140 таких агрегатів, які знайшли застосування у складі Військово-морських флотів України, Росії і Греції.

Для промислового застосування в останні роки розроблена модифікація ГТГ 100М. Основною її відмінністю від конструкції ГТГ 100К є наявність додаткового редуктора з передаточним числом, рівним 8. Редуктор співвісний, дво-

ступінчастий, з розстроєнням силового потоку. Стикується з вихідним валом ГТД і валом генератора та знижує оберти з 12000 об/хв до частоти обертання генератора – 1500 об/хв. Генератор змінного струму, трифазний. Паливна система дозволяє працювати як на рідкому паливі, так і на природному газі. ГТД, додатковий редуктор і генератор розташовані на єдиній рамі послідовно один за одним. У ГТГ 100М передбачена можливість спільного вироблення електричної і теплової енергії за допомогою утилізаційного котла, встановлюваного на газовідводі. Крім енергетичного призначення можливе використання двигуна для приводу насосів, а також для інших цілей.

Технічні характеристики газотурбогенераторів ГТГ 100К та ГТГ 100М наведені нижче:

	ГТГ 100К	ГТГ 100М
Потужність на клеммах генератора, кВт	100	
ККД, %	11,4	
Витрата повітря, кг/с	1,36	
Міра підвищення тиску	5,5	
Температура газів за ГТД, К	873	
Частота обертання ротора, об/хв:		
ГТД	43000	
генератора	12000	1500
Напруга струму, В	230	400
Частота струму, Гц	400	50
Габарити, м:		
довжина	1,85	2,20
ширина	0,76	0,80
висота	1,17	1,20
Маса, кг	520	1400
Призначений ресурс, год	8000	

На рис. 2.4.2 зображені експлуатаційні характеристики ГТГ 100К.

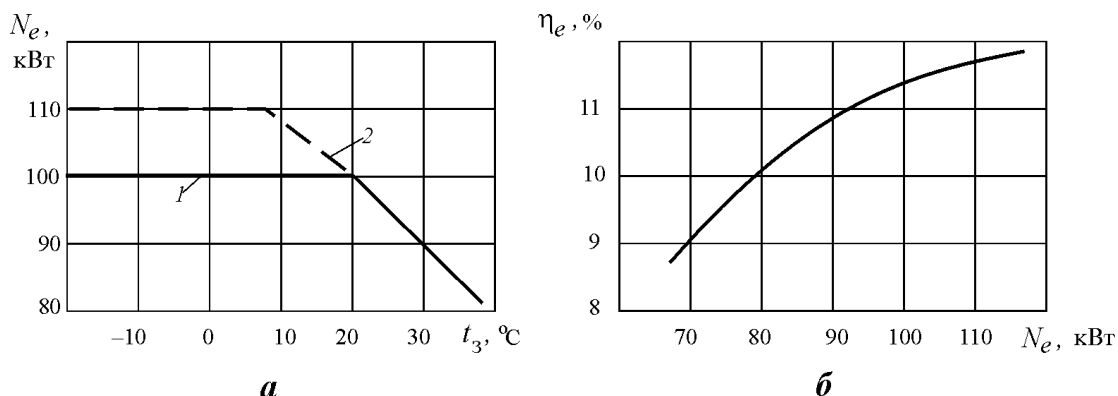


Рис. 2.4.2. Залежність потужності від температури зовнішнього повітря (**а**) та ККД ГТГ 100К від його потужності (**б**):

1 – номінальний режим роботи; *2* – максимальний режим роботи

Газові утилізаційні безкомпресорні турбіни

Газові утилізаційні турбіни призначені для вироблення електроенергії на металургійних підприємствах шляхом використання надлишкового перепаду тиску колошникового газу на виході з доменної печі. Дана технологія, що належить до розряду енергозберігаючих та екологічно чистих, дозволяє істотно поліпшити енергетичний баланс підприємства зі строком окупності початкових витрат не більше 1,5 року.

Технічні характеристики газових утилізаційних турбін наведені нижче:

Номінальна потужність	4...12 МВт
Тиск газу:	
на вході в турбіну	0,14 МПа
після турбіни	до 0,011 МПа
ККД турбіни	не менше 90 %
Напруга на клеммах генератора	6300 або 10500 В
Ресурс:	
до капітального ремонту	24000 год
призначений	120000 год
Міжрегламентний час безупинної роботи	1500 год

Підприємства ВАТ ІВП "Енергія" і ВАТ "Констар" виготовляють утилізаційні турбіни для доменних печей різної потужності, здійснюють усі види заводського ремонту, гарантійно-технічне обслуговування, постачання запасних частин.

У комплект поставки входять власне турбіна на рамі, стопорний і регулювальний клапани, маслостанція, електрогенератор, система автоматичного керування, комплект запчастин, інструменту і приладдя.

Утилізаційні турбодетандерні агрегати

Дані агрегати (табл. 2.4.1) розроблені колективом ВАТ ІВП "Енергія" і призначені для вироблення електроенергії шляхом корисного використання зниження тиску природного газу до споживчих величин в умовах газорозподільних станцій і газоредукційних пунктів. Потенціальна енергія газу перетворюється в механічну роботу обертання ротора турбодетандера. Для узгодження частот обертання турбодетандера і турбогенератора використовується редуктор.

Конструкція турбодетандерних агрегатів блокова. До їх складу входять: блок турбодетандерний, блоки дозуючий і байпасний системи регулювання. Кожний із блоків має окрему раму, на якій встановлюються функціонально взаємодіючі агрегати і механізми. У блок турбодетандерний входять: турбодетандер, редуктор, валопровід, системи забезпечення. Блок дозуючий має дозуючий клапан і стоп-кран. Блок байпасний складається з регулятора тиску газу і клапана захисту.

Турбодетандер – осьова двоступінчаста турбіна з мірою зниження тиску 4,8 (для ГРП) або тріступінчаста турбіна з мірою зниження тиску 3,77 (для ГРС). Для розширення діапазону роботи соплові апарати перших двох ступенів оснаще-

ні поворотними лопатками з привідним механізмом. Ущільнення по газу гідравлічні, щілинного типу.

*Таблиця 2.4.1. Технічні характеристики турбодетандерних агрегатів**

Параметри	Турбодетандерні агрегати					
	ТДА-2500	ТДА-4000	ТДА-6000	ТДА-2500ВД	ТДА-4000ВД	ТДА-6000ВД
Витрата газу, тис. м ³ /год	40...85	80...130	130...170	40...80	120...160	130...170
Тиск газу, МПа: на вході на виході	0,6...1,2 0,1...0,2			6,0...4,0 0,6...1,2		
Температура газу, К: на вході на виході	333...373 258			258...273		
Потужність на клеммах турбогенератора, МВт	0,7...2,5	1,7...4,0	3,8...6,0	1,0...2,5	2,4...4,0	2,4...6,0
Частота обертання турбогенератора, об/хв	3000					
Ступінь нечутливості системи регулювання тиску газу, %	0,2					
Міжремонтний ресурс, год	24000					
Термін служби, роки	15					

Редуктор одноступінчастий, косозубий. Передаточне число складає 3,2. В опорах використані підшипники ковзання та циркуляційна система змащення під тиском.

Система регулювання включає в себе два блоки – дозуючий (для подачі і швидкого перекриття підведення газу) і байпасний (для компенсації інерційності початку роботи станції при раптовій зупинці агрегату). Блоки гідравлічно розвантажені, клапани блоків мають тарілчасті запірні органи.

* Агрегати ТДА-2500, ТДА-4000 і ТДА-6000 – для ГРП, агрегати ТДА-2500ВД, ТДА-4000ВД і ТДА-6000ВД – для ГРС.

Турбогенератор стикується з турбодетандерним агрегатом валопроводом і муфтою з елементами, що руйнуються. Система змащення циркуляційна під тиском від окремого електронасосного агрегату.

Датчикова апаратура, встановлена на агрегаті, забезпечує формування і передачу системі автоматичного керування сигналів про стан та режими роботи агрегатів і систем.

Турбодетандерні агрегати розробки ВАТ ІВП "Енергія" оснащені системою автоматичного або дистанційного запуску і прийому навантаження, автоматичним підтриманням і дистанційним настроюванням заданого тиску в трубопроводі на виході з турбодетандера, забезпечують максимальну потужність при зміні параметрів газу, мають можливість роботи в автоматичному режимі без постійної присутності обслуговуючого персоналу, можливість керування агрегатами при техобслуговуванні від місцевого пульта, а також захисту вузлів тертя при вибігу.

Підприємства ВАТ ІВП "Енергія" і ВАТ "Констар" виготовляють агрегати різного виконання для широкого спектра технологічних параметрів газу, виконують усі види заводського ремонту, гарантійно-технічне обслуговування, постачання запасних частин. Можливе виконання агрегатів для розташування в стаціонарному приміщенні чи комплектно-блокове контейнерне виконання – на відкритій площадці. За завданням замовника можуть бути створені турбодетандерні агрегати на будь-які економічно доцільні витрати газу з потужностями 100...2500 кВт у діапазоні тиску на вході 0,3...5 МПа.

Ефективність використання агрегатів розробки ВАТ ІВП "Енергія" підтверджується досвідом їхньої експлуатації на газоредукційних пунктах Росії і Білорусі. У даний час два агрегати ДГА-5000 використовуються у складі ТЭЦ-21 ВАТ "Мосэнерго", один – на Лукомльській ДРЕС-1 ВАТ "Гомельэнерго".

Література до підрозд. 2.4

Губич А. Применение газотурбинных двигателей малой мощности в энергетике // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 6. – С. 21–23.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Констар" і ВАТ ІВП "Енергія".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами.
3. Проаналізуйте особливості конструкції двигунів ДО49 і ДО51.
4. Розкрийте конструктивні особливості, технічні й експлуатаційні характеристики газотурбогенератора ГТГ 100К(М).
5. Охарактеризуйте номенклатурний ряд і технічні параметри газових

утилізаційних турбін та турбодетандерних агрегатів, які випускаються підприємствами.

2.5. ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Сумське науково-виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе". <i>Адреса підприємства:</i> 40004, Україна, м. Суми, вул. Горького, 58. <i>Чисельність працюючих:</i> 21000 чол. (2003 р.).

2.5.1. Відомості про підприємство

Відлік історичного шляху підприємство веде з 28 листопада 1896 р., коли указом імператора Миколи II були затверджені умови діяльності в Росії бельгійського акціонерного товариства "Сумские машиностроительные мастерские (анонимное общество)". Засновниками підприємства, крім закордонних компаньйонів, були відомі українські цукрозаводчики. Згідно з задумом засновників, воно повинно було займатися виготовленням і ремонтом устаткування для цукрових заводів, шахт Донбасу та залізниць.

У 30-х роках XX століття завод спеціалізується як підприємство хімічного і нафтового машинобудування. Побудовано насосно-компресорний, ливарний та інструментальний цехи. Освоюється випуск поршневих компресорів, процес зварювання нікелевих і хромонікелевих сталей та виготовлення з них зварної хімічної апаратури. Починає виробництво продукції перший спеціалізований цех по випуску центрифуг.

У післявоєнний період підприємство розширює виробництво машин і апаратів для хімічної промисловості, здійснює комплектне постачання технологічних ліній та установок для виробництва мінеральних добрив, а також для одержання етилену і гелію. Виконується ряд важливих замовлень для атомної промисловості і цільових комплексних програм космічних досліджень.

У 1976 р. на базі машинобудівного заводу ім. М.В. Фрунзе і Сумського заводу важкого компресоробудування було створено Сумське машинобудівне виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе. У тому ж році для потреб газової промисловості Радянського Союзу підприємство починає серійний випуск удосконалених газоперекачувальних агрегатів ГПА-Ц-6,3 з авіаційним приводом НК-12СТ потужністю 6300 кВт у блочно-контейнерному виконанні.

У 1980 р. до об'єднання приєднується завод атомного енергетичного машинобудування. Освоюється випуск нових, більш потужних газоперекачувальних агрегатів ГПА-Ц-16 з авіаційним приводом НК-16СТ потужністю 16000 кВт.

Із включенням у 1985 р. до складу підприємства одного з підрозділів Всесоюз-

ного науково-дослідного інституту компресорного машинобудування і Сумської філії Конструкторського бюро важкого хімічного машинобудування воно було перетворено в Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання ім. М.В. Фрунзе.

У 80-х роках освоюється також серійне виробництво автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій та автомобільних газозаправних станцій. Італійською фірмою "Daniely" для об'єднання побудований завод з виробництва бурильних і магістральних труб нафтової та газової промисловості (1988 р.).

У 1994 р. на базі об'єднання створюється акціонерне товариство відкритого типу. Ведеться структурна перебудова діючих виробництв, розширюється асортимент продукції. У 1997 р. підприємство одержує сертифікат схвалення, що підтверджує відповідність його системи якості міжнародному стандарту ISO 9001.

Після продажу в 2000 р. на аукціоні останнього державного пакета акцій процес приватизації підприємства цілком завершений. На сьогоднішній день контрольним пакетом об'єднання володіє російсько-українська виробничо-інвестиційна компанія "Созидание", що спеціалізується на діяльності в сфері металургії й енергетичного машинобудування. Найбільшими акціонерами також є латвійська компанія "Grata Investicijs SIA" (25 %) і швейцарська "Toyberg Betailigungen AG" (22,16 %). Великий пакет акцій належить інвестиційному пулу "Cort Holding".

2.5.2. Продукція підприємства

ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" є найбільшим в Україні підприємством по випуску устаткування для нафтової, газової і хімічної промисловості. Воно виробляє унікальні види хімічного устаткування, центрифуги, компресори і газоперекачувальні агрегати, насоси й арматуру для магістральних газопроводів, пересувні агрегати для ремонту й освоєння нафтових і газових свердловин, газозаправні станції і пересувні автогазозаправники, важкі бурильні і магістральні труби, устаткування для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції, товари народного споживання.

В обсязі продукції провідна роль належить газоперекачувальним агрегатам і компресорним станціям для нафтогазового комплексу (за результатами роботи в 1999 р. – відповідно 37 і 22 %).

По виробництву газоперекачувальних агрегатів для магістральних газопроводів ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" є монополістом на території України, а також одним з найбільших виробників у світі (проектна потужність складає до 100 агрегатів на рік, фактичний випуск – 60...70). Відносний об'єм газу, що транспортується сумськими агрегатами по магістральних газопроводах у країнах СНД, досягає 40 %. У ролі приводів використовуються газотурбінні двигуни авіаційного і суднового типів, розроблені ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКБМ" (м. Самара), НВКГ "Зоря"- "Машпроект" (м. Миколаїв), ЗМКБ "Прогрес"

(м. Запоріжжя), Науково-технічним центром ім. А. Люльки ВАТ "НПО "Сатурн" та ін.

Близько 90 % усіх вироблених газоперекачувальних агрегатів підприємство продає в країни СНД та Іран, здійснює постачання також у Болгарію, Польщу та Аргентину.

У ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" освоєно виробництво більше 70 модифікацій агрегатів, які охоплюють широкий діапазон продуктивностей і тисків при потужності приводу 6,3; 8, 16 та 25 МВт. У перспективі розробка і створення високоефективних ГПА з приводами авіаційного та суднового типів потужністю 10 і 12 МВт. З моменту початку випуску (1973 р.) споживачам поставлено більше 2000 газоперекачувальних агрегатів.

Газоперекачувальні агрегати, що випускаються підприємством, призначені для стискання і забезпечення транспортування природного газу із заданими технологічними параметрами на лінійних компресорних станціях і станціях підземних сховищ газу. Відмітними їхніми рисами є: висока ефективність і надійність; відповідність сучасним екологічним вимогам; можливість експлуатації в будь-яких кліматичних зонах при температурі зовнішнього повітря $-55...+45$ °С; повна заводська готовність блоків, що поставляються на компресорні станції; повна автоматизація агрегатів; висока ремонтоздатність блоків і вузлів у польових умовах; можливість комплектування за бажанням замовника утилізаторами тепла, а також додатковими системами і пристроями (обігріву, вентиляції та ін.), що забезпечують зручність експлуатації.

З метою оптимізації процесу конструкторської розробки і технології виготовлення газоперекачувальних агрегатів створений базовий ряд відцентрових компресорів, заснований на уніфікації корпусів та їхніх складальних одиниць. Уніфіковані базові корпуси дозволяють досягти зазначених замовником параметрів шляхом установлення змінних проточних частин з різною кількістю ступенів. Конструкції компресорів відповідають вимогам стандарту Американського нафтового інституту (API 617). ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" також розроблені й освоюються у виробництві парогазові установки ПГУ-22 і ЭГТУ-16*.

Газоперекачувальні агрегати з газотурбінним приводом потужністю 6,3 МВт

ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" у даний час випускає газоперекачувальні агрегати, що використовують наступні типи газотурбінних приводів потужністю 6,3 МВт:

двигун Д-336-2 авіаційного типу конструкції ЗМКБ "Прогрес";

двигун НК-12СТ авіаційного типу конструкції ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова";

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.frunze.com.ua.

Сучасні газотурбінні агрегати

двигун НК-14СТ авіаційного типу конструкції ВАТ "СКБМ";

двигун ДТ71ПЗ суднового типу конструкції НВКГ "Зоря" - "Машпроект".

Частота обертання силової турбіни складає 8200 об/хв, діапазон регулювання частоти обертання – 70...105 %. Характеристики агрегатів наведені в табл. 2.5.1.

Таблиця 2.5.1. Характеристики газоперекачувальних агрегатів з приводом потужністю 6,3 МВт

Марка агрегату	Тип компресорної станції	Продуктивність		Тиск, МПа		Число ступенів
		при 101,3 кПа і 20 °С, млн м ³ /добу	за умов усмоктування, м ³ /хв	початковий	кінцевий	
З двигуном Д-336-2*						
ГПА-Ц-6,3А/74	Лінійна	6,6	84,9	5,35	6,33	2
ГПА-Ц-6,3А/71		6,5	79,0	3,60	7,10	3
ГПА-Ц-6,3А/74		6,5	80,1	5,59	7,26	2
ГПА-Ц-6,3А/74		7,7	97,1	5,51	7,26	2
З двигуном НК-12СТ**						
ГПА-Ц-6,3В/41-1,45	Лінійна	11,6	271,8	2,77	4,02	2
ГПА-Ц-6,3В/56-1,45		12,1	206,4	3,79	5,49	2
ГПА-Ц-6,3В/76-1,45 ГПА-Ц-6,3В/76-1,45***		12,2	149,4	5,14	7,45	2
ГПА-Ц-6,3В/21-2,2	Дотиск-на і ПСГ	4,6	332,4	0,94	2,06	5
ГПА-Ц-6,3В/29-1,7		7,4	296,4	1,67	2,84	2
ГПА-Ц-6,3В/41-2,2		4,7	169,7	1,83	4,02	5
ГПА-Ц-6,3В/56-1,7		7,9	159,1	3,23	5,49	2
ГПА-Ц-6,3В/76-2,2		4,6	86,0	3,39	7,45	5
ГПА-Ц-6,3В/125-1,7		7,9	65,4	7,21	12,26	3
ГПА-Ц-6,3В/125-2,2		4,9	53,3	5,62	12,36	6
ГПА-Ц-6,3В/210-1,7		7,4	34,0	12,18	20,70	4

* Маса кожного агрегату 110 т, габаритні розміри – 18,4×18,3×14,8 м.

** Маса кожного агрегату до 90 т, габаритні розміри – 14,3×9,9×10,9 м.

*** У подовженому корпусі.

Агрегати виробництва підприємств України

Продовж. табл. 2.5.1

Марка агрегату	Тип компресорної станції	Продуктивність		Тиск, МПа		Число ступенів
		при 101,3 кПа і 20 °С, млн м ³ /добу	за умов усмоктування, м ³ /хв	початковий	кінцевий	
З двигуном НК-14СТ*						
ГПА-Ц-6,3Б/56-1,45	Лінійна	12,1	206,4	3,79	5,49	2
ГПА-Ц-6,3Б/61-1,27		17,5	233,1	4,71	5,98	1
ГПА-Ц-6,3Б/76-1,45		12,5	150,6	5,14	7,45	2
ГПА-Ц-6,3ВМ/41-1,45		11,6	271,8	2,77	4,02	2
ГПА-Ц-6,3ВМ/56-1,45		12,1	206,4	3,79	5,49	2
ГПА-Ц-6,3ВМ/76-1,45		12,2	149,4	5,14	7,45	2
З двигуном ДТ71ПЗ**						
ГПА-Ц-6,3С/41-1,7	Дотискна	7,6	211,8	2,37	4,02	3
ГПА-Ц-6,3С/56-1,45	Лінійна і дотискна	12,10	206,4	3,79	5,49	2
ГПА-Ц-6,3С/64-1,7		7,9	137,1	3,69	6,28	3
ГПА-Ц-6,3С/125-2,2	Дотискна і ПСГ	4,3	47,7	5,62	12,36	6
ГПА-Ц-6,3С/150-2,2		4,4	39,8	6,69	14,71	6

* Маса кожного агрегату до 77,5 т, габаритні розміри – 14,3×9,9×10,9 м.

** Маса кожного агрегату до 115 т, габаритні розміри – 17,3×14,7×12,3 м.

Газоперекачувальні агрегати з газотурбінним приводом потужністю 8 МВт

ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" випускає газоперекачувальні агрегати з газотурбінним приводом НК-14СТ авіаційного типу потужністю 8 МВт конструкції ВАТ "СКБМ" (м. Самара). Частота обертання силової турбіни складає 8200 об/хв, діапазон регулювання частоти обертання – 70...105 %. Маса кожного агрегату складає не більше 80 т, габарити – 14,3×9,9×10,9 м. Характеристики агрегатів наведені в табл. 2.5.2.

Сучасні газотурбінні агрегати

Таблиця 2.5.2. Характеристики газоперекачувальних агрегатів з приводом потужністю 8 МВт

Марка агрегату	Тип компресорної станції	Продуктивність		Тиск, МПа		Число ступенів
		при 101,3 кПа і 20 °С, млн $\text{м}^3/\text{добу}$	за умов усмоктування, $\text{м}^3/\text{хв}$	початковий	кінцевий	
ГПА-Ц-8Б/56-1,45	Дотискна і ПСГ	14,0	242,7	3,79	5,49	2
ГПА-Ц-8Б/76-1,44		16,0	190,1	5,18	7,46	2
ГПА-Ц-8В/100-2,0		5,6	80,4	4,81	9,81	4
ГПА-Ц-8Б/150-2,2		5,0	50,9	6,69	14,71	6

Газоперекачувальні агрегати з газотурбінним приводом потужністю 16 МВт

ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" випускає газоперекачувальні агрегати, що використовують наступні типи газотурбінних приводів потужністю 16 МВт:

двигун НК-16СТ авіаційного типу конструкції ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова" (частота обертання силової турбіни складає 5300 і 5200 об/хв);

двигун ДУ71 суднового типу конструкції НВКГ "Зоря"-Машпроект" (частота обертання силової турбіни складає 5300 об/хв);

двигун ДГ90Л2 суднового типу конструкції НВКГ "Зоря"-Машпроект" (частота обертання силової турбіни складає 5200 об/хв);

двигун АЛ-31СТ авіаційного типу конструкції ВАТ "НПО "Сатурн" (частота обертання силової турбіни складає 5300 об/хв);

двигун ДЖ59Л2 суднового типу конструкції НВКГ "Зоря"-Машпроект" (частота обертання силової турбіни складає 5300 об/хв).

Діапазон регулювання частоти обертання: для НК-16СТ – 75...100 %, для інших – 70...105 %. Характеристики агрегатів наведені в табл. 2.5.3.

Газоперекачувальні агрегати з газотурбінним приводом потужністю 25 МВт

Для лінійних компресорних станцій ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" випускає газоперекачувальні агрегати ГПА-Ц-25/76-1,5 з газотурбінним приводом НК-36СТ авіаційного типу потужністю 25 МВт конструкції ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова". Продуктивність агрегату складає 46,0 млн $\text{м}^3/\text{добу}$, початковий тиск – 4,97 МПа, кінцевий тиск – 7,45 МПа, число ступенів – 2, частота

обертання силової турбіни – 5000 об/хв, діапазон регулювання частоти обертання – 70...100 %. Маса кожного агрегату складає не більше 290 т, габарити – 22,0×25,0×20,0 м. Налагоджується випуск лінійних компресорних станцій з агрегатами, що використовують газотурбінний привід суднового типу ДН80 конструкції НВКГ "Зоря"- "Машпроект".

Таблиця 2.5.3. Характеристики газоперекачувальних агрегатів з приводом потужністю 16 МВт

Марка агрегату	Тип компресорної станції	Продуктивність		Тиск, МПа		Число ступенів
		при 101,3 кПа і 20 °С, млн м ³ /добу	за умов усмоктування, м ³ /хв	початковий	кінцевий	
З двигуном НК-16СТ*						
ГПА-Ц-16/41-1,44	Лінійна	27,2	636,6	2,79	4,02	2
ГПА-Ц-16/56-1,44		31,0	519,0	3,81	5,49	2
ГПА-Ц-16/56-1,44**		31,0	519,0	3,81	5,49	2
ГПА-Ц-16/76-1,5		28,6	358,2	4,97	7,45	2
ГПА-Ц-16/76-1,44		33,3	395,4	5,18	7,45	2
ГПА-Ц-16/76-1,25		54,4	558,0	5,96	7,45	1
ГПА-Ц-16/100-1,44		32,7	283,0	6,88	9,91	2
ГПА-Ц-16/21-2,2	Дотискна	12,4	897,6	0,94	2,06	4
ГПА-Ц-16/41-2,2		12,7	463,3	1,83	4,02	4
ГПА-Ц-16/47-1,7		19,4	470,0	2,71	4,60	3
ГПА-Ц-16/56-1,7		18,4	370,2	3,23	5,49	3
ГПА-Ц-16/56-2,2		12,8	340,0	2,45	5,49	4
ГПА-Ц-16/76-2,2		12,1	231,0	3,39	7,45	4
ГПА-Ц-16/100-1,7		20,9	214,3	5,83	9,91	3
ГПА-Ц-16/125-1,7		18,6	160,1	7,27	12,36	3
ГПА-Ц-16/150-2,0		12,0	97,5	7,36	14,71	6
ГПА-Ц-16/150-1,7		16,5	111,5	8,66	14,71	4
ГПА-Ц-16/200-1,7		22,4	108,4	11,54	19,62	6

* Маса кожного агрегату до 160 т, габаритні розміри – 20,8×10,9×10,6 м.

** У подовженому корпусі.

Сучасні газотурбінні агрегати

Продовж. табл. 2.5.3

Марка агрегату	Тип компресорної станції	Продуктивність		Тиск, МПа		Число ступенів
		при 101,3 кПа і 20 °С, млн м ³ /добу	за умов усмоктування, м ³ /хв	початковий	кінцевий	
ГПА-Ц-16/76-1,7	Дотискна і ПСГ	20,0	288,5	4,39	7,46	3
ГПА-Ц3-16М/76-1,44 [*]	Лінійна	33,3	395,4	5,17	7,45	2
З двигуном ДУ71^{**}						
ГПА-16К/76-1,44	Лінійна	33,3	395,4	5,17	7,45	2
З двигуном ДГ90Л2^{***}						
ГПА-Ц3-16С/76-1,44	Лінійна	32,4	390,3	5,17	7,45	2
ГПА-Ц3-16С/76-1,25		52,3	537,3	5,96	7,45	1
ГПА-Ц1-16С/76-1,44		32,4	390,3	5,17	7,45	2
ГПА-Ц1-16С/85-1,5		29,9	332,2	5,56	8,34	2
ГПА-Ц-16С/76-1,7	Дотискна	20,0	288,5	4,39	7,45	3
ГПА-Ц3-16С/85-1,7	Дотискна і ПСГ	21,6	275,2	4,91	8,34	3
ГПУ-16С/76-1,5 ^{****}	Лінійна	27,0	340,0	4,97	7,45	2
З двигуном АЛ-31СТ^{*****}						
ГПА-Ц3-16Л/76-1,44	Лінійна	32,2	389,1	5,17	7,45	2
З двигуном ДЖ59Л2^{*****}						
ГПУ-16/56-1,44	Лінійна	30,9	519,0	3,81	5,49	2
ГПУ-16/74		15,2	194,2	4,89	7,30	2
ГПУ-16/76-1,44		33,3	395,4	5,17	7,45	2

* Частота обертання силової турбіни ГТД складає 5200 об/хв, маса агрегату – до 150 т, габарити – 19,8×10,9×10,6 м.

** Маса кожного агрегату до 155 т, габаритні розміри – 19,2×15,2×15,2 м. Комплектується компресором з електромагнітними підшипниками і торцевими газодинамічними ущільненнями.

*** Маса кожного агрегату до 270 т, габаритні розміри – 22,6×16,5×26,2 м.

**** Маса агрегату до 171 т, габаритні розміри – 20,0×15,4×14,0 м.

***** Маса кожного агрегату до 228 т, габаритні розміри – 19,6×22,6×20,0 м.

***** Маса кожного агрегату до 167 т, габаритні розміри – 18,0×15,4×14,0 м.

Парогазова установка ПГУ-22

Розроблена на базі газотурбінного двигуна авіаційного типу НК-16СТ потужністю 16 МВт конструкції ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова" і призначена для вироблення електричної енергії сумарною потужністю 22 МВт.

До складу ПГУ-22 входять: газотурбогенераторний блок із системою пускового і паливного газу, паротурбогенераторний блок, система імпульсного газу, загальностанційна система маслопостачання, електротехнічне устаткування, система автоматичного керування і регулювання, високовольне устаткування, комплект запірної арматури.

Газотурбогенераторний блок містить у собі: газотурбінний двигун НК-16СТ у блочно-контейнерному виконанні, устаткування системи змащення ГТД із маслоохолоджувачами і маслобаком, блок автоматики, паровий котел-утилізатор з металоконструкціями, редуктор, генератор Т-20-2 УЗ, устаткування системи змащення генератора, блок агрегатів водяного охолодження генератора.

У комплект постачання паротурбогенераторного блока входять: парова турбіна потужністю 4...6 МВт, електрогенератор Т-6-2 УЗ, конденсатор, деаератор, насоси основного конденсату, живильні і циркуляційні насоси котла-утилізатора, блок повітряних водоохолоджувачів, устаткування системи змащення генератора, блок агрегатів водяного охолодження генератора, комплект вузлів і деталей паропроводів, комплект високотемпературної арматури.

ПГУ-22 призначена для роботи в базовому, напівпіковому і піковому класах використання відповідно до ГОСТ 29328. Номінальні технічні параметри забезпечуються при температурі повітря на вході в ГТД 15 °С, тиску повітря на вході 101,3 кПа, утраті повного тиску в повітряозабірному тракті не більше 981 Па, нижчій теплотворній здатності палива 50056 кДж/кг. Основні технічні характеристики ПГУ-22 наведені нижче:

Потужність ГТД:	
номінальна	16 МВт
максимальна	19,2 МВт
Тиск паливного газу ГТД	2,4 МПа
Витрата паливного газу номінальна	4248 кг/год
Параметри пари на виході з котла-утилізатора:	
температура	не більше 653 К
тиск	2 МПа
Потужність парової турбіни	4...6 МВт
Витрата пари через турбіну	32,6 т/год
Тиск пари на вході в турбіну	1,75 МПа
Напруга номінальна на клеммах генераторів	6300 (10500) В
Частота струму номінальна	50 Гц

Двигун працює на газоподібному паливі (природний газ) ГОСТ 5542. При тиску паливного газу нижче 2 МПа в комплект постачання повинен входити до-

тискний компресор. НК-16СТ допускає можливість збільшення номінальної потужності на 20 % при падінні температури атмосферного повітря нижче 15 °С без збільшення номінальної температури газу перед турбіною високого тиску.

ПГУ-22 зберігає працездатність при температурі зовнішнього повітря –55...+45 °С, барометричному тискові 84,0...106,7 кПа, відносній вологості повітря до 98 %.

Викиди шкідливих речовин в атмосферу з вихлопними газами на режимі номінальної потужності не перевищують: для оксидів азоту – 200 мг/нм³, для оксиду вуглецю – 30 мг/нм³ (при температурі 0 °С, атмосферному тискові 0,1013 МПа та умовній концентрації кисню 15 %).

Енергетична газотурбінна установка ЕГТУ-16

У ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" створена і з березня 2001 р. знаходиться в дослідно-промисловій експлуатації комбінована теплоенергетична установка електричною потужністю 16 МВт і тепловою потужністю 25 МВт на основі двигуна НК-16СТ конструкції ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова". До складу ЕГТУ-16 також увійшов синхронний дво полюсний турбогенератор Т-20-2УЗ закритого виконання виробництва ВАТ "Привод" (м. Лисьва). Теплова енергія виробляється шляхом утилізації тепла вихлопних газів газотурбінного приводу за допомогою котла УТ-25, виконаного зі стандартних секцій із зовнішнім оребренням труб, що розраховані на безпосередній підігрів мережної води. Загальний ККД ЕГТУ-16 при використанні котла-утилізатора складає 75...80 %.

Установка оснащена сучасною системою автоматизованого керування і регулювання, що розроблена ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе" на базі програмно-технічного комплексу фірми "GE Fanuc" (США) і компанії "Saturn Data International". ЕГТУ-16 може бути виконана в блочно-контейнерному вигляді повної заводської готовності, що дозволяє значно скоротити терміни будівельно-монтажних робіт.

Література до підрозд. 2.5

1. Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16Л – высокая степень готовности / *А. Канав, В. Королев, В. Парафейник, В. Куприк* // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 4. – С. 22–23.
2. *Довженко В.Н., Парафейник В.П.* Газоперекачивающие агрегаты ГПА-Ц-6,3 и перспективы создания на их основе нового оборудования различного назначения // Турбины и компрессоры. – 2000. – № 4. – С. 13–19.
3. *Лукияненко В.* ОАО "Сумское НПО им. М.В. Фрунзе" – поставщик комплектных технологических комплексов "под ключ" // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 1. – С. 19–20.
4. Опыт эксплуатации ГПА-Ц-25 в ОАО "Самаратрансгаз" / *А. Шайхутдинов, В. Кабанов, Н. Козлов, Н. Россеев* // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 5. – С. 20–21.

5. Представление фирмы // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 4. – С. 25–26.
6. *Роговой Е.* Применение энергосберегающих технологий в ОАО "Сумское МНПО им. М.В. Фрунзе" // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 5. – С. 23–24.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається ВАТ "Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе".
3. Проаналізуйте склад і характеристики газоперекачувальних агрегатів із ГТД потужністю 6,3 МВт, які випускаються підприємством.
4. Проаналізуйте склад і характеристики газоперекачувальних агрегатів із ГТД потужністю 16 МВт, які випускаються підприємством.
5. Розкрийте особливості конструкції парогазової установки ПГУ-22 та енергетичної газотурбінної установки ЕГТУ-16.

2.6. ВАТ "Турбогаз"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Турбогаз".
Адреса підприємства: 61003, Україна, м. Харків, пров. І. Дубового, 6/4.
Чисельність працюючих: біля 600 чол. (2003 р.).

2.6.1. Відомості про підприємство

ВАТ "Турбогаз" до 1992 р. було філією Всесоюзного науково-виробничого об'єднання "Союзтурбогаз", створеного в 1975 р. Міністерством газової промисловості СРСР для вирішення конкретних задач розробки і впровадження передової техніки та технологій переробки і транспорту газу. Майже 30 років підприємство займається розробкою, виробництвом і впровадженням у нафтогазову промисловість сучасної машинобудівної продукції.

Продукція з маркою "Турбогаз" добре відома в Україні й у багатьох країнах СНД, де вона експлуатується на численних об'єктах:

газоконденсатних родовищах України і Росії (Тюменська обл., Республіка Комі, Західний Шатлик) – близько 160 турбодетандерних агрегатів;

компресорних станціях магістрального газопроводу Ямбург–Помари–Ужгород і його відгалуженнях – більше 200 газоперекачувальних агрегатів;

об'єктах Росії (Тюменська обл., Західний Сибір), Туркменії й Азербайджану – 18 газотурбінних електростанцій загальною потужністю більше 300 МВт;

газоконденсатних родовищах Росії (Тюменська обл.) й України – більше 900 комплексів свердловинного устаткування;

газоконденсатних родовищах України – більше 100 комплектів фонтанної арматури поставлено, вісім родовищ цілком обладнані устаткуванням для підготовки газу;

компресорній станції "Оренбургтрансгаз" і газорозподільній станції № 7 м. Дніпропетровська – дві утилізаційні турбодетандерні установки;

компресорній станції "Ставищенська" газопроводу "Прогрес" – парогазова установка типу "Водолій".

У даний час до складу ВАТ "Турбогаз" входять Спеціальне конструкторське бюро в м. Харкові і Шебелінський дослідно-експериментальний завод з випробним полігоном. Діяльність акціонерного товариства охоплює всі стадії виробництва – від досліджень і розробок до випуску готової продукції.

З 1997 р. акціонерне товариство є головним підприємством Міжрегіональної машинобудівної корпорації "Укргазнафтомаш".

2.6.2. Продукція підприємства

ВАТ "Турбогаз" у даний час спеціалізується на проведенні науково-дослідних, дослідно-конструкторських, експериментальних робіт і виготовленні устаткування для нафтогазової галузі, зокрема бурового устаткування, турбохолодильної техніки, газотурбінних електростанцій.

У номенклатуру продукції входять:

блочно-комплектні газоперекачувальні агрегати з газотурбінним (простого і комбінованого циклу) та електричним приводами;

блочно-комплектні електростанції з газотурбінним приводом;

блочно-комплектні турбодетандерні установки для перетворення енергії надлишкового тиску природного газу в електричну енергію;

турбохолодильні агрегати для охолодження природного газу в технологічних схемах його підготовки і переробки;

бурове, свердловинне і газорозподільне устаткування, нафтопромисловий інструмент, компресори, насоси, спеціальні транспортні і вантажопідйомні засоби та ін.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного устаткування, яке випускається підприємством*.

Газоперекачувальні агрегати ГПА-2,5, ДГПА-1 і ГПУ-16К

Призначені для підвищення тиску природного газу на компресорних станціях

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.turbogaz.scana.com.ua.

магістральних газопроводів, підземних сховищ газу і на відводах для подачі газу окремим споживачам. Виконуються блоковими й автоматизованими установками повної заводської готовності.

У даний час ВАТ "Турбогаз" випускає три типи газоперекачувальних агрегатів:

ГПА-2,5, заснований на двигуні UGT 2500 (ДО49) потужністю 2,5 МВт розробки НВКГ "Зоря"- "Машпроект" (м. Миколаїв);

ДГПА-1, що використовує як привід газотурбінний двигун потужністю 1 МВт, розроблений ЗМКБ "Прогрес" на основі серійного турбовального вертолїтного двигуна ТВЗ-137 ВАТ "Мотор Сїч";

ГПУ-16К потужністю 16 МВт, до складу якого входить парогазова установка контактного типу (проект "Водолїй"), створена НВКГ "Зоря"- "Машпроект"*

Основні характеристики агрегатів ГПА-2,5 та ДГПА-1 наведені нижче:

	ГПА-2,5	ДГПА-1
Потужність, МВт	2,5	1,0
Продуктивність, млн м ³ /добу	1,9...3,5	0,75...1,5
Тиск газу, МПа:		
на входї	1,4...10,0	0,58...4,9
на виходї	2,8...15,0	1,17...7,4
Частота обертання вала, об/хв	11000	13000
Габарити турбоблока, м	12,0×3,2×3,0	9,5×3,0×3,0
Маса агрегату, т	80	37

У парогазовїй установцї реалїзовано комбїнований цикл з упорскуванням пари в проточну частину газотурбїнного двигуна і наступним вїддїленням її вїд димових газів у парогазовому конденсаторї. Участь пари в процесї згоряння палива забезпечує зниження в чотири-п'ять разів концентрацїї токсичних речовин у вихлопних газах ГТД порївняно з двигунами, що працюють за простим циклом.

Газоперекачувальний агрегат ГПУ-16К має продуктивність 33,25 млн м³/добу, концентрацїю NO_x у вїдхїдних газах не бїльше 50 мг/нм³, концентрацїю СО не бїльше 100 мг/нм³. Температура вїдхїдних газів 50 °С.

Блоковї електростанцїї з газотурбїнним приводом

Призначенї для використання в ролї основних або резервних джерел енергопостачання газових промислїв чи їнших споживачїв трифазного струму. Виконуються блоковими автоматизованими установками повної заводської готовності. Укомплектованї всїм необхідним для самостїйної роботи. Стїйко працюють у паралельному режимї з аналогїчними електростанцїями. Додатково можуть бути оснащенї дотискним компресором (при тиску на об'єктї 0,3...1,2 МПа), комплектом устаткування для системи вироблення тепла та їншим устаткуванням з урахуванням конкретних умов експлуатацїї (табл. 2.6.1).

* Див. також опис продукцїї НВКГ "Зоря"- "Машпроект" і ЗМКБ "Прогрес".

Сучасні газотурбінні агрегати

У ролі приводів використовуються газотурбінні двигуни потужністю 1 МВт розробки ЗМКБ "Прогрес", а також двигуни UGT 2500 (ДО49) і UGT 6000 (ДВ71) розробки НВКГ "Зоря"- "Машпроект"*.

Таблиця 2.6.1. Технічні характеристики блокових газотурбоелектростанцій

Параметри	Марки блокових газотурбоелектростанцій		
	ЭГ-1000-Т6300-2В	ЭГ-2500-Т6300/10500/-3ВН	ЭГ-6000-Т6300/10500/-3ВН
Потужність, МВт	1,0	2,5	6,0
Напруга, В	6300	6300 (10500)	
Частота струму, Гц	50		
Паливо	Природний газ		
Тиск паливного газу, МПа	1,2	2,45	
Витрата паливного газу, кг/год	360	720	1404
Частота обертання ротора, об/хв	3000		
Теплова потужність котла-утилізатора, МВт	–	3,64	5,58
Коефіцієнт використання енергії палива (разом з утилізацією), %	–	80	
Ступінь автоматизації	3		
Габарити найбільшого блока, м	12,2×2,4×2,5	11,7×3,0×3,2	12,4×3,3×3,5
Маса електростанції, т	25	72	120

Утилізаційні турбодетандерні установки

ВАТ "Турбогаз" у даний час випускає утилізаційні турбодетандерні установки потужністю 0,3 і 2,5 МВт. Вони призначені для перетворення енергії надлишкового тиску природного газу на газорозподільних і компресорних станціях в електричну енергію. Установка УТДУ-2500/10,5У1 одночасно може бути використана

* Див. також опис продукції НВКГ "Зоря"- "Машпроект" і ЗМКБ "Прогрес".

як джерело холоду для господарських потреб. Виконуються блоковими автоматизованими агрегатами повної заводської готовності.

У 2003 р. підприємство освоїло виробництво турбодетандерних електростанцій потужністю 8 кВт. Вважається, що такі установки стануть джерелом дешевої електроенергії для задоволення власних потреб газорозподільних станцій, зокрема для катодного захисту та освітлення. Термін служби міні-електростанцій не менше 12 років. У країнах СНД у даний час вони не випускаються.

Основні характеристики турбодетандерних установок наведені нижче:

	УТДУ-2500/10,5У1	УКС2-300У1
Потужність електрогенератора, МВт	2,5	0,3
Напруга, В	10500	380
Частота струму, Гц		50
Номінальна витрата газу, млн м ³ /добу	4,5	0,5
Тиск газу на вході, МПа	2,2	5,0
Частота обертання ротора, об/хв		3000
Габарити транспортного блока, м:		
довжина	9,3	9,4
ширина	3,2	3,3
висота	4,0	4,0
Маса установки, т	75	16

Контрольні завдання

- 1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Турбогаз".*
- 2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається ВАТ "Турбогаз".*
- 3. Проаналізуйте склад і характеристики газоперекачувальних агрегатів, що випускаються підприємством.*
- 4. Проаналізуйте склад і характеристики блокових газотурбоелектростанцій, що випускаються підприємством.*

Розділ 3. ГАЗОТУРБІННІ АГРЕГАТИ ТА АГРЕГАТИ НА ЇХНІЙ ОСНОВІ ВИРОБНИЦТВА ПІДПРИЄМСТВ РОСІЇ

У другій половині XX століття потужні центри газотурбобудування склалися в російських містах Самара, Рибінськ, Перм, С.-Петербург, Москва, Казань, Уфа, Єкатеринбург та Омськ.

У Самарі розробкою і створенням газотурбінних агрегатів стаціонарного призначення займаються ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" і ВАТ "СКБМ". Серійно виробляє дані агрегати ВАТ "Моторостроитель". У Радянському Союзі самарські підприємства були піонерами використання конвертованих авіаційних двигунів у ролі приводів наземних промислових та енергетичних установок. У даний час для компресорних станцій вони пропонують газотурбінні двигуни потужністю 6,3...25,0 МВт: НК-12СТ, НК-14СТ, НК-14СТ-10, НК-16СТ, НК-36СТ, НК-38СТ. Створено блочно-модульний газоперекачувальний агрегат "Самара-25НК". Серійно випускаються енергетичні двигуни НК-14Э та НК-37. Розроблено газотурбінні електростанції АТГ-10 і НК-900Э потужністю 10 та 25 МВт.

Двигуни НК-16СТ і НК-38СТ, розроблені у ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", серійно виробляє ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение". Двигун НК-16СТ послужив основою для створення у ВАТ "КПП "Авиамотор" (м. Казань) агрегату НК-16-18СТ потужністю 18 МВт. На базі НК-16-18СТ 2-ї серії створена блочно-модульна установка ГТЭ-18. Двигун НК-38СТ входить до складу газоперекачувального агрегату ГПА-16 "Волга", що випускається ВАТ "КМПО".

Нарощує темпи виробництва наземного газотурбінного устаткування ВАТ "НПО "Сатурн", яке утворилося в 2001 р. внаслідок об'єднання провідного російського конструкторського бюро авіаційного двигунобудування – ВАТ "А. Люлька-Сатурн" (м. Москва) та однієї з найбільших у Росії широкопрофільних машинобудівних компаній – ВАТ "Рыбинские моторы" (м. Рибінськ, Ярославська обл.). Сьогодні підприємство серійно виробляє двигун ДО49Р потужністю 2,5 МВт і блокову електростанцію ГТЭС-2,5 на його основі, веде роботи зі створення модифікації двигуна – Сатурн ГТД-2,5 і газоперекачувального агрегату Сатурн ГПА-2,5.

У дослідно-промисловій експлуатації знаходиться створений у виробничій кооперації з НВКГ "Зоря"- "Машпроект" газотурбінний двигун ГТД 110 потужністю 110 МВт. На його основі розроблені парогазові установки потужністю 325 і 170 МВт (ПГУ-325 і ПГУ-170).

На базі серійного авіаційного двигуна АЛ-31Ф для газоперекачувальних агрегатів та електростанцій створені двигуни АЛ-31СТ і АЛ-31СТЭ потужністю 16 МВт. Розроблені також модифікації цих двигунів потужністю 10 і 12 МВт. Авіаційний двигун п'ятого покоління АЛ-41Ф використовується для створення ГТД потужністю 25 МВт (ГТД-25АЛ).

Для потреб енергетики і промисловості створений газотурбінний двигун Сатурн ГТД-4 потужністю 4 МВт. У даний час розробляються його модифікації по-

тужністю 6 і 10 МВт – Сатурн ГТД-6,3 і ГТД-10, а також суднові двигуни Сатурн М70ФРУ і Сатурн М75РУ.

Високонадійні і довговічні серійні авіадвигуни Д-30КУ та Д-30КП були використані при створенні газотурбінних двигунів Сатурн ГТД-6 і ГТД-8.

У 90-х роках почали розробку і створення наземних агрегатів пермські підприємства ВАТ "Авиадвигатель" та ВАТ "Пермский моторный завод". Сьогодні споживачу пропонуються газотурбінні приводи потужністю 2,5...25,0 МВт та електростанції типу "Урал", виконані на їхній основі. Один із найбільш надійних двигунів в історії світової авіації – ТРДД Д-30КУ/КП третьої серії – послужив базою для створення агрегатів ГТУ-2,5П, ГТУ-4П та ГТУ-6П потужністю 2,5; 4 і 6 МВт відповідно.

Двоконтурний турбореактивний двигун ПС-90А розробки ВАТ "Авиадвигатель" став вихідним для створення цілої серії двигунів – ГТУ-10П, ГТУ-12П, ГТУ-12ПЭР, ГТУ-16П, ГТУ-16ПЭР, ГТУ-25П та ГТУ-25ПЭР. На замовлення РАТ "ЕЭС России" разом з ВАТ "ЛМЗ" розробляються енергетичні двигуни ГТЭ-180П та ГТЭ-65П потужністю 180 і 65 МВт. На базі ГТЭ-180П пророблені варіанти бінарних парогазових установок ПГУ-270 і ПГУ-540.

Провідне російське підприємство з виробництва агрегатів складних теплових схем – ВАТ "Невский завод" (м. С.-Петербург), незважаючи на труднощі 90-х років, як і раніше, залишається одним з найбільших виробників газотурбінної продукції. Для компресорних станцій пропонуються ГТА потужністю 10, 12, 16 і 25 МВт – ГТК-10М (ГТНР-10), ГТНР-12, ГТНР-16 і ГТН-25. Створено енергетичні агрегати ГТЭР-10, ГТЭР-12 і ГТЭР-16. Розробляється ГТА "Надежда" з регенерацією і проміжним охолодженням повітря, ККД якого складе 44 %.

За ліцензією німецької фірми "Siemens" газотурбінні агрегати ГТЭ-160 потужністю 160 МВт виробляє ВАТ "Ленинградский металлический завод". Розроблено проект енергетичного ГТА потужністю 60 МВт.

Московським підприємством "Салют" для промисловості серійно випускається агрегат ГТЭ-20С (ГТУ-89СТ-20) потужністю 20 МВт. Ведуться роботи зі створення енергетичної парогазової установки контактного типу ГТЭ-60С (МЭС-60).

ВАТ "Турбомоторный завод" (м. Єкатеринбург) для газотранспортних мереж виробляє агрегати ГТН-6У, ГТН-16М-1 та ГТН-25-1 потужністю 6, 16 і 25 МВт, для потреб енергетики – ГТЭ-6, ГТЭ-6У, ГТЭ-16 та ГТЭ-25У.

На базі вертолітних і танкових двигунів власної розробки ДУП "Завод им. В.Я. Климова" (м. С.-Петербург) створює енергетичні модулі потужністю 0,8...2,2 МВт.

Корабельні газотурбогенератори ГТГ-1500-2 потужністю 1,5 МВт, що серійно випускаються ВАТ "Пролетарский завод" (м. С.-Петербург) для потреб ВМФ, конвертовані для роботи на газоподібному паливі і використовуються у складі газотурбінних електростанцій ПГТЭС-1500.

Виробництво газотурбінних агрегатів промислового типу потужністю 9 МВт налагоджує на своїх підприємствах ВАТ "Энергомашкорпорация" (м. Москва).

Серійно виробляє двигуни АЛ-31СТ і АЛ-31СТЭ потужністю 16 МВт ВАТ "Уфимское моторостроительное производственное объединение". НПП "Мотор"

(м. Уфа) розроблена газотурбінна установка ГТЭ-10/95 потужністю 8 МВт, що знайшла застосування на ряді підприємств Республіки Башкортостан.

Енергетичні установки ГТЭ-20/55СТ потужністю 20 МВт виробляє ЗАТ "Энергоавиа", створене на базі Науково-випробного центру ФДУП "ЦИАМ" у м. Литкаріно (Московська обл.).

Найбільшим російським виробником газоперекачувальних агрегатів в останні роки стало ВАТ "НПО "Искра" (м. Перм). На основі двигунів розробки ВАТ "Авиадвигатель" і ВАТ "КПП "Авиамотор" створюються газоперекачувальні агрегати типу "Урал" потужністю 4, 10, 12, 16 і 18 МВт. У блочно-контейнерному виконанні випускаються також електростанції потужністю 2,5...16,0 МВт.

3.1. ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКБМ" та ВАТ "Моторостроитель"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова". <i>Адреса підприємства:</i> 443026, Росія, м. Самара, вул. С. Лазо, 2а. <i>Чисельність працюючих:</i> 4200 чол. (2001 р.).
	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Самарское конструкторское бюро машиностроения". <i>Адреса підприємства:</i> 443009, Росія, м. Самара, Заводське шосе, 29.
	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Моторостроитель". <i>Адреса підприємства:</i> 443009, Росія, м. Самара, Заводське шосе, 29. <i>Чисельність працюючих:</i> біля 10000 чол. (2001 р.).

3.1.1. Відомості про підприємства

Історія ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" починається 19 квітня 1946 р., коли наказом міністра авіаційної промисловості СРСР на базі заводу № 145 ім. С.М. Кірова, який існував з 1941 р. в селищі Управлінському Куйбишевської області, був створений Державний союзний дослідний завод № 2. У той час його співробітниками були головним чином німецькі фахівці, депортовані в червні 1946 р. з радянської зони Німеччини*.

* Серед прибулих найбільш цінними вважалися працівники фірм "Unkers" і "BMW", які мали досвід створення авіаційних газотурбінних двигунів – усього близько 250 чол. Ще біля сотні німців займалися проектуванням різного роду агрегатів, приладів та устаткування.

У травні 1949 р. головним конструктором заводу був призначений Микола Дмитрович Кузнецов*, який працював в Уфі з 1942 по 1946 р. заступником головного конструктора ДКБ В.Я. Климова, а після переїзду ДКБ у Ленінград – головним конструктором уфимського заводу № 26.

Незабаром після цього зусилля підприємства були сконцентровані в одному напрямку – створенні турбогвинтового двигуна ТВ-022 потужністю 5000 к.с. (на основі ЮМО 022) для міжконтинентального бомбардувальника**. Модифіковані варіанти двигуна (ТВ-2, 2ТВ-2Ф) випробовувалися до 1954 р., однак у серійне виробництво не пішли.

Паралельно з ТВ-022 велися роботи зі створення турбогвинтового двигуна ТВ-12 потужністю 12000 к.с. У 1954 р. за назвою НК-12 (НК – "Николай Кузнецов") він був пущений у серійне виробництво. НК-12 та його численні модифікації встановлювалися на стратегічних бомбардувальниках Ту-95, пасажирських літаках Ту-114, важких військово-транспортних літаках Ан-22 "Антей", екранопланах "Орленок" та ін.*** Слід зазначити, що двигун НК-12 побив усі рекорди з довгожителів авіаційних двигунів, знаходячись в експлуатації з 1954 р. і по сьогоднішній час.

З 1955 р. розробляється турбогвинтовий двигун НК-4 меншої потужності, призначений для пасажирських лайнерів Ил-18 і Ан-10, а також для військово-транспортного літака Ан-12. До 1958 р. було виготовлено 222 двигуни, однак у масове виробництво замість нього був пущений двигун АИ-20 ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя), який відрізнявся більшою надійністю.

У 1955 р. підприємство (з червня 1953 р. – Державний союзний дослідний завод № 276) починає роботи зі створення двоконтурних турбореактивних двигунів. Першим з них став двигун НК-6 з тягою 22000 кгс, виконаний за двокаскадною схемою з форсажною камерою в зовнішньому контурі і регульованим соплом. На початку 60-х років НК-6 був найбільш потужним ТРДД у світі. Подібні двигуни з'явилися в США тільки через 15 років. На ньому були вперше застосовані надзвукові високонапірні ступені компресора, зношувані вставки над робочими лопатками турбіни, багатофорсункова камера згоряння, система регулювання міри підвищення тиску вентилятора та інші новинки.

Для пасажирського літака Ил-62, що став флагманом цивільної авіації Радянського Союзу, на базі двигуна НК-6 був створений двоконтурний НК-8. У конструкції ТРДД вперше в СРСР широко використовувалися титанові сплави, а при виготовленні деталей – новітні технологічні процеси, включаючи хімічне фрезерування, електрохімічні й електрофізичні методи обробки.

Двигуни НК-8 і НК-8-3 серійно випускалися з 1964 по 1968 р., НК-8-4 – з 1968 по 1979 р. Міжремонтний ресурс останнього був доведений до 7000 год, а призначений ресурс – до 18000 год. Спеціально для пасажирського літака Ту-154

* М.Д. Кузнецов очолював підприємство до 1994 р.

** Перший в СРСР турбогвинтовий двигун.

*** Тільки за перші 8 років серійного виробництва було випущено більше 1700 таких двигунів.

наприкінці 60-х років була розроблена модифікація НК-8-2. Двигун НК-8, безупинно вдосконалюючись від модифікації до модифікації, став одним з найбільш масових серійних ТРДД в історії авіації Радянського Союзу. Загальна кількість тільки НК-8-2У, виготовлених на Казанському моторобудівному заводі, складала більше 2500 одиниць.

У другій половині 60-х років підприємством (з 30 квітня 1966 р. – Ордена Леніна Куйбишевський моторний завод) також на базі НК-6 були створені двигуни НК-144, призначений для першого у світі надзвукового пасажирського літака Ту-144, який вперше піднявся в повітря в грудні 1968 р., і НК-22 – для бомбардувальника Ту-22М.

Великим досягненням підприємства було створення трикаскадного форсажного ТРДД НК-25. З тягою 25000 кгс він став у той час найбільш потужним у світі авіаційним двигуном військового призначення. Установлений на далекому бомбардувальнику Ту-22МЗ (1977 р.), двигун забезпечив літаку швидкість, що відповідала подвоєному числу Маха. Для НК-25 були використані нові, більш ефективні системи охолодження турбінних лопаток, включаючи вихрову і конвективно-плівкову. Поверхні лопаток турбіни були захищені від окиснювання при високій температурі термозахисними керамічними покриттями.

Близьким родичем НК-25 є двоконтурний турбовентиляторний тривальний двигун НК-32 (НК-321), розроблений для стратегічного ракетоносця Ту-160 (перший політ у грудні 1981 р.). Двигуни НК-25 і НК-32 у своєму класі дотепер є кращими у світі. На Заході одержати аналогічні характеристики на режимах дозвукового і надзвукового польотів не вдалося.

Форсована і поліпшена модифікація двигуна НК-8 за назвою НК-86 була розроблена в другій половині 70-х років для першого радянського пасажирського літака-аеробуса Іл-86. У 1987 р. в модифікації НК-86А були вперше впроваджені монокристалічні робочі лопатки першого ступеня турбіни. Вісім двигунів модифікації НК-87 (з корозійно- і жаростійкими покриттями, що забезпечували надійну експлуатацію в морських умовах) використовувалися у складі силової установки першого у світі бойового екраноплана-ракетоносця "Лунь".

80–90-і роки відзначені в історії підприємства рядом перетворень: у липні 1981 р. Куйбишевський моторний завод входить як головна організація у створене Куйбишевське науково-виробниче об'єднання "Труд", у 1991 р. НВО "Труд" перетворюється в Самарське державне науково-виробниче об'єднання "Труд", в 1994 р. – в Акціонерне товариство відкритого типу "Самарський науково-технічний комплекс "Двигатели НК", у 1995 р. – у Відкрите акціонерне товариство "Самарский научно-технический комплекс им. Н.Д. Кузнецова" (ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова").

З 1988 р. ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" веде роботи зі створення двигунів нового (п'ятого) покоління. Першим з них повинен стати гвинтовентиляторний двигун надвисокої міри двоконтурності (16...18) НК-93. Для застосування у складі літаків Іл-100, а також вертольотів і наземних установок розробляється турбогвинтовий двигун НК-123-ВР потужністю 500 к.с. Однією з останніх розробок

ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" є також проект двигуна НК-44 тягою 40000 кгс для літака Ту-304 і його кріогенної модифікації НК-46 для літака Ту-306.

Значний період своєї історії (з 1958 по 1974 р.) підприємство займалося створенням рідинно-ракетних двигунів. Розроблений для першого ступеня міжконтинентальної балістичної ракети ГР-1 двигун НК-9 став першим у світі киснево-гасовим двигуном з тягою більше 100000 кгс, виконаним за замкнутою схемою – з допалюванням генераторного газу. З 1961 р. велися роботи зі створення двигунів для радянського місячного ракетного комплексу Н1-ЛЗ.

ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" є ініціатором застосування кріогенних палив в авіації. У 80-х роках підприємством на базі двигунів НК-8-2У були розроблені перші ТРДД, що використовували як паливо рідкий водень (НК-88, 1980 р.) і зріджений природний газ (НК-89, 1989 р.).

З 1957 р. ДКБ М.Д. Кузнецова виступає з пропозиціями використовувати авіаційні двигуни, що відпрацювали свій ресурс, у ролі приводів наземних енергетичних установок. Однак тільки в 1969 р., коли закордонні фірми, зокрема англійська компанія "Rolls-Royce", уже широко використовували конвертовані двигуни для наземного застосування, урядом СРСР було прийняте рішення про створення двигуна НК-12СТ потужністю 6,3 МВт на базі авіаційного НК-12МВ для газоперекачувального агрегату. З 1982 р. ВАТ "КМПО" серійно виготовляє двигун НК-16СТ потужністю 16 МВт, розроблений ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" на базі НК-8, від якого запозичено 69 % деталей.

У даний час ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" є найбільшим у Росії підприємством по розробці і виготовленню дослідних авіаційних двигунів. З 1946 р. створено більше 40 оригінальних і модифікованих двигунів для авіації, досліджень космосу, наземної енергетики. Наприкінці 80-х років 47 % авіапасажирів у СРСР перевозилося на літаках із двигунами "НК". Нині всі російські літаки стратегічної авіації оснащені двигунами "НК", понад 34 % природного газу, що добувається в СНД, перекачується по трубопроводах за допомогою двигунів "НК". Продукція розробки ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" серійно випускається ВАТ "Моторостроитель" (м. Самара) і ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение".

Дочірнім підприємством ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" є **ВАТ "Самарское конструкторское бюро машиностроения"**. Засноване в 1957 р. ВАТ "СКБМ" споконвічно займалося питаннями підвищення надійності і ресурсу в серійному виробництві й експлуатації двигунів розробки "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", створенням методик та інструментальних засобів діагностики технічного стану двигунів. Колективом саме цього підприємства було виконане конвертування двигуна НК-12МВ у промисловий двигун НК-12СТ. У наступні роки були створені двигуни НК-14СТ і його модифікації, у тому числі й енергетичний двигун НК-14Э.

Одним з найбільших російських підприємств авіаційного і космічного двигунобудування є **ВАТ "Моторостроитель"**. Підприємство починалося з невеликого московського заводу "Гном", який був заснований у жовтні 1912 р. і випускав

однойменні поршневі двигуни потужністю 60 к.с. Період 20–30-х років відзначений рядом великих технічних досягнень*.

У 1941 р. основна частина моторобудівного заводу № 24 ім. М.В. Фрунзе була евакуйована у м. Куйбишев, де налагодила випуск поршневих двигунів АМ-38 і АМ-42 для штурмовиків Ил-2 та Ил-10. З частини підприємства, що залишилася в Москві, був створений завод № 45 (у даний час – ММПП "Салют").

У червні 1950 р. завод № 24 починає виробництво турбореактивного двигуна ВК-1, розробленого в конструкторському бюро В.Я. Климова. Двигун ВК-1 і його модифікації встановлювалися на бойові літаки-винищувачі МиГ-15, МиГ-19, літаки Ил-28 та ін.

З 50-х років і по дійсний період серійно виробляється сімейство двигунів "НК" генерального конструктора М.Д. Кузнецова.

Особливе місце в історії підприємства займають освоєння і випуск рідинних ракетних двигунів. Перше замовлення на їхнє виготовлення надійшло в 1957 р. Підприємство почало освоєння і випуск двигунів першого і другого ступенів для керованих космічних апаратів. У 1959 р. з використанням двигунів підприємства була виведена на задану траєкторію міжпланетна станція "Луна-2". І, нарешті, 12 квітня 1961 р. на орбіту виведений космічний корабель з першим у світі космонавтом на борту.

У подальшому всі програми пілотованих польотів, вантажних і транспортних кораблів (космічні кораблі "Восток", "Восход", "Союз" та автоматичні вантажні космічні апарати "Прогресс") виконувалися на двигунах заводу "Моторостроитель". Двигуни самарського виробництва вже більше 40 років використовуються для виконання космічних досліджень. Підприємство є основним постачальником приводів газоперекачувальних агрегатів магістральних газопроводів для ВАТ "Газпром". Кожен третій привід нагнітача магістральних газопроводів Росії вироблений цим підприємством.

У травні 1994 р. завод був перетворений у ВАТ "Моторостроитель".

У даний час усі три підприємства входять до складу Фінансово-промислової групи (ФПГ) "Двигатели НК", яка включає в себе також самарські підприємства "Салют", "Металлист-Самара", Поволзький НДІ матеріалів і технологій авіаційних двигунів, а також ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение", "Конструкторско-производственное предприятие "Авиамотор" та ін. (усього 13 учасників).

3.1.2. Продукція підприємств

Самарськими ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКБМ" і "Моторостроитель" розроблений та серійно випускається широкий спектр газотурбінних

* Див. також відомості про ММПП "Салют".

двигунів для авіації і газоперекачувальних агрегатів, виробляються блочно-модульні електростанції, що працюють на газовому і рідкому паливі, рідинно-реактивні двигуни для космічних апаратів, різне промислове устаткування (підвісні човнові мотори, газопроменеві обігрівачі та ін.).

Для військової і цивільної авіації пропонуються турбогвинтовий двигун НК-12МП, двоконтурні турбореактивні двигуни НК-25 і НК-32. У стадії доведення знаходяться гвинтовентиляторний двигун підвищеної двоконтурності НК-93, турбогвинтовий двигун НК-123ВР, двоконтурний двигун НК-89, який працює на зрідженому природному газі. Освоюється виробництво маршового турбогвинтовентиляторного двигуна Д-27 розробки ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя).

Для космічних досліджень ВАТ "Моторостроитель" випускає ракетні двигуни РД-107, РД-108, 14Д21, 14Д22, а також двигуни місячної програми НК-33 і НК-43, які одержали останнім часом практичне застосування.

Для компресорних станцій пропонуються двигуни НК-12СТ, НК-14СТ, НК-14СТ-10, НК-16СТ*, НК-36СТ, НК-38СТ. Створено блочно-модульний газоперекачувальний агрегат "Самара-25НК". Серійно випускаються енергетичні двигуни НК-14Э та НК-37. Розроблено газотурбінні електростанції АТГ-10 і НК-900 потужністю 10 і 25 МВт. За завданням Газпрому Росії почалися роботи зі створення двигуна НК-126 потужністю 4 МВт і ККД 32 % для накачування газу в підземні сховища. На сьогоднішній день саме двигуни для енергетики і нафтогазових комплексів є головним реалізовуваним продуктом даних підприємств.

Нижче наводяться характеристики наземного газотурбінного устаткування, яке випускається підприємствами**.

Двигун НК-12СТ

НК-12СТ (рис. 12Д) – газотурбінний двигун потужністю 6,3 МВт, призначений для роботи в ролі приводу відцентрового нагнітача у складі газоперекачувального агрегату типу ГПА-Ц-6,3.

Двигун виконаний за одновальною схемою з блокованою силовою турбіною. Компресор осьовий, 14-ступінчастий, обладнаний регульованим вхідним напрямним апаратом і п'ятьма клапанами перепуску повітря дросельного типу з гідравлічним керуванням.

Камера згоряння кільцева з 12 головками. Турбіна осьова, чотириступінчаста. Напрямок обертання ротора правий.

НК-12СТ став першим у СРСР двигуном авіаційного типу, створеним для газової промисловості. Розроблений на основі турбогвинтового двигуна НК-12МВ (рис. 3.1.1), який серійно випускався для літаків Ту-95, Ту-144, Ан-22 та ін. Поча-

* Двигун НК-16СТ випускається тільки ВАТ "КМПО".

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційних сайтах підприємств – motor-s.ru та www.engine.saminfo.ru.

ток робіт відносять до 1969 р., серійно виробляється з 1974 р. Технічні характеристики двигуна наведені нижче:

Номінальна потужність	6,3 МВт
Витрата повітря	57 кг/с
Міра підвищення тиску	8,8
Температура газу:	
початкова	941 К
на виході	583 К
Номінальна (максимальна) частота обертання вихідного вала	8200 (8500) об/хв
ККД	26,1 %
Витрата паливного газу	1820 кг/год
Довжина	4,7 м
Діаметр	1,5 м
Маса з рамою	3500 кг
Призначений ресурс	33000 год

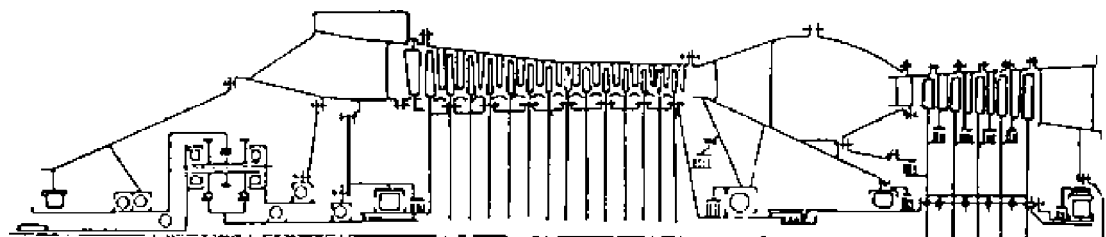


Рис. 3.1.1. Конструктивна схема базового двигуна НК-12МВ

За час серійного виробництва виготовлено більше 2000 двигунів, їх сумарне напрацювання перевищує 25 млн год, окремі двигуни напрацювали без ремонту 100 тис. год. НК-12СТ експлуатуються більш ніж на 100 компресорних станціях 24 газопроводів у складі більше 800 газоперекачувальних агрегатів. Газоперекачувальні станції з НК-12СТ експортувалися також у Болгарію, Польщу й Аргентину.

НК-12СТ має високий ступінь надійності й економічності в роботі. Продуктивність газоперекачувального агрегату з даним двигуном складає 11 млн м³ газу на добу.

На основі даного двигуна ВАТ "СКБМ" у наступні роки створило ряд модифікацій більшої потужності і ККД: НК-14СТ, НК-14СТ-10, НК-14СТ-12, НК-14Э.

Двигуни сімейства НК-14СТ

НК-14СТ – газотурбінний двигун потужністю 8,6 МВт, призначений для нагнітачів і насосів транспортування газу та нафти по магістральних трубопроводах, для закачування газу й нафти в нафто- і газосховища та їх відкачування з відключених ділянок магістральних трубопроводів (рис. 13Д). Двигун працює як на газоподібному, так і на рідкому паливі. Малі габарити й маса при високих питомих па-

раметрах і показниках надійності істотно полегшують транспортування, монтаж та обслуговування установок, особливо у важкодоступних районах, скорочують терміни і вартість робіт. За економічністю двигун знаходиться на рівні закордонних зразків аналогічної потужності.

Двигун виконаний двовальним. Осьовий 15-ступінчастий компресор приводиться в обертання осьовою двоступінчастою турбіною. Силова турбіна також має два ступені. Камера згоряння кільцевого типу.

НК-14СТ сконструйований у 90-х роках ВАТ "СКБМ" на замовлення російської компанії "Газпром" як модифікація ГТД НК-12СТ. Створений на його базі і цілком з ним взаємозамінний, двигун має поліпшені основні характеристики. Підвищення потужності було досягнуто при одночасному зниженні на 35 % витрати повітря через двигун і підвищенні параметрів циклу, що дозволило підняти ККД. Найбільшої зміни при цьому зазнали вузли турбіни. У компресорі замість трьох знятих перших ступенів були додані у вихідній частині чотири нові з використанням лопаткової частини базового компресора.

У 1995 р. двигун пройшов міжвідомчі випробування, після чого почалося його серійне виготовлення у ВАТ "Моторостроитель".

Сьогодні розглядається можливість виробництва модифікованого двигуна НК-14СТ з регенеративним циклом, що дозволить підвищити ККД двигуна до 41,5 %.

Двигун НК-14СТ може також знайти застосування як енергетична установка для суден на підводних крилах.

Для роботи в ролі приводу відцентрового нагнітача у складі газоперекачувального агрегату типу ГПА-Ц-9,5 була створена модифікація двигуна НК-14СТ потужністю 10 МВт – **НК-14СТ-10**. Двигун призначений для заміни газотурбінних приводів, що застаріли і відпрацювали свій ресурс, у газоперекачувальних агрегатах ГТК-10-4, ГПА-Ц-10Б та ГПУ-10. Порівняно з ними ГТД НК-14СТ-10 характеризується більшими ККД і міжремонтним ресурсом, високою безвідмовністю.

Форсування потужності двигуна НК-14СТ-10 порівняно з базовим досягнуто збільшенням температури газів перед турбіною. Для забезпечення ККД 34,2 % у турбіну компресора введений додатковий третій ступінь. Також поліпшене охолодження елементів турбіни.

Передбачено два варіанти двигуна НК-14СТ-10 – з частотою обертання вільної турбіни на номінальному режимі 8200 і 5000 об/хв. Перший варіант заснований на вільній турбіні серійного двигуна НК-14СТ і цілком взаємозамінний у ГПА-Ц-6,3 із серійними двигунами НК-12СТ і НК-14СТ, другий варіант – на вільній турбіні двигуна НК-38СТ і може бути використаний при реконструкції ГПА ГТК-10.

На базі НК-14СТ-10 у ВАТ "СКБМ" проектується двигун потужністю 12 МВт і ККД 35 % – **НК-14СТ-12**. Форсування потужності здійснюється шляхом збільшення витрати повітря при встановленні додаткового ступеня на вході в компресор.

З 1997 р. серійно випускається модифікація двигуна НК-14СТ, призначена для використання як привід генератора в блочно-модульних електростанціях – **НК-14Э** (рис. 14Д). Двигун має одновальну схему з виводом потужності через передньорозташований редуктор.

Двигун НК-14Э має поліпшені екологічні й економічні характеристики (табл. 3.1.1), відповідає всім необхідним вимогам для двигуна подібного класу, має високий ККД, надійний у роботі, простий і невибагливий в обслуговуванні. Наявність виносного редуктора між двигуном і генератором дає можливість працювати, коли необхідно, з перевантаженнями до 20 %. У даний час він є одним із кращих серед подібних російських і закордонних аналогів.

Таблиця 3.1.1. Технічні характеристики двигунів сімейства НК-14СТ

Параметри	НК-14СТ	НК-14СТ-10	НК-14Э
Номінальна потужність, кВт	8600	10000	9500
Міра підвищення тиску	10,5	11,0	10,5
Витрата повітря, кг/с	36,8	37,0	38,5
Температура газу, К: початкова на виході	1250 780	– –	1345 840
Частота обертання силової турбіни, об/хв	8200	8200/5000	8250*
ККД, %	32,0	34,2	33,0
Витрата паливного газу, кг/год	1930	2165	2180
Довжина, м	4,7	4,7	4,9
Діаметр, м	1,5	1,5	1,4
Маса з рамою, кг	3600	3500	3100
Призначений ресурс, год	50000		

* Частота обертання вихідного вала 3000 об/хв.

На базі двигуна НК-14Э та генератора ГТГ-8-2УХЛЗ створена **блочно-модульна теплоелектростанція АТГ-10**, призначена для теплоелектропостачання невеликих районів і селищ, будівельних об'єктів, промислових підприємств, віддалених від центральних енергоносіїв.

АТГ-10 є цілком закінченим модулем і може використовуватися як в одиночному виконанні, так і паралельно з декількома агрегатами чи з центральною електромережею. Станція може комплектуватися в різних варіантах додатковим устаткуванням: водяними і паровими котлами-утилізаторами, водогрійними та паровими турбогенераторами, водогрійними газомазутними котлами і т.п. Можлива додаткова комплектація блоком підготовки паливного газу з дотискним компресором або зі

станцією редукування паливного газу (при невідповідності параметрів паливного газу необхідним значенням), дизельною електростанцією для запуску АТГ-10 (при відсутності зовнішнього джерела).

Станція має блочно-модульну конструкцію, яка забезпечує високий ступінь конвертованості. Система керування станції автоматична. Вартість енергоустановки залежно від комплектації в перерахуванні на 1 кВт виробленої електроенергії оцінюється в межах 320...400 дол., що майже в два рази нижче від закордонних пропозицій з аналогічних електростанцій.

Промисловий зразок АТГ-10 пройшов випробування й успішно працює на Він-тайському машинобудівному заводі в Самарі. Технічні характеристики електростанції АТГ-10 наведені нижче:

Потужність:	
електрична	10 МВт
теплова	15 МВт
Діапазон регулювання електричної потужності	2,5...12,0 МВт
Номінальна напруга	10,5 кВ
Частота струму	50 Гц
ККД	не менше 32 %
Коефіцієнт використання енергії палива	84 %
Витрата паливного газу:	
на номінальному режимі	2180 кг/год
60 % від номінального режиму	1474 кг/год
25 % від номінального режиму	923 кг/год
Призначений ресурс	100000 год
Займана площа	1200 м ²
Кількість персоналу	12 чол.

Двигун НК-16СТ

НК-16СТ – газотурбінний двигун потужністю 16 МВт, призначений для роботи в ролі приводу відцентрового нагнітача у складі газоперекачувальних агрегатів. Розробка двигуна почалася в 1979 р., серійно виготовляється з 1982 р. ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение".

Двигун виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною. Чотири- і шестиступінчасті осьові компресори приводяться в обертання одноступінчастими турбінами. Силова турбіна осьова, одноступінчаста.

ГТД створений на базі авіаційного двоконтурного турбореактивного двигуна НК-8, що одержав широке застосування в цивільній авіації (літаки Ту-154 та ін.). Від базового двигуна запозичено 69 % деталей. При конвертуванні вентиляторні лопатки були обрізані приблизно на одну третину висоти, а канал вентиляторного контуру над лопатками заглушений (рис. 3.1.2). Для роботи на природному газі замість авіаційного гасу змінені камера згоряння і система регулювання двигуна. У зв'язку зі зменшенням необхідної потужності знятий другий ступінь турбіни вентиляторного каскаду.

Для забезпечення загальнотехнічного ресурсу двигуна в його конструкції була максимально збережена схема навантаження вузлів, аналогічна діючій на двигуні НК-8 у польоті. Тому при конвертуванні збережена схема кріплення базового двигуна – дві циліндричні цапфи з боків середньої опори компресора й одна рухома точка кріплення зверху, над опорою турбіни. З'єднання корпусу газогенератора з корпусом силової турбіни зроблено рухомим, унаслідок чого динамічні і статичні навантаження, що передаються корпусу силової турбіни від нагнітача, не впливають на корпус газогенератора.

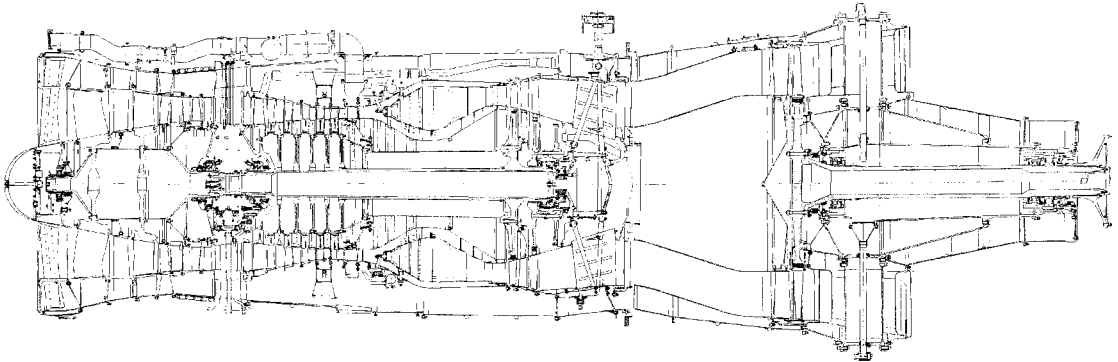


Рис. 3.1.2. Подовжній переріз газотурбінного двигуна НК-16СТ

Для охолодження опори турбіни і корпусів турбогрупи збережений канал вентиляторного контуру, по якому подається охолодне повітря. Його зовнішні оболонки утворюють також захисні теплові кожухи, які забезпечують температуру на зовнішніх поверхнях відповідно до санітарних норм. Зовнішній канал вентиляторного контуру може бути використаний, крім того, для відводу повітря з антипомпажних клапанів компресора у вихлопну шахту, а також для рівномірної по колу продувки вихлопної шахти з метою евакуації вибухонебезпечних скупчень важких компонентів паливного газу. Велика частина трубопроводів та електроприводів з вузлами їхнього кріплення збережена незмінною. Збережена також замкнута система циркуляції масла.

Камера згоряння кільцевого типу (рис. 3.1.3). У її передній частині розташований блок форсунок, який є частиною кільцевої головки камери. Форсунки встановлені в два ряди рівномірно по колу в шаховому порядку: по зовнішньому ряді – 70 форсунок, з них 35 (через одну) призначені для забезпечення роботи пускового контуру, по внутрішньому – 69 форсунок. Кожна форсунка має свій завихрювач із фрезерованими лопатками і стабілізатор.

У жаровій трубі зроблені три ряди отворів для підведення повітря в зону горіння, п'ять поясів отворів для створення захисної повітряної плівки і змішувач, виконаний у вигляді сопел (порожнин), із системою охолодження, що запобігає обгорянню їхніх поверхонь.

Силовая турбіна для приводу нагнітача за результатами варіантних розрахунків обрана одноступінчастою і має ККД, рівний 0,928 при номінальній потужності 166

16 МВт і частоті обертання 5300 об/хв. При частотах обертання 0,75...1,05 від номінальної, котрі є робочими, забезпечена робота силової турбіни без обмеження по небезпечних вібраціях.

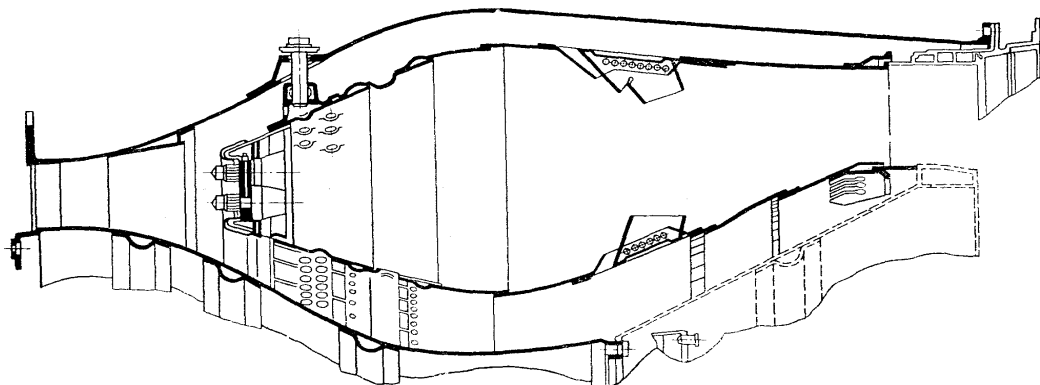


Рис. 3.1.3. Камера згоряння двигуна НК-16СТ

Ротор силової турбіни складається з консольного диска з лабіринтовим поясом (для осьового розвантаження), кулькового радіально-упорного підшипника і вала з двома роликowymi опорами. Для передачі крутного моменту служить мембранна муфта, що допускає обмежені перекоси і неспіввісність валів турбіни та нагнітача. Конструкція муфти дозволяє розбирати підшипники нагнітача і його ущільнення без демонтажу муфти з боку силової турбіни та розбирати герметичну перегородку контейнера турбоблока, що значно спрощує ремонтно-регламентні роботи при обслуговуванні нагнітача. Для попередження розкручування турбіни у випадку руйнування мембранної муфти передбачене страхувальне шліцьове з'єднання.

Робочі лопатки силової турбіни мають на периферії бандажні полиці, що забезпечують підвищення її ККД і демпфірування коливань. Хвостовики робочих лопаток і диск охолоджуються повітрям. Соплові лопатки і зовнішнє кільце, що формує проточну частину над робочими лопатками, також виконані охолоджуваними. Це сприяє збереженню високих характеристик турбіни при експлуатації. Конструкція опори турбіни і можливість балансування її ротора у власних підшипниках забезпечують стабільний та низький рівень змінних напружень у роторі.

Максимальні сумарні напруження в кореневих перерізах лопаток турбін не перевищують 300 МПа при рівні знакозмінних напружень 41 МПа на частоті основного тону.

Газотурбінний двигун НК-16СТ має модульну конструкцію. Маса газогенераторного модуля з рамою дорівнює 3740 т, маса модуля силової турбіни з рамою – 3330 т. Це забезпечує можливість їхнього транспортування будь-яким видом транспорту, включаючи вертолітний.

Для полегшення експлуатації двигуна передбачена можливість монтажу і демонтажу основних модулів з контейнера газоперекачувального агрегату на своїх

рамах, оснащених роликами. Заміна всього двигуна здійснюється протягом однієї-двох діб.

Замкнута система змащення ГТД автономна від системи змащення нагнітача. Охолодження масла повітряне за допомогою теплообмінника, розташованого в блоці газоперекачувального агрегату.

Програма регулювання НК-16СТ побудована таким чином, щоб заявлена потужність забезпечувалася при дотриманні ряду газодинамічних і міцнісних обмежень. Зі зниженням температури зовнішнього повітря від +15 до -15 °С потужність ГТД зростає з 16,0 до 19,2 МВт, при більш низьких температурах – залишається постійною. При температурах вище +15 °С автоматично підтримується постійною початкова температура газу.

Для керування подачею палива і випусками повітря з компресора на режимах запуску й зупинки та на перехідних режимах організовані додаткові контури регулювання. Системи захисту автоматично запобігають зростанню параметрів понад граничні і виводять двигун з небезпечного режиму роботи у випадку перевищення припустимих значень цих параметрів. Вони утворені наступними обмежниками: максимальної частоти обертання роторів високого і низького тисків, а також ротора силової турбіни; максимального тиску за компресором; максимальної температури за турбіною газогенератора; частоти обертання стартера.

Усі обмежники, за винятком останніх двох, є гідромеханічними, тому функціонують навіть при відсутності електроенергії.

Газотурбінний двигун НК-16СТ розрахований на цілодобову безперервну роботу протягом міжрегламентного періоду на всіх режимах завантаження в інтервалі температур атмосферного повітря +45...-55 °С.

Технічні характеристики двигуна наведені нижче:

Номінальна потужність	16 МВт
Витрата повітря	100 кг/с
Міра підвищення тиску	9,7
Температура повітря перед камерою згоряння	595 К
Витрата паливного газу	4052 (6248) кг/год (м ³ /год)
Температура газу:	
початкова	1066 К
перед силовою турбіною	792 К
за ГТД	673 К
Коефіцієнт відновлення тиску камери згоряння	0,94
Тиск газу перед силовою турбіною	0,253 МПа
Частота обертання силової турбіни	5200/5300 об/хв
Діапазон зміни частоти обертання силової турбіни	3975...5350 об/хв
Ефективний ККД	29 %
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах	200 (300) мг/нм ³
Максимальний рівень звукового тиску	135 дБ
Габарити	6,2×2,2×2,2 м
Маса з рамою	7800 кг
Ресурс:	
до капітального ремонту	15000 год
призначений	45000 год

До 2002 р. виготовлено більше 1100 одиниць НК-16СТ. Напрацювання деяких ГТД без капітального ремонту перевищило 25 тис. год. Сумарне напрацювання двигунів складає близько 28 млн год.

Двигуни НК-36СТ та НК-37

Газотурбінний двигун **НК-36СТ** потужністю 25 МВт (рис. 3.1.4) був створений для використання в ролі приводу нагнітачів природного газу компресорних станцій. Двигун розроблений на основі серійного авіаційного двоконтурного турбореактивного двигуна НК-32 (НК-321). Від базової конструкції запозичено більше 60 % деталей. Роботи зі створення почалися в 1990 р., міжвідомчі випробування двигун пройшов у 1995 р.

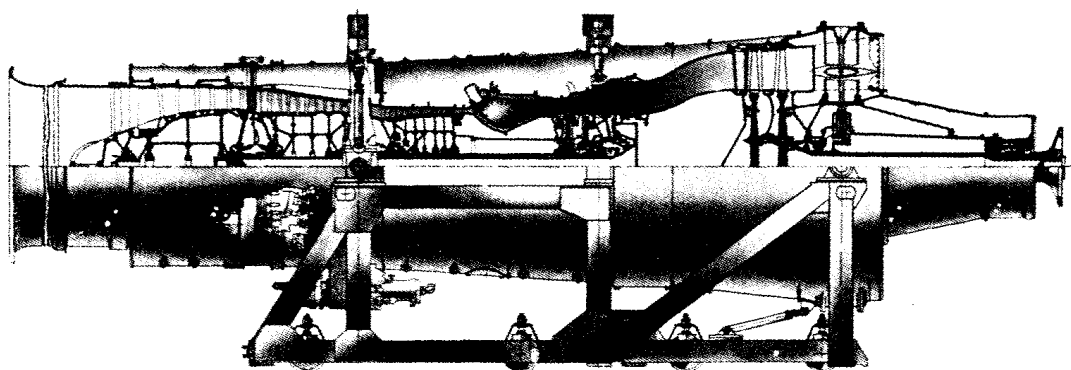


Рис. 3.1.4. Подовжній переріз двигуна НК-36СТ

Двигун чотиривальний. Осьовий компресор має три каскади – три-, п'яти- і семиступінчастий. Лопатки компресора виготовлені з титану, сталі і (у контурі високого тиску) високоміцного нікелевого сплаву.

Камера згоряння кільцева з випарними форсунками, що забезпечує бездимне горіння і стабільний температурний режим.

Турбіни компресорів осьові, одноступінчасті, обладнані охолоджуваними монокристалічними лопатками. Силова турбіна двоступінчаста.

Система керування двигуном електрична з гідромеханічним дублюванням. Ведуться роботи зі створення цифрової системи керування з повною відповідальністю.

В НК-36СТ втілено новітні досягнення в галузі авіадвигунобудування, враховано великий досвід попередніх розробок. Його відрізняють високі надійність у роботі та ККД, поліпшені технічні характеристики, знижений рівень емісії NO_x до 120 мг/м^3 . В експериментальній обробці знаходиться нова камера згоряння (взаємозамінна з існуючою), яка дозволить знизити концентрацію NO_x до 25, а CO – до 50 мг/м^3 (рис. 3.1.5).

На двигуні передбачені системи допуску, контролю, захисту і сигналізації, які

забезпечують автоматичний запуск, виявлення несправностей та відхилень параметрів при роботі. Крім того, встановлена система протиобледеніння, що дозволяє експлуатувати ГТД при несприятливих атмосферних умовах.

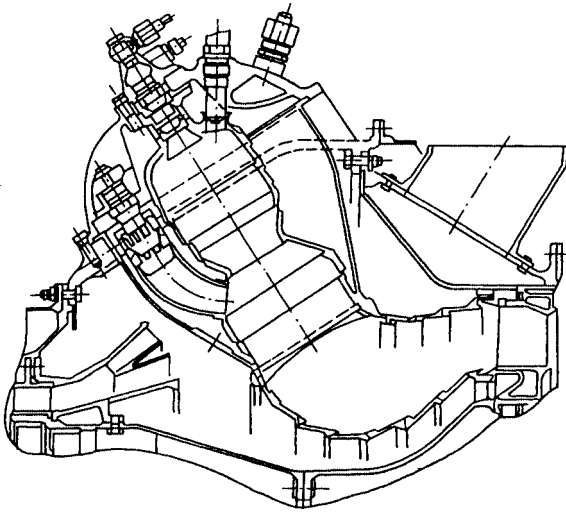


Рис. 3.1.5. Малоємісійна камера згоряння двигуна НК-36СТ

Модульна конструкція двигуна дозволяє перевозити його будь-яким транспортом, скоротити час змушених простоїв, здійснювати заміну модулів в умовах компресорної станції. Рама, що входить до складу агрегату, оснащена колісьми, які убираються всередину рамного простору. У сполученні з відносно невеликою масою ГТД це прискорює процеси монтажу і демонтажу агрегату та його модулів.

Газоперекачувальний агрегат із двигунами НК-36СТ успішно працює на Тольяттинській газокompресорній станції і має гарні

експлуатаційні характеристики при високому ступені надійності. Двигунами НК-36СТ будуть оснащуватися також нові газопроводи з Ямальського родовища.

Двигун **НК-37** (НК-37-1) є модифікацією НК-36СТ (табл. 3.1.2), призначеною для роботи в ролі приводу генератора в складі блочно-модульних електростанцій потужністю 25 (31) МВт (рис. 15Д і 3.1.6). Двигуни НК-37 можуть бути також використані в парогазових установках, установках на плавучій платформі, а також як приводи повітряних компресорів у металургійній промисловості.

Таблиця 3.1.2. Технічні характеристики двигунів НК-36СТ та НК-37

Параметри	НК-36СТ	НК-37	НК-37-1
Номінальна потужність, МВт	25		31
Витрата повітря, кг/с	105,2		110,0
Міра підвищення тиску	23,1		25,6
Температура газу, К: початкова на виході	698	1420 701	1492 728
Частота обертання вихідного вала, об/хв	5000	3000	
ККД, %	36,0	36,4	37,3
Тиск паливного газу, МПа, не менше	4,6		4,8

Продовж. табл. 3.1.2

Параметри	НК-36СТ	НК-37	НК-37-1
Витрата паливного газу, кг/год	5163	5255	6121
Довжина, м	6,0	6,3	
Діаметр, м	2,3	2,2	
Маса з рамою, т	8,7	9,8	
Ресурс, год:			
до капітального ремонту		22000	
призначений		100000	

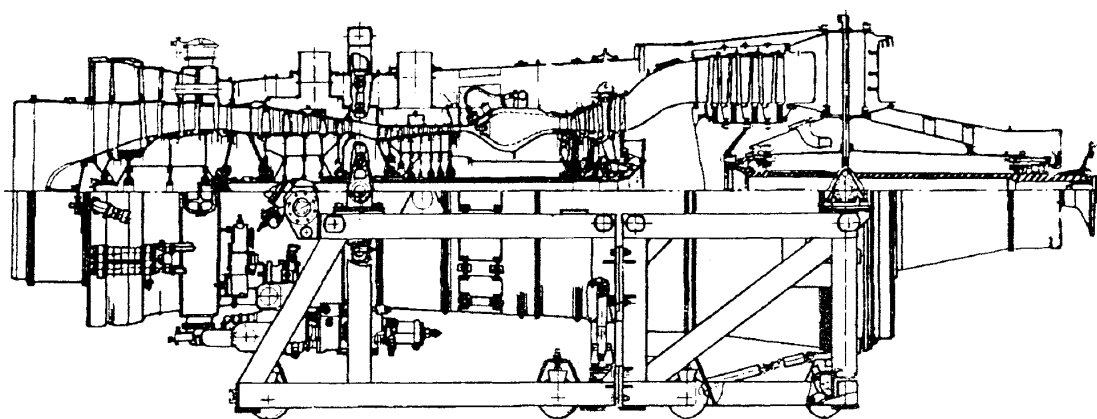


Рис. 3.1.6. Подовжній переріз двигуна НК-37

Силова турбіна ГТД НК-37 триступінчаста, НК-37-1 – чотириступінчаста.

Автоматична система запуску, висока передпускова готовність та можливість роботи в автоматичному режимі дозволяють використовувати енергетичні установи з двигуном НК-37 як у звичайному режимі вироблення енергії, так і при компенсаційних пікових навантаженнях в аварійних ситуаціях. Модульна конструкція двигуна полегшує його транспортування і монтажні роботи.

Двигун працює на природному газі чи на рідкому паливі і забезпечує виконання сучасних вимог по екології. Концентрація у вихлопних газах складає: NO_x – 100 мг/нм³, CO – 200 мг/нм³.

Вартість одного кіловата потужності електростанції з двигуном НК-37 (з урахуванням будівництва і введення в експлуатацію) оцінюється в межах 320...400 дол. США, що значно менше від закордонних пропозицій по газотурбінних електростанціях аналогічної потужності.

Перша промислова теплоелектростанція з газотурбінним двигуном НК-37 потужністю 25 МВт встановлена й успішно працює з 1999 р. на Безимянській ТЕЦ м. Самари.

Виробництво двигуна НК-37 для приводу електрогенератора є інвестиційним проектом ВАТ "Моторостроитель".

На основі двигуна НК-36СТ самарськими підприємствами в останні роки розроблений та освоєний до виробництва **блочно-модульний газоперекачувальний агрегат "Самара-25НК"**. Генеральним розроблювачем конструкторської документації є ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова", генеральним постачальником газоперекачувального агрегату – ВАТ "Моторостроитель".

ГПА "Самара-25НК" забезпечує нормальну працездатність при температурі навколишнього повітря $-50...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносній вологості повітря до 100 %, барометричному тиску 600...800 мм рт.ст., а також при наявності опадів (дощ, сніг, туман); витримує сейсмічний вплив не менше 7 балів за шкалою MSK-64. Передбачено можливість транспортування блоків агрегату залізничним, водним чи спеціальним автомобільним транспортом.

Передбачається використання ГПА "Самара-25НК" для модернізації компресорних станцій ВАТ "Газпром".

Технічні характеристики агрегату "Самара-25НК" наведені нижче:

ККД при номінальній потужності	34,5 %
в станційних умовах	
Потужність двигуна	25 МВт
Параметри паливного газу:	
витрата	5230 кг/год
температура	20...110 $^{\circ}\text{C}$
тиск	4,4 МПа
Габарити	20,1×12,3×18,3 м
Ресурс:	
до капітального ремонту	25000 год
призначений	120000 год

На базі двигуна НК-37 (НК-37-1) створена **газотурбінна електростанція НК-900**, призначена для теплоелектропостачання районів і селищ, будівельних об'єктів та промислових підприємств. НК-900 являє собою стаціонарну установку блочно-контейнерного типу. Для її функціонування у варіанті, автономному від існуючих станцій, у комплекті повинні знаходитися пристрої хімводопідготовки, відкритий розподільний пристрій для зниження вихідної напруги до 220 чи 380 В, градирня для охолодження води й окремо розташований газовий компресор.

Основними достоїнствами електростанції є можливість монтажу в капітальних спорудах і на відкритих площадках, мобільність, можливість швидкого відключення й запуску (протягом 15...45 хв), автоматична система керування і широка діагностика технічного стану, мінімальна чисельність обслуговуючого персоналу, високі екологічні показники.

Технічні характеристики електростанції НК-900 наведені нижче:

Потужність:	
електрична	30 (25) МВт
теплова	38 (32) МВт

Номінальна напруга	10 (6,3) кВ
Частота струму	50 Гц
ККД	не менше 35,4 %
Коефіцієнт використання енергії палива	не менше 85 %
Параметри паливного газу:	
витрата	6121 кг/год
тиск	4,4 МПа
Ресурс:	
двигуна	100000 год
генератора	120000 год
міжремонтний	25000 год
Рівень шуму	не більше 80 дБ
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах	не більше 100 (200) мг/нм ³

Двигун НК-38СТ

Однією з останніх розробок ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова" є високоекономічний газотурбінний двигун НК-38СТ потужністю 16 МВт (рис. 3.1.7), призначений для приводу газоперекачувальних агрегатів ГПА-Ц-16Р і ГПА-16 "Волга". При переустаткуванні газоперекачувальних агрегатів ГПА-Ц-16 у ГПА-Ц-16Р двигун НК-16СТ замінюється двигуном НК-38СТ, у складі якого в даному випадку поставляється спецкомплект переустаткування.

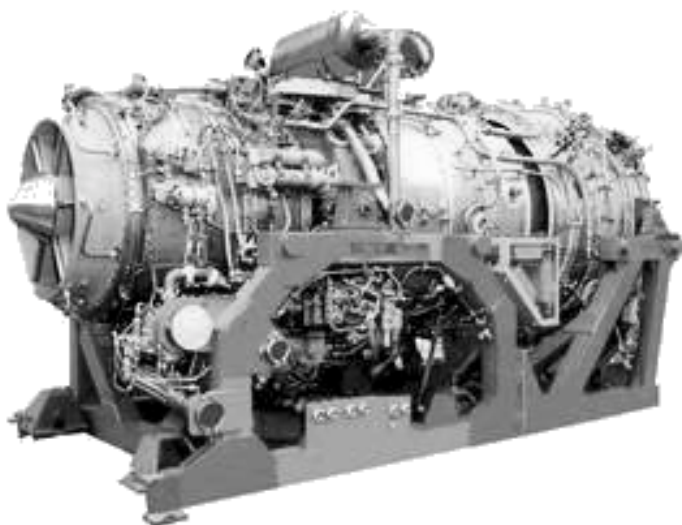


Рис. 3.1.7. Газотурбінний двигун НК-38СТ

НК-38СТ розроблений на основі тривального гвинтовентиляторного ТРДД п'ятого покоління НК-93 (рис. 3.1.8). Вони мають близько 70 % спільних деталей. Особливості двигуна: модульна конструкція; система протиобледеніння, яка виключає льодоутворення на деталях компресора; пристрій для періодичного

промивання тракту двигуна; висока контролепридатність, що дає можливість діагностування проточної частини без розбирання; монокристалічні лопатки турбіни з вихровою системою охолодження і керамічним покриттям; камера згоряння з двозонним горінням. За питомими масою і витратою палива двигун відповідає кращим світовим зразкам.

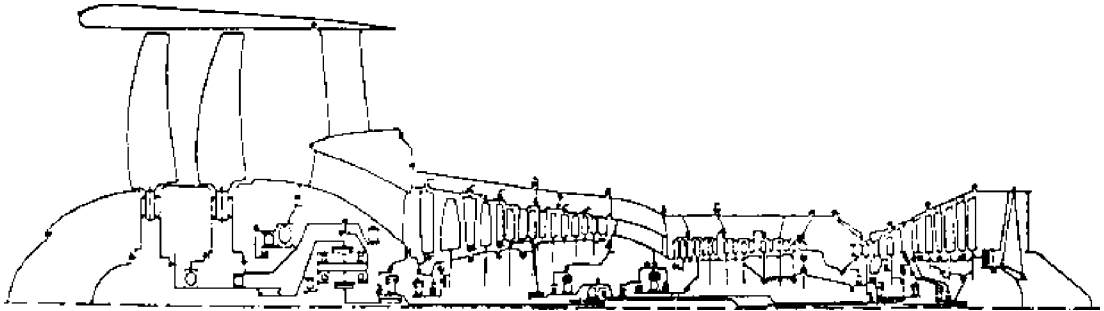


Рис. 3.1.8. Конструктивна схема базового двигуна НК-93

Двигун виконаний двокаскадним із вільною силовою турбіною. Одноступінчаста турбіна високого тиску приводить восьмиступінчастий компресор високого тиску, одноступінчаста турбіна низького тиску – семиступінчастий компресор низького тиску.

Лопатки і диски компресора низького тиску виготовлені з титану. Перші п'ять робочих дисків компресора високого тиску також виготовлені з титану, інші три – зі сталевих сплавів.

Диски турбін виконані зі звичайних сплавів на основі нікелю, робочі лопатки турбіни високого тиску – з монокристалічних матеріалів, а лопатки турбіни низького тиску – з матеріалів зі спрямованою кристалізацією.

Сучасні технології, застосовані при створенні НК-38СТ, забезпечили йому високий ККД (38 %), що цілком задовольняє сучасні вимоги газової промисловості. Відмітною рисою двигуна є гарні екологічні характеристики.

Після проходження міжвідомчих випробувань у 2002 р. двигуни НК-38СТ експлуатуються у складі газоперекачувальних агрегатів на Тольяттинській і Помарській компресорних станціях.

Технічні характеристики двигуна НК-38СТ наведені нижче:

Номінальна потужність	16 МВт
Температура газу:	
початкова	1476 К
на виході	716 К
Витрата повітря	54,6 кг/с
Міра підвищення тиску	25,9
Частота обертання вихідного вала	5300 об/хв
ККД	38 %
Витрата паливного газу	3046 кг/год

Безповоротні втрати масла	0,4 кг/год
Габарити	5,2×2,1×3,0 м
Маса з рамою	6650 кг
Ресурс:	
до капітального ремонту	30000 год
призначений	100000 год

На основі двигуна НК-38СТ для приводу генератора електричного струму розроблений двигун НК-39СТ.

Література до підрозд. 3.1

1. *Гриценко Е.А., Орлов В.Н.* Первая в России блочно-модульная теплоэлектростанция на базе ГТД авиационного типа НК-37 мощностью 25 МВт // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 15–17.
2. *Гриценко Е., Орлов В., Павлов В.* НК-38СТ – новый двигатель для газоперекачивающих агрегатов // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 5. – С. 12–14.
3. *Гриценко Е., Орлов В., Павлов В.* Промышленные газовые турбины ОАО "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 5. – С. 7–9.
4. *Гриценко Е., Овчинников В., Шитарев И.* Авиационные конвертированные ГТД семейства "НК" для газовой промышленности и энергетики // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 1. – С. 15–18.
5. *Идельсон А., Овчинников В.* НК-14Э для привода электрогенератора в составе электростанции БГТЭС-9,5 // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 5. – С. 17–19.
6. *Орлов В.Н.* Газотурбинный двигатель авиационного типа НК-37 для электростанции // Теплоэнергетика. – 1992. – № 2. – С. 27–31.
7. *Орлов В.Н., Фишбейн Б.Д.* Результаты испытаний газотурбинных конвертированных двигателей авиационного типа НК-36СТ и НК-37 // Теплоэнергетика. – 1996. – № 4. – С. 23–26.

Контрольні завдання

1. *Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова", ВАТ "СКБМ" і ВАТ "Моторостроитель".*
2. *Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами.*
3. *Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінного двигуна НК-12СТ.*
4. *Проаналізуйте особливості конструкції і характеристики двигунів сімейства НК-14СТ.*
5. *Поясніть склад і технічні характеристики газотурбінних електростанцій, що випускаються підприємствами.*
6. *Поясніть будову і параметри газотурбінного двигуна НК-16СТ.*

7. Розкрийте конструктивні особливості та характеристики двигунів НК-36СТ і НК-37.

8. Поясніть будову і параметри двигуна НК-38СТ.

3.2. ВАТ "КМПО" та ВАТ "КПП "Авиамотор"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Казанское моторостроительное производственное объединение". <i>Адреса підприємства:</i> 420036, Росія, Татарстан, м. Казань, вул. Дементьева, 1. <i>Чисельність працюючих:</i> 9950 чол. (2001 р.).
	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Конструкторско-производственное предприятие "Авиамотор". <i>Адреса підприємства:</i> 420036, Росія, Татарстан, м. Казань, вул. Дементьева, 1. <i>Чисельність працюючих:</i> 660 чол. (2001 р.).

3.2.1. Відомості про підприємства

ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение" у даний час є одним з найбільших у Росії промислових підприємств, що спеціалізуються на випуску продукції авіаційного моторобудування і газоперекачувальних агрегатів.

Історія об'єднання до 1941 р. складалася із самостійного життя двох заводів: Воронежського заводу № 16 і Казанського моторного комбінату № 27.

Воронезький завод № 16 був організований у 1931 р. на базі заводу "Взрыватель" для ремонту літаків та авіаційних поршневих двигунів. З 1934 р. ведеться серійний випуск двигунів М-11 потужністю 110 к.с. конструкції А.Д. Швецова. У 1939 р. завод освоює виробництво двигуна ВК-105 потужністю 1100 к.с. конструкції В.Я. Климова. У листопаді 1941 р. підприємство евакуюється на територію заводу № 27 м. Казані, внаслідок чого відбувається їхнє об'єднання.

У 1932 р. у Казані почате будівництво машинобудівного заводу № 124 ім. С. Орджонікідзе. У 1935 р. на ньому починають літакове й авіамоторне виробництво, а сам завод одержує найменування "Самолетно-моторный комбинат № 124/27". У червні 1939 р. комбінат розділяється на два самостійних підприємства: завод № 124 літакового виробництва і завод № 27 моторного виробництва. До 1941 р. завод № 27 займався в основному ремонтом поршневих двигунів і виробництвом відцентрових нагнітачів АЦН-2 та АН-1.

У період з 1941 по 1945 р. на об'єднаному заводі № 16 працювало потокове виробництво двигунів ВК-105, з 1942 р. підприємство випускало новий двигун В.Я. Климова – М105ПФ потужністю 1200 к.с. У роки війни в ДКБ заводу № 16

працював ряд талановитих учених і конструкторів: очолював бюро В.П. Глушко, під керівництвом якого в 1943 р. був створений перший у СРСР рідинний реактивний двигун РД-1, до 1946 р. заступником головного конструктора двигунів з льотних випробувань працював С.П. Корольов, начальником серійно-конструкторського відділу (з 1946 р. – головним конструктором ДКБ-16) був С.Д. Колосов.

У 1946 р. підприємство починає виробництво перших авіаційних газотурбінних двигунів. Ними стали турбореактивні двигуни РД-20 і РД-500, які випускалися до 1951 р.

У післявоєнний період завод у короткий термін освоює випуск різних моделей двигунів: АЛ-3 конструктора А.М. Люльки (1949 р.), ВК-1 конструкції В.Я. Климова для літака МиГ-15 (1951–1953 рр.), АМ-3 (РД-3М-500) конструкції О.О. Мікуліна (1953 р.). Останній встановлювався на літаки О.М. Туполева Ту-16 і Ту-104.

З 1962 р. Казанський моторобудівний завод здійснює випуск двигунів розробки ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова" (м. Самара). Першим з них стало сімейство двоконтурних турбореактивних двигунів НК-8-3 і НК-8-4 для міжконтинентального пасажирського літака Ил-62. З 1969 р. на підприємстві організували серійний випуск двигуна НК-8-2У для пасажирських літаків Ту-154*. Починаючи з 1975 р. завод освоїв випуск двигунів НК-86 для першого радянського пасажирського літака-аеробуса Ил-86. До кінця 80-х років Міністерство цивільної авіації СРСР щорічно перевозило 48 % пасажирів на літаках із двигунами казанського виробництва.

Для виробництва різноманітного асортименту товарів народного споживання побудована філія заводу в м. Буїнську – Буїнський машинобудівний завод. На базі двох заводів у 1976 р. було утворено Казанське моторобудівне виробниче об'єднання.

Для забезпечення споруджуваного магістрального газопроводу Уренгой–Помари–Ужгород газоперекачувальними агрегатами об'єднанню в липні 1979 р. доручається організувати випуск газотурбінних двигунів НК-16СТ розробки ВАТ "СНТК ім. Н.Д. Кузнецова", серійне виробництво яких почалося з 1982 р. Для розширення виробництва даних двигунів у м. Зеленодольську була побудована друга філія об'єднання – Зеленодольський машинобудівний завод.

У 1994 р. об'єднання перетворюється у ВАТ "Казанское моторостроительное производственное объединение".

У 90-х роках організується виробництво двигунів НК-16-18СТ для газоперекачувальних агрегатів (1995 р.) і НК-93 для літаків Ил-96, Ту-204, Ан-70 (1997 р.), починається випуск газоперекачувальних агрегатів ГПА-16 "Волга" і двигунів НК-38СТ для магістральних газопроводів. У 1998 р. освоюється випуск двигуна АИ-22 ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя).

Казанське проектне бюро машинобудування (у даний час ВАТ "КПП "Авиамотор") було створено наказом Міністерства авіаційної промисловості СРСР

* Усього вироблено більше 2500 двигунів НК-8-2У.

у березні 1966 р. з метою впровадження в серійне виробництво, доведення за надійністю і ресурсом двигунів сімейства "НК", розроблених ДКБ генерального конструктора М.Д. Кузнецова (як філія цього підприємства), а також розробки, впровадження в серію і доведення вихідних пристроїв, пускових агрегатів та засобів діагностики двигунів для різних літаків.

Основною сферою діяльності підприємства сьогодні є впровадження і доведення двигунів НК-16СТ та НК-16-18СТ у газоперекачувальних агрегатах, модифікування двигунів для екранопланів (НК-87 і НК-8-4К), розробка устаткування для газоперекачувальних станцій та ін. Пропонуються також послуги з розробки і створення агрегатів машинобудівного профілю та нестандартного устаткування, здійснення їхнього ремонту і модифікації.

У даний час обидва підприємства входять до складу Фінансово-промислової групи "Двигатели НК".

3.2.2. Продукція підприємств

У даний час ВАТ "КМПО" випускає продукцію авіаційного двигунобудування, а також продукцію для газодобувної промисловості і сільського господарства.

Об'єднання серійно виготовляє двоконтурні турбореактивні двигуни АИ-22 (для літаків Ту-324 і Як-48), НК-93 (Ту-204 і Ту-214), НК-8-2У (Ту-154Б) та НК-86 (Ил-86), освоює виробництво розробленого для малої авіації поршневого двигуна П-800.

Для газодобувної промисловості пропонуються привідні газотурбінні двигуни НК-16СТ* і НК-38СТ потужністю 16 МВт, двигун НК-16-18СТ потужністю 18 МВт. На основі двигуна НК-16-18СТ 2-ї серії створена блочно-модульна установка ГТЭ-18. Двигун НК-38СТ використаний як основа при розробці сучасного газоперекачувального агрегату ГПА-16 "Волга".

Підприємство продовжує освоювати виробництво деталей і вузлів авіаційних двигунів, розроблених канадською фірмою "Pratt & Whitney", веде підготовку ділянки збирання й випробувань двигунів PW207 для вертольотів російського виробництва.

Для ВАТ "Энергомашкорпорация" з 2002 р. підприємство серійно виготовляє роторну частину двигунів ГТ-009 і ГТ-009М. З одержанням цього замовлення завантаження потужностей ВАТ "КМПО" зросло приблизно на 20 %.

Важливим напрямком у розвитку підприємства стало освоєння виробництва автоматичної коробки передач для міських автобусів німецької фірми "Foit***".

Далі наводяться характеристики наземного газотурбінного устаткування, яке випускається підприємствами***.

* До 2002 р. виготовлено більше 1100 одиниць.

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційних сайтах підприємств – www.kmpo.ru та www.kazan.ru/avia.

*** Див. також опис продукції ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова".

Двигун НК-16-18СТ

НК-16-18СТ (рис. 3.2.1), створений колективом ВАТ "КПП "Авиамотор", є більш потужною модифікацією двигуна НК-16СТ для газоперекачувальних агрегатів. Двигун цілком взаємозамінний з базовим без яких-небудь доробок агрегату в цілому. Шляхом поліпшення характеристик компресора, зміни конструкції камери згоряння і паливорегулюючої апаратури, а також якісно нової підвіски та центрування газогенератора і силової турбіни забезпечене збільшення потужності на вихідному валу двигуна до 18 МВт, підвищений ефективний ККД до 31 %, знижений вміст шкідливих домішок у вихлопних газах, виключені причини, що викликали дефекти двигуна НК-16СТ.



Рис. 3.2.1. Газотурбінний двигун НК-16-18СТ

Серійне виготовлення і постачання ГТД на магістральні газопроводи здійснюються з 1995 р. До 2002 р. його виготовлено більше 70 одиниць. Напрацювання парку двигунів НК-16-18СТ досягло 500 тис. год. Основні технічні характеристики НК-16-18СТ (серія 2) наведені нижче:

Потужність	18 МВт
Ефективний ККД	не менше 31 %
Витрата:	
повітря	106 кг/с
паливного газу	6544 м ³ /год
Міра підвищення тиску	10,2
Температура газів:	
початкова	1110 К
за ГТД	733 К
Діапазон зміни частоти обертання силової турбіни	3975...5565 об/хв
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах	145 (300) мг/м ³
Максимальний рівень звукового тиску	135 дБ
Маса (разом з підставкою та рамою)	7800 кг

Габарити	6,2×2,2×2,2 м
Ресурс:	
до капітального ремонту	20000 год
призначений	60000 год

На базі спеціально розробленої модифікації двигуна НК-16-18СТ 2-ї серії (**НК-18СТЭ**) з частотою обертання силової турбіни 3000 об/хв, яка має поліпшені експлуатаційні й екологічні характеристики і використовується як привід електрогенератора, конструкторами ВАТ "КПП "Авиамотор" розроблена **блочно-модульна газотурбінна установка ГТЭ-18**.

ГТЭ-18 призначена для вироблення електричної і теплової енергії як основне джерело для автономного споживача, а також як додаткове джерело на існуючих ТЕЦ для покриття пікових навантажень у зимовий період, реконструкції і розвитку теплових станцій. Технічні характеристики ГТЭ-18 наведені нижче:

Потужність:	
електрична (в умовах ISO 2314)	18 МВт
теплова	35 МВт
Питома витрата палива на виробництво:	
електроенергії	0,247 кг/(кВт·год)
теплової енергії	32,6 кг/ГДж
Коефіцієнт використання енергії палива	90,7 %
Ефективний ККД приводу	не менше 31 %
Площа, займана установкою	470 м ²

Концентрація оксидів азоту у відхідних газах не перевищує 70 мг/м³. Температура газів за силовою турбіною складає 710 К, маса двигуна з рамою – 6000 кг. Як паливо можуть використовуватися природний і попутний газ, рідке паливо.

До складу установки входить електрогенератор ЭГ-ТС25-2, характеристики якого на номінальному режимі роботи складають: потужність – 18 МВт, напруга струму – 10500 В, частота струму – 50 Гц, маховий момент ротора – 4 т/м², маса ротора – 13,04 т. Система охолодження повітряна.

Установка ГТЭ-18 складається з блоків повної заводської готовності, що забезпечує її монтаж і пуск в експлуатацію в короткий термін. Автоматична система керування уможливорює експлуатацію установки невеликим за чисельністю персоналом. Передбачається її окупність протягом двох-трьох років.

Газоперекачувальний агрегат ГПА-16 "Волга"

Створений спільно рядом підприємств Республіки Татарстан (основний розроблювач – ВАТ "НИИтурбокомпрессор") на основі двигуна нового покоління НК-38СТ потужністю 16 МВт і ККД 38 %.

Для стискання газу використовується відцентровий нагнітач НЦ-16-76/1,044 з магнітним підвісом ротора і газодинамічними (сухими) ущільненнями. Агрегат виконаний у блочно-контейнерному вигляді. Основні технічні характеристики

ГПА-16 "Волга" наведені нижче:

Продуктивність нагнітача при початкових умовах	410 м ³ /год
Тиск газу:	
початковий	5,4 МПа
кінцевий	7,7 МПа
ККД:	
політропний нагнітача	86 %
ефективний	36,5 %
Номінальна потужність приводу	16 МВт
Частота обертання турбіни нагнітача	5300 об/хв
Повна маса	260 т
Габарити	27,3×14,6×18,0 м

Література до підрозд. 3.2

1. Результаты испытаний и доводки ГПА-16 "Волга" на КС-22 "Помары" / В. Братишко, Я. Гузельбаев, А. Ржеутский, А. Сафиуллин // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 6. – С. 24–25.
2. Сафиуллин А., Хисамеев И., Братишко В. Опыт создания ГПА-16 "Волга" – газоперекачивающего агрегата нового поколения // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 4. – С. 23–24.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "КМПО" і ВАТ "КПП "Авиамотор".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінного двигуна НК-16-18СТ.
4. Проаналізуйте склад і технічні характеристики блочно-модульної газотурбінної установки ГТЭ-18 та газоперекачувального агрегату ГПА-16 "Волга".



3.3. ВАТ "НПО "Сатурн"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Научно-производственное объединение "Сатурн".

Адреса підприємства: 152903, Росія, Ярославська обл., м. Рибінськ, просп. Леніна, 163.

Чисельність працюючих: 20700 чол. (2003 р.).

3.3.1. Відомості про підприємство

ВАТ "НПО "Сатурн" виникло в липні 2001 р. внаслідок об'єднання провідного російського конструкторського бюро двигунобудування – ВАТ "А. Люлька-Сатурн" (м. Москва) – та однієї з найбільших у Росії широкопрофільних машинобудівних компаній – ВАТ "Рыбинские моторы" (м. Рибінськ, Ярославська обл.).

ВАТ "А. Люлька-Сатурн" веде свій початок з березня 1946 р., коли на заводі № 165 м. Москви для створення літного варіанта першого вітчизняного турбореактивного двигуна С-18 (тяга 1300 кгс) і випуску малої серії під позначенням ТР-1 було утворено ДКБ, яке очолив А.М. Люлька*. У березні 1947 р. ТР-1 пройшов державні випробування на ресурс 20 год і потім установлювався на дослідних літаках Су-11, И-211, Ил-22, МиГ-9, Ла-154 та Су-10.

До 1952 р. були створені ТР-2, ТР-3 (АЛ-3)**, ТР-5 (АЛ-5) та різні їхні модифікації. Тяга двигунів зросла до 5000 кгс, ресурс – до 200 год. Деякі з них установлювалися на дослідні літаки И-350, Су-17, Ла-190, Ил-30, Ил-46, "150" та ін., але серійно з різних причин не вироблялися.

Наприкінці 1952 р. в ДКБ-165 почалися роботи зі створення двигуна АЛ-7 і його модифікацій, які принесли ДКБ світову популярність, а також сприяли відродженню ДКБ П.О. Сухого. Першим з них став двигун ТР-7. Від попередніх конструкцій він успадкував восьмиступінчастий однокаскадний компресор, доповнений надзвуковим першим ступенем, який за мірою підвищення тиску заміняв два-три дозвукові. Для запобігання помпажу були застосовані перепуск повітря із середніх ступенів компресора і поворотний вхідний напрямний апарат. Геометрично збільшена на 7 % версія двигуна одержала назву АЛ-7.

Широко застосовувалися модифікації АЛ-7 з форсажною камерою. За їхнє створення в 1957 р. А.М. Люльці було присвоєне звання Героя Соціалістичної Праці. У тому ж році йому в підпорядкування передається ДКБ-45 (тепер МКБ "Гранит"), яке працювало до цього над двигунами В.Я. Климова.

З 1955 р. починається випуск двигунів АЛ-7Ф для надзвукового фронтового винищувача С-1 конструкції П.О. Сухого. У 1956 р. на С-1 вперше в СРСР була

* Керував конструкторським бюро до 1984 р.

** "АЛ" – ініціали головного конструктора Архипа Михайловича Люльки.

досягнута швидкість, що у два рази перевищувала швидкість звуку. Для польоту на висотах 20...22 км і швидкостях $M = 2,1...2,2$ створюється двигун АЛ-7Ф-1 зі збільшеним на 50 % ступенем форсування, що випускався в 1958–1971 рр. великою серією на декількох заводах для винищувачів Су-7Б, Су-9, Су-17 та ін. Винищувачі-бомбардувальники Су-7Б різних модифікацій стояли на озброєнні багатьох країн світу, брали участь у локальних війнах.

Для винищувача-перехоплювача Су-11 розробляється двигун АЛ-7Ф-2, розрахований для висот польоту до 25 км і швидкостей до $M = 2,35$. Ресурс його модифікацій надалі був збільшений з 50 до 300 год. Для літака-перехоплювача Ту-128 створюється ТРД АЛ-7Ф-4 зі збільшеною тягою (1964 р.). Двигун АЛ-7Ф знайшов застосування і на літаках-снарядах (крилатих ракетах) Х-20 та Х-20М, що транспортувалися під фюзеляжем ракетноносцями типу Ту-95К.

У 1965–1970 рр. для надзвукового штурмовика Т-58М скороченого злету і посадки конструкторським бюро "Сатурн" розробляється форсований турбореактивний двигун третього покоління АЛ-21Ф. У великосерійне виробництво пішла модифікація АЛ-21Ф-3 зі збільшеними числом ступенів компресора і тягою двигуна для надзвукового фронтового бомбардувальника Су-24, а також для винищувачів-бомбардувальників Су-17М, МиГ-23Б, Су-20, Су-22М-4 та ін.

АЛ-21Ф-3 проектувався для широкого діапазону швидкостей польоту. Для стійкої роботи 14-ступінчастий однокаскадний компресор виконаний дозвуковим і має розвинуте регулювання проточної частини: вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших чотирьох та останніх п'яти ступенів виконані поворотними. Інші особливості АЛ-21Ф-3 – триступінчаста турбіна з охолоджуваними робочими і сопловими лопатками та надзвукове регульоване реактивне сопло. На двигуні широко застосовані титанові сплави.

У 50–60-х роках конструкторське бюро вело також роботи зі створення мало-розмірних ГТД і рідинних ракетних двигунів.

Тільки в середині 70-х років А.М. Люлька приступив до реалізації свого давнього винаходу – створення двоконтурних двигунів*, коли почалися роботи над двигуном АЛ-31Ф для винищувача Су-27 (Т-10С).

Особливістю АЛ-31Ф є здатність стійко працювати в екстремальних умовах польоту на всіх кутах атаки літака, що дозволяє Су-27 виконувати такі унікальні маневри, як "кобра Пугачова", і літати в дуже широкому діапазоні швидкостей: від 150...170 км/год до $M = 2,35$. Це досягнуто застосуванням як двокаскадної схеми, так і регульованих напрямних апаратів обох компресорів. Іншими особливостями АЛ-31Ф є модульна конструкція, скорочена форсажна камера, надзвукове всережимне регульоване сопло і т.д.

Широку популярність двигуну АЛ-31Ф і літаку Су-27 принесла не тільки "кобра Пугачова", але і 27 світових рекордів швидкопідйомності і висоти польоту, встановлених у 1986–1988 рр. на П-42 – рекордному варіанті Су-27.

* А.М. Люлька одним з перших у світі запропонував використовувати цей тип двигуна: заявка на винахід зареєстрована у квітні 1941 р.

Створення АЛ-31Ф потребувало залучення до спільної роботи й інших підприємств, що володіли великим науково-технічним потенціалом і досвідом створення газотурбінних двигунів. На їхній основі в 1982 р. було організовано Науково-виробниче об'єднання "Сатурн", яке одержало надалі найменування ВАТ "А. Люлька-Сатурн".

Роком народження ВАТ "**Рыбинские моторы**" вважається 1916-й, коли в м. Рибінську при сприянні французької фірми "Renault" був створений один з перших російських автомобільних заводів – "Русский Рено".

У 1924 р. підприємство було переорієнтовано на виробництво авіаційних поршневих двигунів. У 30-х роках серійно випускаються двигуни АМ-34Р конструкції О.О. Мікуліна. На літаках АНТ-25 із двигунами рибінського виробництва в 1937 р. екіпажі В.П. Чкалова і М.М. Громова встановлюють світові рекорди дальності при перельотах за маршрутами Москва–Північний полюс–Портленд, Москва–Північний полюс–Сан-Джасинто (США).

З 1935 по 1946 р. ДКБ заводу № 26 очолював В.Я. Климов, під керівництвом якого були створені і пущені в серійне виробництво двигуни М-100, М-103, ВК-105 (М-105), ВК-107 (М-107), а також їхні численні модифікації. У роки Великої Вітчизняної війни значна частина винищувачів (Як-1, Як-3, ЛаГГ), а також основні фронтові бомбардувальники (СБ, Пе-2) були оснащені цими двигунами. За їхнє створення В.Я. Климову ще в 1940 р. було присвоєне звання Героя Соціалістичної Праці.

У 1945–1946 рр. ДКБ В.Я. Климова, евакуйоване разом з підприємством наприкінці 1941 р. в Уфу, на базі німецьких ТРД ЮМО-004Б створює двигун РД-10 тягою 900 кгс, який серійно випускався для винищувачів Як-15 і ряду дослідних літаків. Усього в період з 1942 по 1946 р. заводом № 26 було випущено близько 42 тис. двигунів (з них 36 тис. – двигун М-105ПФ).

У післявоєнний період підприємством* серійно випускалися двигуни конструкції А.Д. Швецова АШ-62ИР для багатоцільового літака Ан-2 і військово-транспортного Ли-2 та АШ-73ТК, який встановлювався на Ту-4.

Особливим періодом в історії підприємства є діяльність ДКБ під керівництвом В.О. Добриніна. Протягом двох десятиліть була розроблена ціла серія двигунів для стратегічної авіації. Серед них: ВД-4К для стратегічного бомбардувальника Ту-85, ВД-7М для надзвукового далекого розвідника Ту-22Р і РД-7М-2 для надзвукового далекого ракетноносця Ту-22К.

У 60-х роках освоюється серійний випуск турбореактивних двигунів АЛ-7Ф-1 конструктора А.М. Люльки, які дозволили розгорнути виробництво надзвукових винищувачів Су-7Б, Су-9 та Су-17 зі змінюваною геометрією крила.

У 70–80-х роках завод, використовуючи розробки Рибінського конструкторського бюро (головний конструктор П.О. Колесов), випускає двигуни РД-36-51А для першого у світі надзвукового пасажирського літака Ту-144Д. Одночасно серійно

* Виробничі потужності, евакуйовані в роки війни в Уфу, надалі ввійшли до складу Уфімського моторобудівного заводу.

виготовлялися двигуни РД-36-35ФВ(Р), РД-38 для літаків вертикального злету і посадки Як-36 та Як-38, а також літаків-амфібій А-40.

На початку 70-х років на заводі освоєне виробництво турбореактивних двигунів: Д-30КУ – для пасажирських авіалайнерів Ил-62М, Д-30КП – для військово-транспортного літака Ил-76 і його модифікацій, Д-30КУ-154 – для пасажирського літака Ту-154М. Літаки з маркою "Ил" і рибінськими моторами виконували безпосадочні перельоти на основних міжнародних лініях Аерофлоту СРСР. Ці двигуни, розроблені пермським конструкторським бюро (головний конструктор П.О. Соловійов), заслужили прекрасну репутацію за період багаторічної експлуатації. Їхнє серійне виробництво, ремонт та експлуатаційне обслуговування протягом 30 років є основною продукцією підприємства*.

У 1992 р. Рибінське виробниче об'єднання моторобудування перетворюється у ВАТ "Рыбинские моторы". У 1997 р. до його складу входить ВАТ "Рыбинское конструкторское бюро моторостроения", у 1999 р. – ВАТ "Волжский машиностроительный завод".

Двигуни ВАТ "Рыбинские моторы" сьогодні піднімають у небо близько 1100 літаків зі 160 авіакомпаній Росії і зарубіжжя. В експлуатації знаходяться більше 4500 авіадвигунів.

До складу утвореного в 2001 р. ВАТ "НПО "Сатурн" у даний час входять: Науково-технічний центр ім. А. Люльки, Рибінське конструкторське бюро, Виробничий центр (включає в себе Завод газотурбінних двигунів, Завод промислових газотурбінних установок, Дослідний завод, Інструментальний завод, Литкаринський машинобудівний завод), Маркетинговий і Фінансові центри, Управління експлуатації і сервісного обслуговування.

Рішенням уряду Росії ВАТ "НПО "Сатурн" визначено головною організацією в програмі створення газотурбінного двигуна п'ятого покоління для перспективних російських бойових літаків (двигун АЛ-41Ф).

3.3.2. Продукція підприємства

У спектрі продукції, що випускається сьогодні ВАТ "НПО "Сатурн", є двигуни для цивільних і військових літаків, наземні енергетичні установки для РАТ "ЕЭС России" і ВАТ "Газпром", двигуни для безпілотних літаючих апаратів.

Основним джерелом фінансових надходжень підприємства дотепер є виробництво і ремонт двигунів сімейства Д-30 для літаків Ту-154М, Ил-62М, Ил-76. У даний час виробляється близько 30–50 таких двигунів на рік (раніше – до 700), ремонтується по 400–500 двигунів на рік (раніше – по 200–300)**.

Підприємство займається також удосконалюванням, ремонтом та експлуата-

* З 1972 р. підприємство випустило більше 8000 таких двигунів.

** Вартість нового двигуна сімейства Д-30 складає в середньому 1,3...1,6 млн дол. США, ремонту – 250...300 тис. дол.

ційним обслуговуванням двигунів АЛ-31Ф (для літаків МиГ-23Б і сімейства Су-27), АЛ-31ФП із керованим вектором тяги (Су-30МК і Су-37), ТВД-1500 (С-80, Ан-38), РД-600В (для вертольотів Ка-60/62), РМЗ-320 і ДН-200 (для малої авіації). Ведеться розробка двигуна п'ятого покоління АЛ-41Ф, а також двигунів АЛ-55 і АЛ-34 для невеликих літальних апаратів.

Одними із пріоритетних напрямків діяльності ВАТ "НПО "Сатурн" в останні роки є розробка й освоєння виробництва промислових газотурбінних агрегатів різного призначення. Перспективна програма передбачає створення агрегатів потужністю 2,5...325,0 МВт. У ході реалізації цієї програми передбачається досягнення наступних показників: ККД агрегату простої схеми 40 % і більше, ККД парогазового циклу до 60 %, рівня емісії NO_x менше 25 ppm, ресурсу агрегатів більше 100 тис. год.

На сьогодні підприємством успішно освоєне серійне виробництво ліцензійного двигуна ДО49Р потужністю 2,5 МВт (розробки НВКГ "Зоря"-Машпроект") і блокової електростанції ГТЭС-2,5 на його основі. Ведуться роботи зі створення модифікації двигуна (Сатурн ГТД-2,5) і газоперекачувального агрегату Сатурн ГПА-2,5.

3 грудня 2001 р. у дослідно-промисловій експлуатації на Іванівській ДРЕС знаходиться створений у виробничій кооперації з НВКГ "Зоря"-Машпроект" газотурбінний двигун ГТД 110 потужністю 110 МВт.

На базі авіаційного двигуна АЛ-31Ф для газоперекачувальних агрегатів та електростанцій створені двигуни АЛ-31СТ і АЛ-31СТЭ потужністю 16 МВт. Розроблені також модифікації цих двигунів потужністю 10 і 12 МВт. Авіаційний двигун п'ятого покоління АЛ-41Ф використовується для створення ГТД потужністю 25 МВт (ГТД-25АЛ).

Розробки перспективної конструкції газогенератора для авіаційних двигунів, що проводилися у 80-х роках Рибінським конструкторським бюро моторо-будування, дозволили створити для газоперекачувальних агрегатів та електро-станцій газотурбінний двигун п'ятого покоління Сатурн ГТД-4 потужністю 4 МВт. У даний час розробляються його модифікації потужністю 6 і 10 МВт – Сатурн ГТД-6,3 і Сатурн ГТД-10, на базі яких створюються суднові двигуни М70ФРУ та М75РУ потужністю 8,8 і 4,4 МВт.

Високонадійні й довговічні серійні авіадвигуни Д-30КУ і Д-30КП були використані при створенні газотурбінних двигунів Сатурн ГТД-6 та Сатурн ГТД-8.

Крім цього підприємство виготовляє дизельні електроагрегати, промислові вентилятори і снігохідну техніку, також випускає нестандартне устаткування й техніку для Міністерств атомної енергії, оборони і надзвичайних ситуацій, Газпрому.

Далі наводяться характеристики наземного газотурбінного устаткування, що випускається підприємством*.

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.npo-saturn.ru.

Двигун ДО49Р

Створений миколаївським підприємством НВКГ "Зоря"-Машпроект", випускається за ліцензією ВАТ "Газпром" (Росія)*.

На базі двигуна ДО49Р розроблена **автономна газотурбінна теплоелектростанція ГТЭС-2,5**, що може використовуватися для забезпечення електричною і тепловою енергією промислових та сільськогосподарських підприємств, житлових селищ і районів, а також як резервне джерело енергії в піковому й аварійному режимах.

У комплект ГТЭС-2,5 входять: енергетичний газотурбінний агрегат, блок повітряного охолодження масла, блок повітроочищення генератора, комплексний повітроочисний пристрій, блок шумоглушіння, компенсатор, водогрійний котел-утилізатор та вихлопна труба.

Теплоелектростанція оснащена сучасною цифровою системою автоматичного керування, що вироблена пермським ВАТ "СТАР". Конструктивно ГТЭС-2,5 виконана у вигляді окремих блоків повної заводської готовності, що дозволяє здійснити її швидкий монтаж як на відкритій площадці, так і всередині будинків. У складі електростанції двигун ДО49Р є приводом генератора ТК-2,5 (ВАТ "Привод", м. Лисьва).

ГТЭС-2,5 має наступні основні переваги: можливість роботи на різних видах палива (дизельне, біопаливо, попутне нафтове і піролізний газ), високий ККД, високу ефективність використання енергії палива (до 80 %), що в цілому визначає відносно низьку собівартість виробленої енергії, низькі витрати на технічне обслуговування, підвищену надійність роботи.

За бажанням замовника ГТЭС-2,5 комплектується різним допоміжним устаткуванням.

Електростанція допускає експлуатацію при температурі зовнішнього повітря $-45...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, висоті встановлення над рівнем моря до 1000 м, тиску 630...800 мм рт.ст., швидкості вітру до 50 м/с.

Технічні характеристики ГТЭС-2,5 (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

Потужність:	
електрична	2,5 МВт
теплова	4,5 МВт
Ефективний ККД	26,0 $\pm$ 0,5 %
Коефіцієнт використання енергії палива	не менше 72 %
Напруга	6300 (10500) В
Частота струму	50 Гц
Витрата:	
природного газу ($H_u = 50056\text{ кДж/кг}$)	660 кг/год
рідкого палива ($H_u = 42000\text{ кДж/кг}$)	770 кг/год
Тиск паливного газу	не менше 2,1 МПа

* Див. також опис двигуна UGT 2500 НВКГ "Зоря"-Машпроект".

Рівень звукового тиску	не більше 80 дБ
Габарити (включаючи димову трубу)	14,8×5,5×15,0 м
Загальна маса	64 т
Ресурс:	
до капітального ремонту	20000 год
призначений	100000 год

Двигун Сатурн ГТД-2,5

Перспективний газотурбінний двигун, що розробляється у ВАТ "НПО "Сатурн" на базі двигуна ДО49Р. Його відмітною рисою є наявність додаткової одноступінчастої силової турбіни, при цьому зберігаються всі переваги прототипу по стійкості до сірчистої корозії і морського клімату.

ГТД-2,5 призначений для приводу відцентрового нагнітача у складі газоперекачувального агрегату Сатурн ГПА-2,5.

До складу двигуна входять: однокаскадний осевідцентровий компресор (дев'ять осевих та один відцентровий ступені), індивідуальна трубчаста камера згоряння (дві жарові труби), турбіна компресора (два ступені), вільна силова турбіна (один ступінь), вхідний пристрій з бічним підведенням повітря, вбудована коробка агрегатів.

Технічні характеристики ГТД-2,5 наведені нижче:

Номинальна потужність	2,81 МВт
ККД	28,8 %
Витрата повітря	14,8 кг/с
Міра підвищення тиску	11,9
Температура газів:	
початкова	1203 К
на виході	701 К
Маса	2300 кг

На базі двигуна ГТД-2,5 розроблений блочно-комплектний **газоперекачувальний агрегат Сатурн ГПА-2,5** повної заводської готовності, призначений для розширення і реконструкції станцій підземного зберігання газу.

Крім двигуна до складу ГПА-2,5 входять: нагнітач природного газу, блок керування, блок засобів пожежогасіння, комплексний повітроочисний пристрій циклонного типу, блок апаратів повітряного охолодження масла та блок шумоглушіння у вихлопній трубі.

Технічні параметри ГПА-2,5 наведені нижче:

ККД нагнітача	не менше 82 %
Міра підвищення тиску	1,4...4,9
Кінцевий тиск	6,57...20,6 МПа
Продуктивність	39000...92200 нм ³ /год
Ресурс:	
міжремонтний	20000 год
призначений	120000 год
Термін служби	не менше 15 років

Двигуни Сатурн ГТД-6 та Сатурн ГТД-8

З 2000 р. ВАТ "НПО "Сатурн" веде розробку диверсифікованих приводів на базі авіаційних двигунів Д-30КУ/КП для спроектованих на підприємстві газотурбінних енергоустановок.

Розмірність газогенератора Д-30КУ/КП дозволила створити на його основі наземні двигуни потужністю 6 (Сатурн ГТД-6) і 8 МВт (Сатурн ГТД-8)* (рис. 3.3.1 і 3.3.2). Оцінка залишкового ресурсу його деталей після авіаційної експлуатації дає можливість забезпечити повний призначений ресурс 100 тис. год у наземному застосуванні. Енергетичні установки, що використовують ці двигуни, задовольняють усі вимоги експлуатації в температурних умовах від -55 до $+45^{\circ}\text{C}$ і при атмосферному тиску 650...800 мм рт. ст.

Доцільність виходу на ринок газотурбінних двигунів Сатурн ГТД-6 і Сатурн ГТД-8 з одновальним газогенератором (11-ступінчастий компресор + двоступінчаста турбіна) і вільною силовою турбіною визначають чотири основних фактори: висока надійність (загальне напрацювання базових двигунів – більше 35 млн год), низька вартість, висока ефективність використання палива (разом з утилізацією – до 80 %), супровід в експлуатації і сервіс. Низька вартість двигунів визначається високою серійністю ТРДД Д-30КУ/КП.

Підвищення економічності агрегатів досягається застосуванням котла-утилізатора для постачання споживачів промисловою парою чи гарячою водою. Найвигідніше використовувати установки на малих теплоелектростанціях і як надбудову газових котелень.

Підвищення економічності агрегатів досягається застосуванням котла-утилізатора для постачання споживачів промисловою парою чи гарячою водою. Найвигідніше використовувати установки на малих теплоелектростанціях і як надбудову газових котелень.

ВАТ "НПО "Сатурн" забезпечує високу якість гарантійного обслуговування даних енергоприводів, спираючись на розгалужену і налагоджену мережу, створену для двигуна Д-30КУ/КП, яка охоплює всю територію Росії і закордонні країни.

Конструктивно двигун Сатурн ГТД-6/8 виконаний з виведенням привідного вала чотириступінчастої силової турбіни в бік компресора, що дозволяє забезпечи-



Рис. 3.3.1. Двигун Сатурн ГТД-6/8

* Мають 95 % спільних деталей.

ти відвід вихлопних газів через осьовий і бічний газовідводи залежно від виконання.

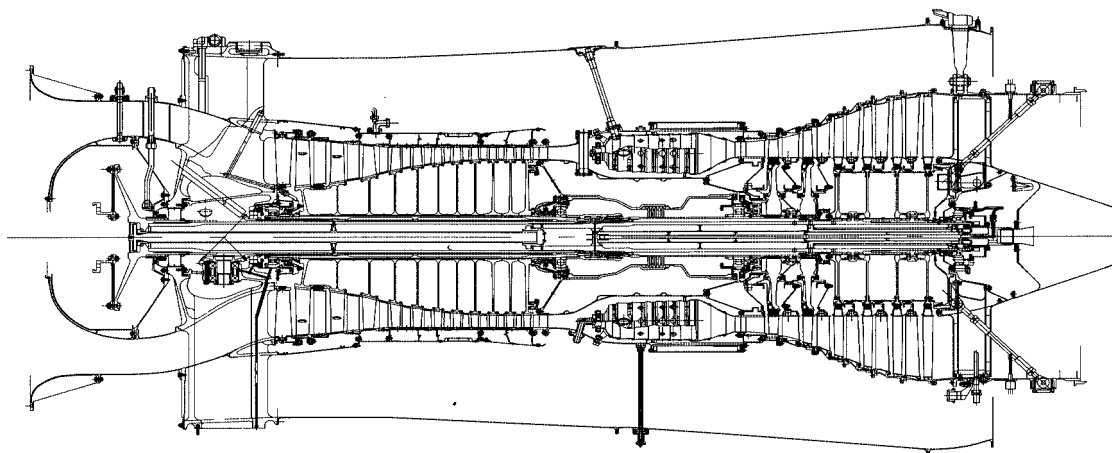


Рис. 3.3.2. Подовжній переріз двигунів Сатурн ГТД-6/8

Частота обертання силової турбіни 3000 об/хв дозволяє обійтися без редуктора при використанні ГТД для приводу електрогенератора.

На двигуні застосована система запуску на базі асинхронного електродвигуна загальнопромислового призначення потужністю 55 кВт із керуванням через тиристорний перетворювач частоти.

ГТД-6 і ГТД-8 відрізняються один від одного настроюванням систем регулювання і паливопостачання, кутом установлення соплового апарата 2–6-го ступенів.

Технічні характеристики двигунів Сатурн ГТД-6 та Сатурн ГТД-8 наведені нижче:

	ГТД-6	ГТД-8
Номінальна потужність, МВт	6,16	8,21
ККД, %	23,9	24,35
Витрата повітря, кг/с	45,8	49,1
Міра підвищення тиску	8,63	9,77
Температура газів, К:		
початкова	1086	1208
на виході	696	774
Безповоротні втрати масла, кг/год		0,4
Маса (з рамою та агрегатами), кг		5100
Габарити (з підмоторною рамою), м		3,4×2,3×2,5

Двигун Сатурн ГТД-6 має можливість відбору стиснутого повітря для виробничих потреб тиском 0,6...0,7 МПа і продуктивністю до 6000 м³/год.

На основі двигунів ГТД-6 і ГТД-8 створені **газотурбінні агрегати Сатурн ГТА-6 та Сатурн ГТА-8** електричною потужністю 6 і 8 МВт відповідно, максимальною тепловою потужністю 13,6 та 17,6 МВт.

Технічні характеристики агрегатів ГТА-6 та ГТА-8 (в умовах станції) наведені нижче:

	ГТА-6	ГТА-8
Потужність, МВт:		
електрична	6	8
максимальна теплова (з використанням утилізації)	13,6	17,6
ККД на клеммах генератора, %	23,3	23,4
Коефіцієнт використання енергії палива (з утилізацією), %	75	77
Напруга, В	6300 (10500)	
Маса агрегату (без котла), т	54,0	62,8
Тиск паливного газу, МПа, не менше	1,4	1,6
Витрата паливного газу ($H_u = 48744$ кДж/кг), кг/год	1902	2525

ГТА-6 і ГТА-8 можуть експлуатуватися окремо чи в комплексі, забезпечуючи паралельну роботу з мережею. Агрегати поставляються у вигляді блоків повної заводської готовності, усе устаткування – у вигляді конструкцій, готових до монтажу, і може перевозитися всіма видами транспорту.

Комплектація агрегатів залежить від конкретної прив'язки на місцевості і вимог споживача. Існують наступні варіанти постачання ГТА-6 і ГТА-8:

варіант 1 – без утилізації тепла вихлопних газів у комплекті із шумоглушиком і димарем;

варіант 2 – з утилізацією тепла газів у комплекті:

з паровим котлом;

з паровим котлом і допалюючим пристроєм (для збільшення паропроодуктивності і температури пари в зимовий період);

з водогрійним котлом і підтопковим пристроєм, що працює як на природному газі, так і на мазуті, у тому числі автономно від двигуна;

варіант 3 – парогазова установка бінарного циклу потужністю 22 МВт, що складається з двох газотурбінних агрегатів Сатурн ГТА-8, парової турбіни К-6-1,6У потужністю 6 МВт та двох парових котлів КГТ-20/1,3-300 паропродуктивністю до 20 т/год (виробництва АТ "Белгородский завод энергетического машиностроения").

Газотурбінні агрегати Сатурн ГТА-6 і Сатурн ГТА-8 додатково оснащені системами паливостачання, забезпечення запуску двигуна, керування і контролю двигуна, низьковольтним пристроєм системи власних потреб, маслосистемою двигуна і генератора.

У вересні 2002 р. на площадці ВАТ "НПО "Сатурн" була введена в експлуатацію ГТЭС-12 – перша з електростанцій, виконаних на основі агрегатів Сатурн ГТА-6/8. Вона складається з двох ГТА-6 у комплекті з двома паровими котлами-утилізаторами. Вартість електростанції (без дотискної компресорної станції) – 121,4 млн руб. ГТЭС-12 побудована за рахунок власних коштів підприємства й окупиться протягом трьох років. Собівартість електроенергії, вироблюваної ГТЭС-12, складає 0,26 руб/(кВт·год), вироблюваної пари – 23 руб/ГДж при ціні 565 руб. за 1000 м³.

З травня 2003 р. експлуатується електростанція Сатурн ГТЭС-12 у м. Нар'ян-Мар. Ведуться роботи з будівництва таких електростанцій в Омську і Михайлівці. У м. Череповець (ВАТ "Череповецкий Азот") встановлюється електростанція ГТЭС-32, у м. Усинськ (Республіка Комі) – ГТЭС-24.

Двигун Сатурн ГТД-4

Газотурбінний двигун Сатурн ГТД-4 розроблений для застосування у складі газоперекачувального агрегату Сатурн ГПА-4 і в перспективі – у складі газотурбінних електростанцій (наприклад, Сатурн ГТЭС-4), створюваних разом з ВАТ "Газпром", ВАТ "ЦКБ "Лазурит", ДВАТ "Электрогаз" та ін.*

Двигун створений на основі перспективної конструкції газогенератора для авіаційних двигунів різного застосування, що розроблялася рибінським конструкторським бюро у 80-х роках.

Конструктивно газогенератор "77" був виконаний одновальним і складався з дев'яноступінчастого компресора, кільцевої камери згоряння й одноступінчастої турбіни. Ротор двохопорий.

Незважаючи на досить високі газодинамічні параметри і вдалі конструктивні рішення, створений та доведений газогенератор** виявився незатребуваним в авіації. Однак закладений у нього потенціал дозволив в останні роки розробити на його основі ряд газотурбінних двигунів промислового і суднового призначення, першим з яких став Сатурн ГТД-4 (рис. 3.3.3).



Рис. 3.3.3. Двигун Сатурн ГТД-4

ГТД-4 виконаний однокаскадним, з вільною силовою турбіною (рис. 3.3.4). У базовий газогенератор внесені наступні зміни:

* Рік початку розробки – 1999-й.

** Стендові випробування з доведення основних параметрів проходили з грудня 1984 по березень 1989 р.

вхідний пристрій двигуна адаптований з комплексним повітроочисним пристроєм;

дев'ятиступінчастий компресор залишений практично без змін; для виключення резонансу збільшена тільки товщина робочих лопаток на останніх ступенях;

кільцева камера згоряння адаптована під газоподібне паливо;

для підвищення ККД і збільшення ресурсу турбіна компресора спроектована двоступінчастою, без центрального отвору в диску.

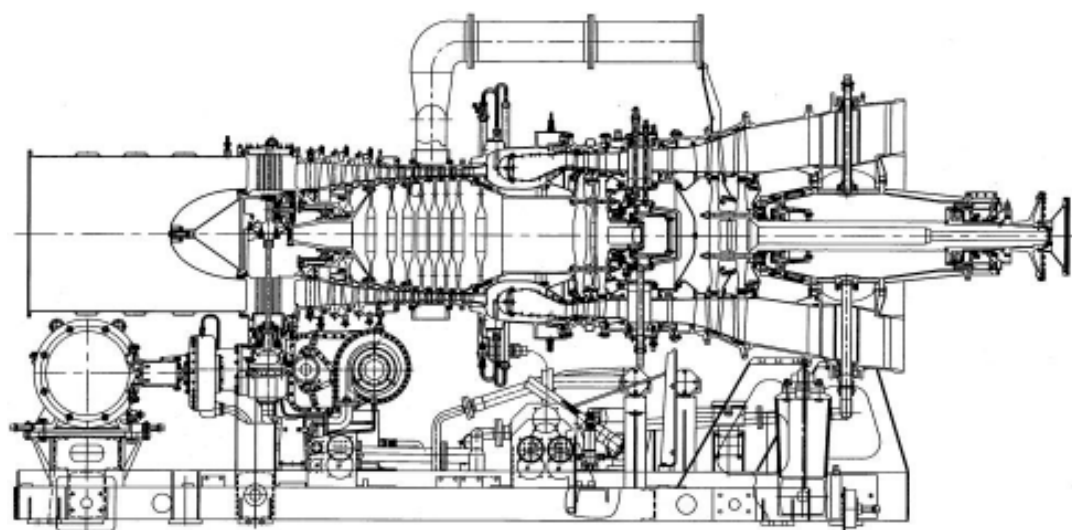


Рис. 3.3.4. Подовжній переріз двигуна Сатурн ГТД-4

До газогенератора пристиковано модуль двоступінчастої силової турбіни. У нижній частині переднього корпусу компресора кріпиться коробка агрегатів двигуна.

Компресор двигуна ГТД-4 високонавантажений. Навантаження на ступінь перевищують навантаження двигунів четвертого покоління на 45 %. ККД компресора вищий, ніж ККД аналогів, на 0,5...1,5 %.

Критерій форсування камери згоряння істотно нижчий від граничного, що забезпечує високу повноту згоряння палива (більше 0,99). Рівень викидів оксидів азоту і вуглецю на першому зразку менше 80 мг/м³, з подальшим зниженням після остаточного доведення камери згоряння до 50 мг/м³.

Робочі лопатки першого ступеня турбіни компресора охолоджувані.

Технічні характеристики двигунів ГТД-4 та ГТД-6,3 (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

	ГТД-4	ГТД-6,3
Номінальна потужність, МВт	4,1	6,4
Витрата повітря, кг/с	21,4	21,6
Міра підвищення тиску	12,1	11,3
Витрата паливного газу ($H_u = 50056$ Дж/кг), кг/год	908	1330
Тиск паливного газу, МПа	2,6	—

	ГТД-4	ГТД-6,3
Температура газів, К:		
початкова	1220	1500
перед силовою турбіною	870	—
на виході	656	759
Міра зниження тиску:		
в турбіні компресора	4,22	—
в силівій турбіні	2,59	—
ККД силової турбіни	0,93	—
Частота обертання, об/хв:		
ротора газогенератора	14440	—
силової турбіни	10500	8300
ККД двигуна (на муфті), %	32,5	32,6
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах, мг/м ³ , не більше	80 (80)	—
Габарити (з рамою), м	3,8×1,4×2,0	—

Експлуатаційні характеристики двигуна Сатурн ГТД-4 наведені на рис. 3.3.5.

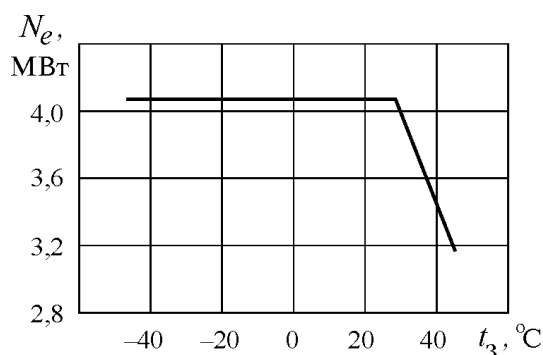


Рис. 3.3.5. Залежність потужності двигуна ГТД-4 від температури зовнішнього повітря

У складі газоперекачувального агрегату двигун комплектується повітрозабірним пристроєм, газовідводом у вигляді осерадіального дифузора і газозбірного ресивера, трансмісійним валом приводу нагнітача з пружними муфтами.

Двигун кріпиться на рамі на пружних опорах, де розміщений і пусковий пристрій. Вузли кріплення знаходяться на корпусі компресора і на опорному корпусі силової турбіни. Заявлена потужність двигуна підтримується до температури повітря +30 °C. При тем-

пературі нижче +5 °C можливе збільшення потужності до 4,8 МВт.

В основу створеного на базі двигуна Сатурн ГТД-4 **газоперекачувального агрегату Сатурн ГПА-4** закладені передові досягнення в галузі виробництва газотурбінних двигунів і відцентрових нагнітачів природного газу. Він має мікропроцесорну систему автоматичного керування і дистанційного керування з пульта диспетчера компресорної станції. ГПА-4 має збірну конструкцію з двох блоків-контейнерів, що окремо транспортуються і з'єднуються в єдиний агрегат на місці експлуатації. Блок-контейнерне виконання з розміщенням виносного устаткування на даху дозволяє скоротити займану площу, витрату матеріалів, час і вартість монтажу. Агрегат розділений протипожежними перегородками на три відсіки. На даху відсіків закріплений комплексний повітроочисний пристрій із двоступінчастим очищенням повітря на мультициклонах і матер'яних фільтрах, а також система протиобledenня і шумоглушник вхідного тракту.

Теплозвукоізоляція агрегату забезпечує експлуатацію при температурі зовнішнього повітря $-45...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при цьому температура у відсіках не буде перевищувати $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

У виробництві ГПА-4 беруть участь ВАТ "НПО "Сатурн", ВАТ "Невский завод" (м. С.-Петербург), ВАТ "СТАР" (м. Перм), ВАТ "Росинтэк", ВАТ "НПО "Звезда" (м. Москва) і ВАТ "Чебоксарский электроаппаратный завод". У 2000 р. був виготовлений лідерний агрегат. У 2001 р. проведена сертифікація, освоєне серійне виробництво.

Технічні характеристики ГПА-4 (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

ККД нагнітача природного газу	80 %
Тиск перекачуваного газу:	
вхідний	4,7 МПа
вихідний	12,8 МПа
Продуктивність	3,48 (46) млн $\text{м}^3/\text{добу}$ ($\text{м}^3/\text{хв}$)
Масло для системи змащення	ТП-22С, ТП-22
Безповоротні втрати масла	0,5 кг/год
Діапазон робочих температур	$-45...+45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Двигун Сатурн ГТД-6,3

Сатурн ГТД-6,3 – перспективний газотурбінний двигун, що розробляється у ВАТ "НПО "Сатурн" на базі двигуна Сатурн ГТД-4. Передбачається його повна уніфікація з базовою моделлю.

Двигун ГТД-6,3 призначений для транспортування природного газу на компресорних станціях магістральних газопроводів як у складі газоперекачувального агрегату Сатурн ГПА-6,3, так і в складі реконструйованих газоперекачувальних агрегатів ГПА-Ц-6,3.

Також як і ГТД-4, двигун виконаний двовальним. До його складу входять дев'ятиступінчастий осьовий компресор, кільцева камера згоряння та двоступінчаста турбіна компресора. Збільшення потужності порівняно з ГТД-4 отримано шляхом збільшення початкової температури газів до 1500 К, що потребувало більш інтенсивного охолодження лопаток турбіни компресора, а також збільшення її пропускної здатності. Усі зазначені зміни проведені перепрофілюванням соплових і робочих лопаток турбіни компресора.

На відміну від базового двигуна силова турбіна триступінчаста.

Під збільшену витрату палива змінена конструкція паливного колектора і камери згоряння. Збережені всі вузли й агрегати двигуна ГТД-4. Основні параметри ГТД-6,3 були наведені раніше. Експлуатаційні характеристики зображені на рис. 3.3.6.

Сатурн ГПА-6,3 являє собою блочно-комплектний агрегат повної заводської готовності (за аналогією із Сатурн ГПА-4).

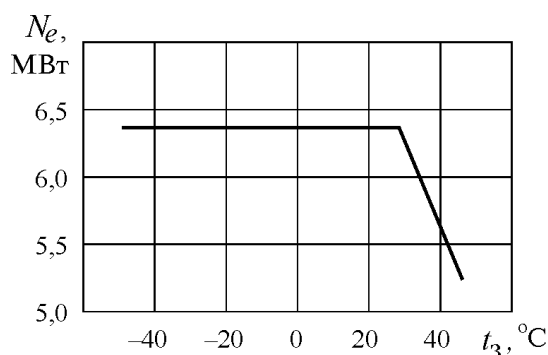


Рис. 3.3.6. Залежність потужності двигуна ГТД-6,3 від температури зовнішнього повітря

Двигун Сатурн ГТД-10

Розроблюваний газотурбінний двигун Сатурн ГТД-10 потужністю 10 МВт є подальшим розвитком ряду двигунів, створюваних у ВАТ "НПО "Сатурн" на базі авіаційного газогенератора "77" (після двигунів ГТД-4 і ГТД-6,3).

Через міцнісні і ресурсні характеристики "гарячих" вузлів і деталей базового газогенератора практично неможливим є подальше збільшення потужності створюваних на його основі двигунів шляхом підвищення (понад 1500 К) температури газів перед турбіною. Досягнення потужності 10 МВт забезпечено постановкою додаткового ("нульового") ступеня компресора і, отже, збільшенням витрати циклового повітря.

Відносно висока втулка компресора базового газогенератора дозволила скласти "нульовий" ступінь з одержанням заданого приросту витрати повітря і міри підвищення тиску практично без зменшення ККД компресора в цілому. Температура газів перед турбіною така ж, як і на двигуні ГТД-6,3, – 1500 К. Робоча точка на характеристиці компресора також залишена без зміни. Такий підхід дозволив зберегти без змін профілювання соплових і робочих лопаток турбіни компресора, а також систему охолодження гарячих деталей двигуна. Таким чином, турбіна компресора двигуна, форсованого до 10 МВт, цілком відповідає турбіні компресора ГТД-6,3.

Унаслідок проведених змін двигун Сатурн ГТД-10 складається з десяти-ступінчастого компресора (один ступінь "нульовий", дев'ять ступенів із двигуна ГТД-4), камери згоряння, що працює на газоподібному паливі, охолоджуваної турбіни компресора і силової турбіни (рис. 3.3.7).

Спроектована триступінчаста силова турбіна відрізняється від турбіни ГТД-6,3 зміненим (через збільшену потужність) профілюванням соплових і робочих лопаток, а також частотою обертання (6500 замість 8300 об/хв).

Номінальна потужність двигуна ГТД-10 (рис. 3.3.8) в умовах ISO 2314 складає 10,23 МВт, витрата повітря – 32,5 кг/с, міра підвищення тиску – 17,9, ефективний ККД – 36,5 %.

Двигун Сатурн ГТД-10 може бути використаний для реконструкції газоперека-

чувальних агрегатів типу ГПА-10, ГТК-10, ГТК-10-4 і ГТК-10И, а також для розширення парку дотискних компресорних станцій і станцій підземних сховищ газу.

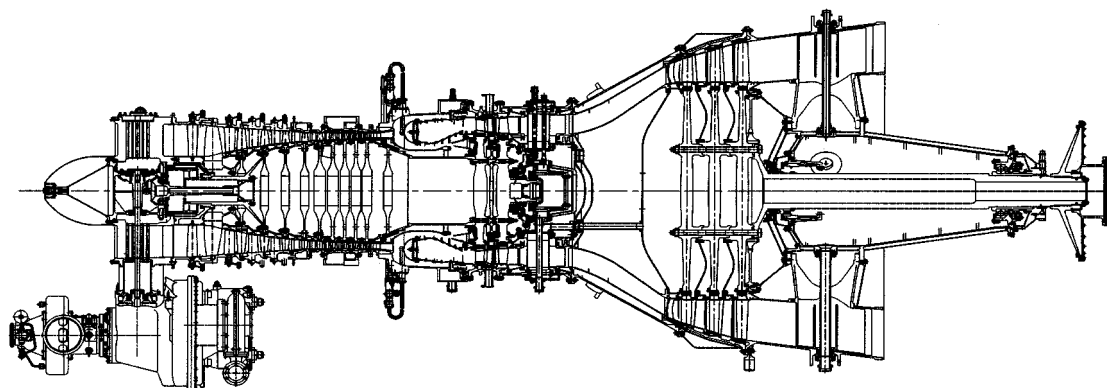
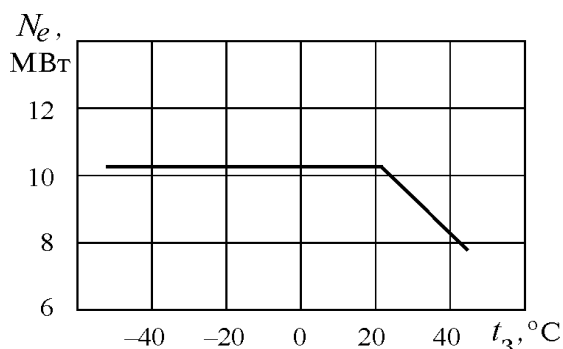


Рис. 3.3.7. Подовжній переріз двигуна Сатурн ГТД-10

Рис. 3.3.8. Залежність потужності двигуна ГТД-10 від температури зовнішнього повітря



Суднові двигуни Сатурн М75РУ та Сатурн М70ФРУ

Судновий двигун Сатурн М75РУ (рис. 3.3.9) спроектований шляхом модифікації промислового двигуна Сатурн ГТД-4, отриманого на основі конвертованого авіаційного газогенератора "77" розробки ВАТ "НПО "Сатурн", який пройшов параметричне доведення. При розробці використаний досвід підприємства з капітального ремонту двигунів ДР76 (М75) НВКГ "Зоря"- "Машпроект", які входять до складу корабельної газотурбінної установки М15.

М75РУ, також як і базовий двигун, виконаний двовальним із вільною силовою турбіною. Компресор однокаскадний, осьовий, дев'ятиступінчастий. Камера згоряння кільцева, сегментної конструкції. Турбіна компресора і силова турбіна осьові, двоступінчасті.

Основною відмінною рисою двигуна М75РУ є камера згоряння, пристосована до роботи на рідкому паливі. Паливотрегулююча апаратура і система керування також пристосовані до рідкого палива. Інші вузли практично не відрізняються від аналогічних вузлів двигуна ГТД-4.

Пророблено два варіанти двигуна М75РУ з різними силовими турбінами – у реверсивному і неревверсивному (рис. 3.3.10) виконанні.

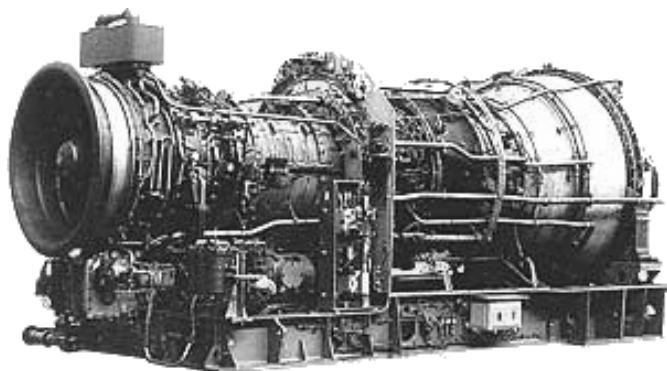


Рис. 3.3.9. Двигун Сатурн М75РУ

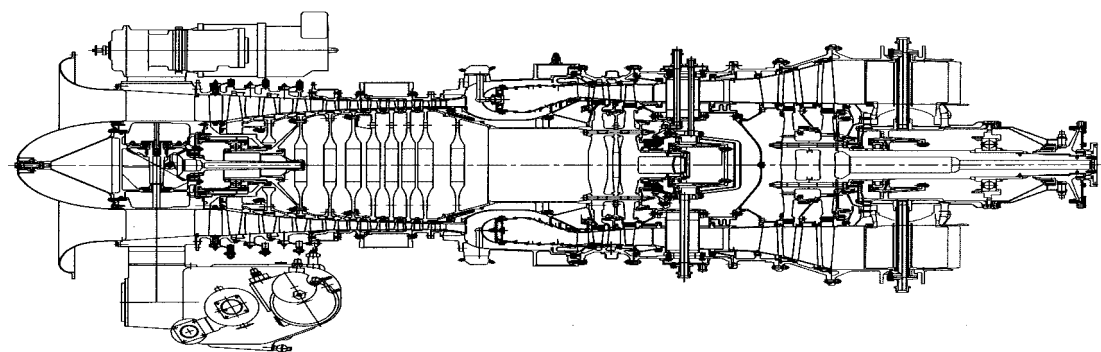


Рис. 3.3.10. Подовжній переріз двигуна Сатурн М75РУ

Двигун призначений для використання на патрульних катерах, малих ракетних кораблях (типу "Молния"), ескортих кораблях.

Газотурбінний двигун М70ФРУ створюється на основі промислового двигуна Сатурн ГТД-10. Використовується досвід ВАТ "НПО "Сатурн" з капітального ремонту двигунів ДР77 (М70) НВКГ "Зоря"- "Машпроект", які входять до складу корабельної газотурбінної установки М15.

М70ФРУ, також як і базовий двигун, виконаний двовальним із вільною силовою турбіною.

Компресор однокаскадний, осьовий, десятиступінчастий. Камера згоряння кільцева, сегментної конструкції. Турбіна компресора осьова, двоступінчаста. Силовa турбіна осьова, триступінчаста.

Пророблено два варіанти двигуна М70ФРУ з різними силовими турбінами – у реверсивному і неревверсивному виконанні.

Судновий двигун М70ФРУ цілком адаптований для роботи в умовах морського середовища і для роботи на дизельному паливі. Призначений для встановлення на малі ракетні кораблі, КПП, вартові кораблі та легкі крейсери.

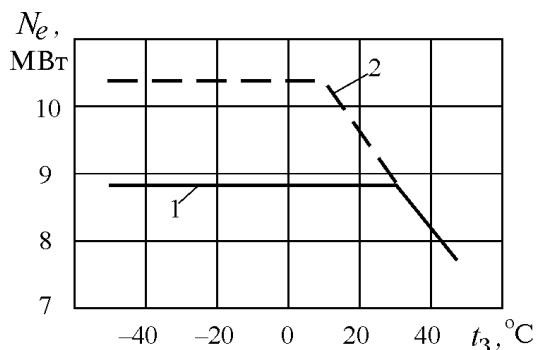
Основні технічні характеристики двигунів М75РУ та М70ФРУ наведені нижче:

	М75РУ	М70ФРУ
Потужність, МВт:		
номінальна	4,4	8,8
максимальна	5,15	10,3
ККД, %	32,6	36,6
Витрата повітря, кг/с	23,1	33,3
Міра підвищення тиску	12,9	18,5
Температура газів, К:		
початкова	1295	1529
за ГТД	700	815
Частота обертання вихідного вала, об/хв	11500	6500
Габарити (на рамі з теплозахисним кожухом), м	2,7×1,6×2,1	3,5×1,6×2,1
Маса, т	2,25	3,15

Експлуатаційні характеристики двигунів зображені на рис. 3.3.11.

Рис. 3.3.11. Залежність потужності двигуна М70ФРУ від температури зовнішнього повітря:

1 – номінальний режим роботи;
2 – максимальний режим роботи



Двигуни можуть бути також використані як приводи електрогенераторів потужністю 4...10 МВт на морських платформах нафто- і газовидобутку.

Двигуни АЛ-31СТ та АЛ-31СТЭ

Високоєфективні газотурбінні приводи АЛ-31СТ і АЛ-31СТЭ потужністю 16 МВт розроблені на основі авіаційного двоконтурного турбореактивного двигуна АЛ-31Ф.

Тривальний газотурбінний двигун АЛ-31СТ (рис. 16Д) призначений для використання у складі газоперекачувальних агрегатів ГПА-Ц-16Л, ГПА-16 "Нева", ГПА-16Р "Уфа", РGT-21S, а також для заміни газотурбінних приводів у вже існуючих агрегатах. Він характеризується високим рівнем технічних параметрів, можливістю роботи в будь-яких кліматичних умовах, автоматичним підтриманням оптимальних режимів роботи. За своїми технічними характеристиками та екологічною безпекою двигун цілком відповідає світовим стандартам (табл. 3.3.1).

Компресор двигуна осьовий, двокаскадний. КНТ має чотири ступені, оснащений регульованим вхідним напрямним апаратом. КВТ дев'ятиступінчастий. Між ними розташований проміжний корпус із центральною коробкою приводів.

Перша група ступенів компресора високого тиску також виконана регульованою.

Таблиця 3.3.1. Технічні характеристики двигунів розробки Науково-технічного центру ім. А. Люльки

Параметри	Марки двигунів				
	АЛ-31СТ	АЛ-31СТЭ	АЛ-31СТ-10	АЛ-31СТ-12	ГТД-25АЛ
Потужність на валу силової турбіни, МВт	16,8	16,4	10,5	12,6	25,9
Ефективний ККД, %	36,5		33,0	34,5	–
Витрата повітря, кг/с	64,6		53,5	57,4	77,9
Міра підвищення тиску	18,1		14,3	15,6	19,1
Частота обертання, об/хв:					
КНТ	9353		8425	8730	9134
КВТ	12020		11385	11610	11807
силової турбіни	5300	3000	5300	5000	3000
Температура повітря за КВТ, К	719		–	–	–
Витрата паливного газу ($H_u = 50056$ кДж/кг), кг/год	3310	3230	2310	2646	4943
Температура газів, К:					
початкова	1440		–	–	–
перед силовою турбіною	1006		929	958	1050
за ГТД	762			768	
Рівень викидів NO _x , ppm, не більше	40		24	40	25
Габарити, м:					
довжина	4,7	6,0	5,2		6,0
ширина	2,3	2,2	2,1		2,2
висота	2,1	2,1	2,0		2,1
Маса, т	5,1	–	5,0		9,0
Ресурс, год:					
до капітального ремонту	25000				
призначений	100000				

Турбіни компресорів осьові, одноступінчасті, з активним керуванням радіальними зазорами. Силова турбіна тріступінчаста.

Основною особливістю двигуна АЛ-31СТ є унікальні за механічними й експлуатаційними характеристиками лопатки турбін, виготовлені із жароміцного сплаву з монокристалічною структурою та оснащені ефективною циклонно-вихровою системою охолодження.

У двигуні застосована кільцева камера згоряння. Система запалювання палива плазмова. Запуск двигуна газовий (турбодетандерний). Двигун має модульну конструкцію, що значно полегшує його ремонт.

Система керування двигуном гідроелектронна з аналоговим електронним регулятором-обмежником і гідромеханічним насосом-регулятором.

Серійне виробництво ведеться з 1998 р. У даний час АЛ-31СТ у складі газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16Л успішно експлуатується в системі транспортування газу ВАТ "Газпром" на станціях "Карпінська" ТОВ "Тюменьтрансгаз", "Алмазна" ТОВ "Пермтрансгаз", "Чаплигін" і "Долгая" ТОВ "Мострансгаз", "Ржевська" ТОВ "Лентрансгаз", "Москово" ТОВ "Баштрансгаз".

Лідерний двигун має напрацювання більше 23 тис. год, а силова турбіна – більше 27 тис. год.

АЛ-31СТЭ (рис. 3.3.12) являє собою енергетичну модифікацію двигуна АЛ-31СТ. Для спільної роботи з електрогенератором спеціально спроектована п'ятиступінчаста вільна силова турбіна. АЛ-31СТЭ входить до складу теплоелектростанцій ГТЭ-16 і ГТЭ-18.

На базі двигуна АЛ-31СТ створений високоефективний **газоперекачувальний агрегат ГПА-16/АЛ-31СТ**. Крім двигуна до його складу входять: відцентровий нагнітач з допоміжним устаткуванням; блок відсіків автоматики, вентиляції тепловиділень; системи обігріву; блок вхідного тракту, що включає в себе повітрозабірну, повітроочисну та протиобліднювальну системи і шумоглушник всмоктування; блок вихлопного тракту (вихлопна завитка, три секції вихлопної труби із шумоглушінням); системи масло- і паливopостачання; система пожежогасіння і газового захисту; система запуску й автоматичного керування; система електропостачання.

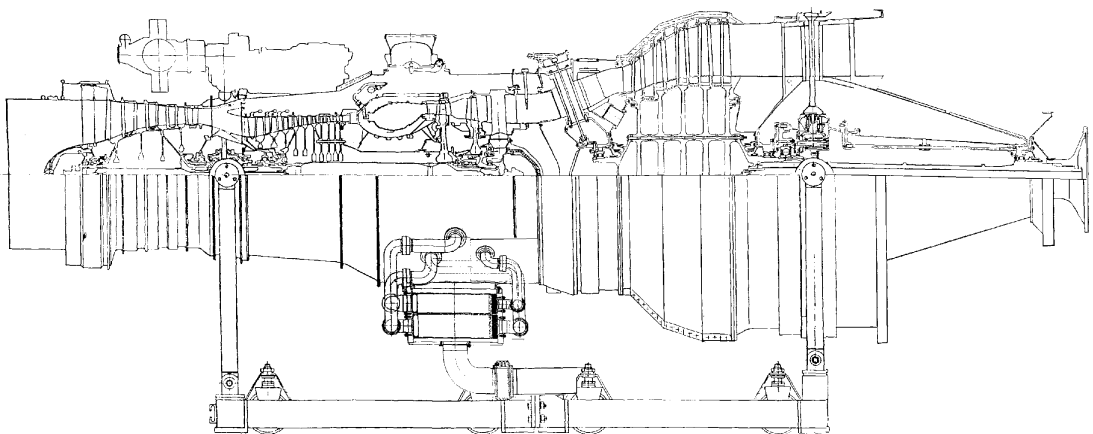


Рис. 3.3.12. Подовжній переріз двигуна АЛ-31СТЭ

Технічні характеристики ГПА-16/АЛ-31СТ (ISO 2314) наведені нижче:

Номінальна потужність на валу силової турбіни	16,8 МВт
Ефективний ККД на валу силової турбіни	36,5 %
Частота обертання ротора силової турбіни	5300 об/хв
Витрата паливного газу ($H_u = 50056$ кДж/кг)	3310 кг/год
Рівень викидів NO_x (CO)	не більше 40 (80) ppm
Ресурс:	
міжремонтний	25000 год
призначений	100000 год
Маса агрегату	не більше 150 т
Рівень шуму	не більше 85 дБ

На базі двигуна АЛ-31СТЭ створені газотурбінні агрегати ГТЭ-16 і ГТЭ-18, які призначені для вироблення теплової й електричної енергії і являють собою автономні керовані комплекси із приводом у блоковому виконанні. Можуть використовуватися як одиничні агрегати чи у складі декількох агрегатів з генераторами, що мають ідентичні характеристики регулювання напруги. Можуть працювати паралельно з електричною мережею необмеженої потужності.

ГТЭ-16 і ГТЭ-18 розроблені для експлуатації на відкритому повітрі чи в приміщенні з регульованими кліматичними умовами. Забезпечують нормальну працездатність при температурі $-45...+45$ °С та атмосферному тиску 670...800 мм рт.ст. Витримують сейсмічний вплив інтенсивністю 7 балів за шкалою MSK-64.

ГТЭ-16 і ГТЭ-18, маючи єдиний базовий двигун, відрізняються налаштуванням систем регулювання і паливостачання. Крім двигуна до їхнього складу входять також синхронний турбогенератор ТС-20-2, теплозвукоізолююче укриття, тракт усмоктування з комплексним повітроочисним пристроєм (складається з блока циклонів, блока кишенькових фільтрів, шумоглушника всмоктування і камери всмоктування), тракт вихлопу (газовідвід-завитка, дифузор, котел-утилізатор, шумоглушник вихлопу і вихлопна труба), а також системи вентиляції та освітлення відсіків, сигналізації і зв'язку, автоматичного пожежогасіння, паливного газу, маслопостачання, пускового повітря, автоматичного керування.

Технічні характеристики агрегатів ГТЭ-16 та ГТЭ-18 наведені нижче:

	ГТЭ-16	ГТЭ-18
Потужність, МВт:		
електрична	16,4	18,4
теплова	23,3	27,9
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000	
ККД двигуна, %	36,3	35,7
Витрата повітря через двигун, кг/с	64,5	66,0
Витрата паливного газу ($H_u = 50056$ кДж/кг), кг/год	3250	3707
Концентрація NO_x у вихлопних газах, ppm, не більше	40	60
Параметри вироблюваного струму:		
напруга, В	10500	
частота, Гц	50	

Габарити, м

Маса (без котла-утилізатора), т

ГТЭ-16 ГТЭ-18

36,0×5,6×20,0

170

Двигуни АЛ-31СТ-10 та АЛ-31СТ-12

На базі двигуна АЛ-31СТ розроблені високоефективні газотурбінні приводи АЛ-31СТ-10 та АЛ-31СТ-12 потужністю 10 і 12 МВт, призначені для газоперекачувальних агрегатів та енергетичних установок. У даний час знаходяться в дослідно-промисловій експлуатації (див. табл. 3.3.1).

Двигуни виконані двокаскадними з вільною силовою турбіною. Кільцева камера згоряння оснащена плазмовою системою запалювання палива. Тип стартера газовий (турбодетандерний).

Потужність на валу силової турбіни двигуна АЛ-31СТ-10 зберігається постійною до температури навколишнього середовища +45 °С на висоті до 2000 м над рівнем моря, двигуна АЛ-31СТ-12 – до температури +35 °С на висоті до 1500 м над рівнем моря.

Двигун ГТД-25АЛ

Створюється на базі авіаційного двоконтурного турбореактивного двигуна п'ятого покоління АЛ-41Ф. Призначений для газоперекачувальних агрегатів потужністю 25 МВт, також може бути приводом електрогенератора (див. табл. 3.3.1).

ГТД-25АЛ виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною. У двигуні застосована кільцева камера згоряння. Система запалювання палива плазмове. Запуск двигуна газовий (турбодетандерний).

Двигун відрізняється високонавантаженими ступенями компресора і трансзвуковими високонавантаженими турбінами, сучасною цифровою системою електронного регулювання і діагностики. Базовий двигун АЛ-41Ф порівняно з двигунами четвертого покоління має на 15 % меншу питому масу, на 10...13 % меншу питому витрату палива, у 1,5 разу менше число ступенів компресора, у два рази меншу вартість життєвого циклу.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-110

ГТЭ-110 (рис. 3.3.13) призначений для використання на електричних станціях у складі парогазових установок ПГУ-325 і ПГУ-170 або індивідуально в простому циклі для вироблення електричної і теплової енергії в базовому, напівпіковому та піковому класах використання. Газотурбінний агрегат ГТЭ-110 являє собою технологічний комплекс устаткування в блочно-комплектному виконанні, який забезпечує зручність монтажу й обслуговування. У комплект поставки ГТЭ-110 входять: газотурбінний двигун ГТД 110 потужністю 110 МВт на рамі, теплозвукоізолююче укриття двигуна зі встановленими в ньому трубопроводами системи

пожежогасіння і датчиками контролю загазованості, турбогенератор ТЗФГ-110-2 УЗ потужністю 110 МВт на рамі із системою повітряного охолодження, система збудження турбогенератора СТС-2Е-220-1900-2,5УХЛ4, тиристорний пусковий пристрій ПУ-1-УХЛ4, блок маслоагрегатів, блок паливорегулюючої апаратури рідкого і газоподібного палива, з'єднувальна ресора з муфтою, валоповоротний пристрій з дублюючим маслонасосом системи аварійної зупинки, комплексний повітроочисний пристрій (КПОП) з фільтрами, шумоглушінням та протиобліднювальною системою, вхідний пристрій ГТД, вихлопний газохід, електронна система автоматичного регулювання, керування, захисту і контролю.



Рис. 3.3.13. Газотурбінний агрегат ГТЭ-110

Основні характеристики ГТЭ-110 наведені нижче:

Електрична потужність	110 МВт
ККД електричний	34,5 %
Діапазон:	
робочих температур	-40...+40 °С
автоматичної зміни навантажень	0...100 %
Викиди NO _x	не більше 50 мг/м ³
Розрахунковий термін служби устаткування (за винятком ГТД)	40 років
Частота обертання ротора	3000 об/хв
Маса:	
сухого агрегату (без КПОП)	не більше 360 т
КПОП	210 т
Габарити	28,5×5,4×7,0 м

Одновальний газотурбінний двигун ГТД 110 створений ВАТ "НПО "Сатурн" у виробничій кооперації з миколаївським підприємством НВКГ "Зоря"-Машпроект". Електрогенератор для агрегату виконаний ВАТ "Електросила" (м. С.-Петербург).

Основні характеристики електрогенератора ТЗФГ-110-2 УЗ наведені нижче:

Потужність:	
активна	110 МВт
повна	137,5 МВ·А

* Див. також опис двигуна ГТД 110 НВКГ "Зоря"-Машпроект".

Коефіцієнт потужності	0,8
Частота обертання	3000 об/хв
Напруга	10500 В
ККД	98,4 %
Відношення короткого замикання	0,46
Температура:	
оохолодної води	33 °С
оохолодного повітря	40 °С
З'єднання обмотки статора	зірка
Число виводів	6
Маса:	
генератора	166 т
фундаментної рами	52 т
Габарити	9,3×5,5×6,5 м

У даний час проходить дослідно-промислова експлуатація зразка газотурбінного агрегату ГТЭ-110 на Іванівській ДРЕС.

План технічного переозброєння теплових електростанцій РАТ "ЕЭС России" на період до 2015 р. передбачає використання 103 комплектів ГТЭ-110 на різних російських теплоелектростанціях (Конаківська і Невинномиська ДРЕС, ТЭЦ-27 і ГРЭС-24 "Мосэнерго" та ін.). Використання ГТЭ-110 в рамках цієї програми дозволить щорічно заощаджувати більше 10 млрд нм³ природного газу і приведе до поліпшення екологічної ситуації.

Виробничі потужності ВАТ "НПО "Сатурн" дозволяють виготовляти шість-вісім ГТЭ-110 на рік.

На базі ГТД 110 передбачається створення енергетичних двигунів потужністю 60, 140 і 160 МВт.

Парогазова установка ПГУ-170

Парогазова установка ПГУ-170 (рис. 3.3.14) потужністю 170 МВт є установкою бінарного типу, призначеною для вироблення електроенергії. Можливий відпуск пари на мережні підігрівники в кількості близько 93 МВт. У даній комплектації парова турбіна прийнята конденсаційною.

ПГУ-170 – це перший російський парогазовий модуль, виконаний за схемою єдиного валопроводу для газотурбінного енергоблока, парової турбіни й електрогенератора. Подібне тех-

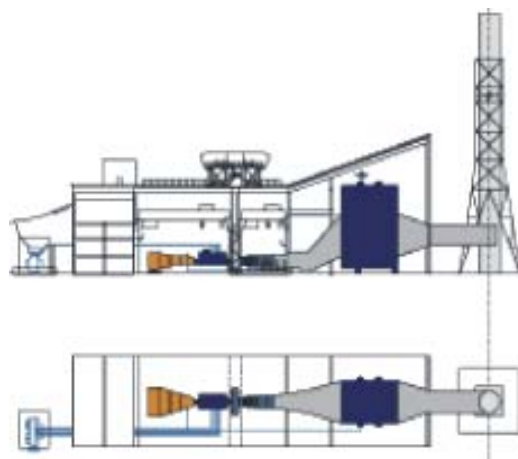


Рис. 3.3.14. Схема установки ПГУ-170

нічне рішення дозволило об'єднати маслосистеми парової турбіни і газотурбінної установки, спростити схему керування, скоротити кількість устаткування відносно двовальних ПГУ.

Дана одновальна конструкція передбачає розташування генератора між паровою і газовою турбінами. Парова турбіна має аксіальний вихлоп пари в конденсатор, що дозволяє розташовувати весь блок на позначці, близькій до нульової. Таке розміщення веде до істотного скорочення витрат на будівельні конструкції і поліпшення умов експлуатації.

Для виймання ротора генератора останній від'єднується від парової турбіни і ГТД та відкочується на спеціальних пристроях.

У комплект поставки ПГУ-170 входять: один газотурбінний агрегат ГТЭ-110 з електрогенератором ТЗФ-180-2 УЗ номінальною потужністю 180 МВт із форсованим повітряним охолодженням виробництва ВАТ "Электросила", одна конденсаційна паротурбінна установка К-55(60) потужністю 60 МВт виробництва ВАТ "ЛМЗ", горизонтальний котел-утилізатор АТ "Подольский машиностроительный завод", електротехнічні пристрої, системи контролю, захисту і керування, допоміжне устаткування.

Разом із генератором поставляється тиристорний пусковий пристрій, необхідний для розвороту всього валопроводу, що визначило його потужність – близько 6 МВт.

Паросилова частина блока спроектована на два значення тиску пари. У тепловій схемі ПГУ-170 і в компоновальних рішеннях ураховується також можливість проміжного перегріву пари.

Технічні характеристики установки ПГУ-170 наведені нижче:

Електрична потужність	170 МВт
ККД електричний	53 %
Діапазон:	
робочих температур зовнішнього повітря	-40...+40 °С
автоматичної зміни навантажень	25...100 %
Викиди NO _x	не більше 50 мг/нм ³
Розрахунковий термін служби устаткування (за винятком ГТД)	40 років

Котел-утилізатор розрахований для роботи з двоконтурною схемою ПГУ з деаератором, вбудованим у барабан низького тиску. Таке рішення, що добре зарекомендувало себе за рубежом, дозволяє відмовитися від однієї групи живильних насосів, виключити трубопроводи підведення пари до деаератора, скоротити довжину живильних трубопроводів і в цілому – підвищити економічність ПГУ.

Технічні характеристики котла-утилізатора на номінальному режимі роботи складають: витрата газів на вході – 662,3 кг/с, температура газів на вході – 797 К, температура газів на виході – 377 К, аеродинамічний опір (включаючи дифузор, конфузори і шумоглушник) – 300 Па; для контуру високого тиску: паропроductивність – 151,9 т/год, тиск перегрітої пари – 7,3 МПа, температура перегрітої пари – 774 К; для контуру низького тиску: паропроductивність – 37,6 т/год, витрата

пари на деаератор – 5,4 т/год, тиск перегрітої пари – 0,6 МПа, температура перегрітої пари – 497 К.

Для підвищення ефективності передбачено підігрів палива до 413 К та охолодження циклового повітря, яке надходить у ГТД, живильною водою блока.

Парогазова установка може виконуватися як з розчіпними муфтами, так і без них. Якщо валопровід виконаний без розчіпної муфти між паровою турбіною і генератором, то пуск блока з холостого стану здійснюється за допомогою пари від стороннього джерела і тиристорного пускового пристрою. Для пуску після зупинки менше ніж на дві години використання пари від стороннього джерела не потрібне.

На сьогоднішній день за своїми техніко-економічними показниками ПГУ-170 – реальна альтернатива існуючим пароенергетичним блокам у діапазоні потужностей 150...200 МВт. Сьогодні здійснені передпроектні роботи і виконане техніко-економічне обґрунтування реконструкції ГРЭС-24 та ТЭЦ-27 "Мосэнерго" з установкою ПГУ-170. Розрахунки показують, що даний проект окупиться протягом п'яти років з початку експлуатації.

Парогазова установка ПГУ-325

ПГУ-325 (рис. 3.3.15) – парогазова установка потужністю 325 МВт. Виконана за класичною схемою: два газотурбінних агрегати на одну парову турбіну, призначена для вироблення електричної і теплової енергії в базовому, напівпіковому та піковому класах застосування.

У комплект поставки ПГУ-325 входять: два газотурбінних агрегати ГТЭ-110 з турбогенераторами ТЗФГ-110-2 УЗ, котел-утилізатор П-88, одна паротурбінна установка К-110-6,4 з турбогенератором ТФП-110-2 УЗ і теплофікаційною установкою, автоматизована система керування, допоміжне устаткування.

У ролі котла для ПГУ-325 використовується двокорпусний котел двох тисків П-88 горизонтального типу з природною циркуляцією. Паропродуктивність контурів високого і низького тисків складає відповідно 315,0 та 72,8 т/год, загальна маса металічної частини котла – 2370 т, аеродинамічний опір котла – 250 мм вод.ст. Котел має наступні габарити: висоту по осі барабана 23,2 м, ши-

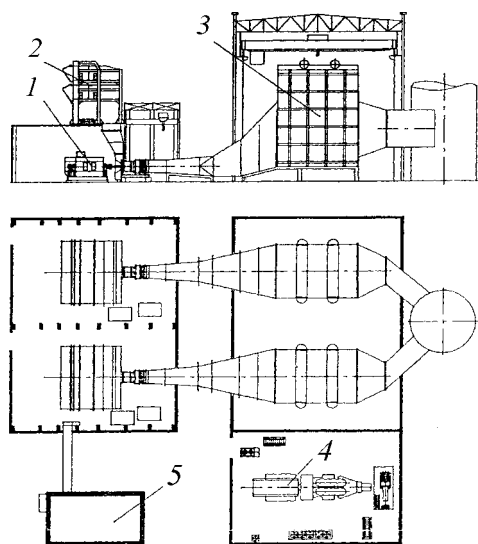


Рис. 3.3.15. Схема установки ПГУ-325:
1 – газотурбінний агрегат ГТЭ-110; 2 – повітроочисний пристрій; 3 – котел-утилізатор; 4 – паротурбінна установка; 5 – блоковий щит керування

рину по стояках каркаса 12,7 м, максимальну довжину по фланцях теплообмінного пучка 23 м.

У ПГУ-325 застосована парова турбіна конденсаційного типу К-100-6,4. Вона являє собою одновальний двоциліндровий агрегат, що складається з циліндрів високого і низького тисків. Для розташування всієї паротурбінної установки необхідне приміщення розміром 24×39 м. Номінальні характеристики цієї турбіни складають: потужність – 110,3 МВт, температура свіжої пари – 758 К, тиск свіжої пари – 6,72 МПа, витрата свіжої пари – 305 т/год, температура вторинної пари – 493 К, тиск вторинної пари – 0,66 МПа, витрата вторинної пари – 72 т/год, тиск у конденсаторі – 4,0 кПа, число відборів пари – 3, довжина – 16,8 м, ширина – 5,5 м, висота – 7,5 м, маса – 400 т. Тип регулювання дросельний.

Потужність установки регулюється подачею палива. Парова турбіна переходить у режим роботи на ковзному тискові, який залежить від витрати пари, з цілком відкритими регульовальними клапанами. При збереженні досить високого рівня економічності й абсолютного ККД установки потужність парової турбіни може бути знижена на 30...50 %.

Як основне паливо для установки використовується природний газ тиском 2,4 МПа. Можлива також робота на дизельному паливі П-0,5-62 за ГОСТ 305–82. Експлуатаційні характеристики установки ПГУ-325 зображені на рис. 3.3.16 і 3.3.17.

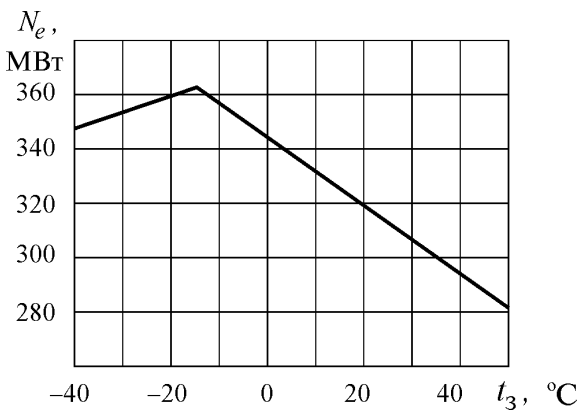


Рис. 3.3.16. Залежність потужності ПГУ-325 від температури зовнішнього повітря

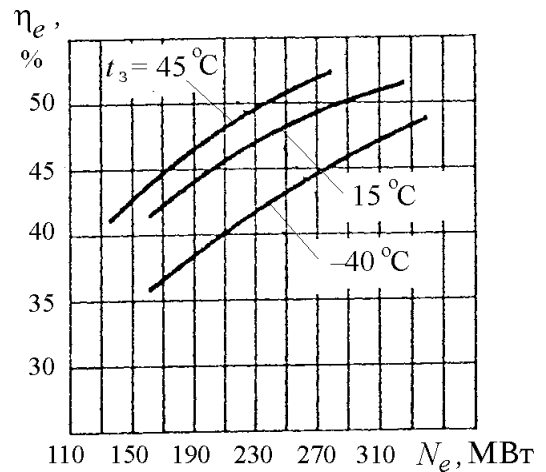


Рис. 3.3.17. Залежність ККД ПГУ-325 від потужності і температури зовнішнього повітря

Основні технічні характеристики ПГУ-325 наведені нижче:

Електрична потужність	325 МВт
У тому числі:	
газотурбогенераторів	215 МВт
паротурбогенератора	110 МВт

Температура газів:	
на вході в котел	797 К
на виході з котла	379 К
Параметри пари високого/низького тиску:	
витрата	305/72 т/год
тиск	6,72/0,66 МПа
температура	751/493 К
ККД електричний	51,7 %
Діапазон:	
робочих температур зовнішнього повітря	-40...+40 °С
автоматичної зміни навантажень	25...100 %
Викиди NO _x	не більше 50 мг/нм ³
Розрахунковий термін служби устаткування (за винятком ГТД)	40 років

Розробником газотурбінного агрегату є НВКГ "Зоря"- "Машпроект". Виготовлювачі: газотурбінної установки – ВАТ "НПО "Сатурн", паротурбінної установки – ВАТ "Ленинградский металлический завод", котлів-утилізаторів – ВАТ "Подольский машиностроительный завод", турбогенераторів – ВАТ "Электросила" (м. С.-Петербург).

У даний час ведуться роботи з розміщення двох установок ПГУ-325 на Іванівській ДРЕС. Будівництво планується завершити до 2008 р. Вартість проекту біля 9 млрд руб.

Література до підрозд. 3.3

1. Буров Н., Конюхов Г., Лютиков А. Создание энергетических установок на базе авиадвигателей Д-30КУ/КП // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6. – С. 17–19.
2. Галигузов В., Ведерников В., Яблоков А. Блочно-комплектная электростанция ГТЭС-2,5 ОАО "Рыбинские моторы" // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6. – С. 20–21.
3. Галигузов В., Мохов В. Применение ГТУ-6РМ и ГТУ-8РМ в составе теплоэлектростанций // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6. – С. 10–12.
4. Земцов А.С. Основные направления при проектировании новых и реконструкции существующих электростанций с применением газотурбинных и парогазовых технологий // Теплоэнергетика. – 2000. – № 10. – С. 19–22.
5. Кузменко М., Межибовский В., Телегин Г. Газотурбинная электростанция в Рыбинске введена в эксплуатацию // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 5. – С. 4–5.
6. Межибовский В. В новое тысячелетие с газовыми турбинами "Рыбинских моторов" // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 30–31.
7. Набиуллин Р., Непомнящий Л., Дашунин Н. ГПА-4РМ – высокоэффективный агрегат для станций ПХГ // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 6. – С. 12–13.
8. Назарова Е. Гражданские двигатели НПО "Сатурн" // Двигатель. – 2002. – № 1. – С. 14–16.

9. Новиков А.С., Миронов Ю.С., Шинкарев Ю.А. Разработки АО "Рыбинские моторы" для стационарной энергетики // Теплоэнергетика. – 1998. – № 4. – С. 20–27.
10. Первый отечественный одновальный парогазовый энергоблок ПГУ-170 / О.Н. Фаворский, В.И. Длугосельский, А.С. Земцов, С.Г. Трушин // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 2–7.
11. Результаты анализа различных вариантов тепловой схемы одновальной ПГУ-170 / А.Д. Гольдштейн, Т.Н. Комисарчик, Ю.Г. Корсов, В.М. Межибовский // Теплоэнергетика. – 2003. – № 6. – С. 49–54.
12. Чепкин В., Марчуков Е., Куприк В. Опыт конверсии авиационного ГТД в стационарный // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 1–2. – С. 14–16.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "НПО "Сатурн".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри двигунів Сатурн ГТД-6 і Сатурн ГТД-8.
4. Поясніть особливості конструкції і характеристики двигуна Сатурн ГТД-4.
5. Проаналізуйте склад і технічні характеристики розроблюваних на підприємстві газоперекачувальних агрегатів.
6. Розкрийте конструктивні особливості, технічні й експлуатаційні параметри двигуна Сатурн ГТД-10.
7. Дайте характеристику конструкції корабельних двигунів Сатурн М75РУ і Сатурн М70ФРУ.
8. Проаналізуйте будову і технічні параметри енергетичних та привідних двигунів, розроблюваних Науково-технічним центром ім. А.М. Люльки.
9. Поясніть будову й особливості розроблюваних ВАТ "НПО "Сатурн" парогазових установок.



3.4. ВАТ "Авиадвигатель" та ВАТ "Пермский моторный завод"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Авиадвигатель". <i>Адреса підприємства:</i> 614600, Росія, м. Перм, Комсомольський просп., 93. <i>Чисельність працюючих:</i> 2820 чол. (2002 р.).
	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Пермский моторный завод". <i>Адреса підприємства:</i> 614600, Росія, м. Перм, Комсомольський просп., 93. <i>Чисельність працюючих:</i> 6200 чол. (2002 р.).

3.4.1. Відомості про підприємства

Історія пермських моторобудівних підприємств веде свій відлік з 1 червня 1934 р., коли на споруджуваному заводі № 19 у Пермі був випробуваний перший зібраний зіркоподібний авіаційний поршневий двигун М-25, виготовлений за ліцензією фірми "Curtis–Wright" (США). У листопаді наступного року льотчиком В.К. Коккінакі на винищувачі ІІ-15 із двигуном М-25 був установлений перший радянський авіаційний світовий рекорд – рекорд висоти (14575 м). Надалі для великосерійного виробництва М-25 на заводі вперше у світі була застосована конвеєрна лінія (березень 1937 р.). У грудні 1935 р. заводу № 19 присвоюється ім'я Й.В. Сталіна.

Розвиток авіаційного двигунобудування в Пермі нерозривно пов'язаний з ім'ям Аркадія Дмитровича Швецова – головного конструктора підприємства з моменту ухвалення рішення про його створення (травень 1930 р.) по березень 1953 р. Під його керівництвом створене сімейство потужних зіркоподібних поршневих двигунів повітряного охолодження, які встановлювалися на літаки конструкції Полікарпова, Туполева, Лавочкина, Сухого, Ільюшина, Антонова, вертольоти Міля та Яковлева і відіграли важливу роль у перемозі над фашизмом та в післявоєнний час.

У передвоєнний період ДКБ заводу розробляє двигуни М-25В (модифікація М-25 збільшеної потужності) і М-62 для винищувачів ІІ-16 та ІІ-153. Для літаків Ли-2 і Ан-2 створюється двигун АШ-62ІР*, серійне виробництво якого почалося тільки після війни**.

11 грудня 1939 р. уряд СРСР приймає рішення про виділення ДКБ-19 зі складу заводу і надання йому статусу самостійного підприємства. Цей день вважається датою заснування ВАТ "Авиадвигатель".

* "АШ" – ініціали головного конструктора А.Д. Швецова.

** Ан-2 з 1947 р. дотепер експлуатується в Росії і за рубежом.

У роки Великої Вітчизняної війни завод перекрив свою проектну потужність у 12 разів і випустив більше 32 тис. двигунів. Для винищувачів Ла-5, Ла-7, бомбардувальника Ту-2 і штурмовика Су-2 в ДКБ-19 були створені двигуни АШ-82, АШ-82Ф та АШ-82ФН.

У післявоєнний період під керівництвом А.Д. Швецова розробляються двигуни:

АШ-73Т для стратегічного бомбардувальника Ту-4, який забезпечував висотність більше 10,5 км (1947 р.);

АШ-82Т для літака Ил-14 і АШ-2К з турбокомпресором ТК-2, що використовував енергію вихлопних газів (1951 р.). Ил-14 із двигунами АШ-82Т знаходиться в експлуатації дотепер;

АШ-82В та силові установки з редукторами Р-1, Р-2, Р-3, Р-4 для вертольота Як-24 і редуктором Р-5 для вертольота Ми-4 (1952 р.). Вертолёт Ми-4 експлуатується в будь-яких кліматичних зонах дотепер.

На початку 50-х років під керівництвом Павла Олександровича Соловйова, спадкоємця А.Д. Швецова, колектив ДКБ-19 приступив до створення авіаційної газотурбінної техніки. Кожен двигун цього періоду можна охарактеризувати словами "перший" та "кращий". Пермські моторобудівні підприємства закріпили свої позиції і стали постійними партнерами й постачальниками продукції для всесвітньо відомих фірм Туполева, Ільюшина, Мікояна, Міля та Мясищева.

Для вертольотів Ми-6 і Ми-10 у 1956–1959 рр. розробляється турбогвинтовий двигун Д-25В, а також силова установка і редуктор Р-7 – найпотужніший у світі вертолітний редуктор на той час. До 1960 р. закінчується створення першого вітчизняного двоконтурного турбореактивного двигуна Д-20П для літака Ту-124.

У січні 1962 р. Пермський моторобудівний завод ім. Й.В. Сталіна перейменовується в завод ім. Я.М. Свердлова. З 1965 р. ведеться виробництво турбогвинтового двигуна ТВ2-117 розробки ДКБ ім. В.Я. Климова для вертольота Ми-8.

У 1966 р. успішно проходить випробування двоконтурний турбореактивний двигун Д-30 для літака Ту-134 – найдосконаліший ТРДД свого часу, який став основою для розробки цілого сімейства видатних двигунів. За його створення головному конструктору П.О. Соловйову присвоюється звання Героя Соціалістичної Праці. У квітні того ж року ДКБ-19 перейменовується в Моторобудівне конструкторське бюро.

На базі Д-30 у 70-х роках створюються двигуни: Д-30КУ для далекомагістрального літака Ил-62М (1971 р.), Д-30КП для транспортного літака Ил-76 (1972 р.), перший вітчизняний двоконтурний двигун Д-30Ф6 з форсажною камерою і регульованим соплом для багаторежимного винищувача-перехоплювача МиГ-31 (1979 р.).

Гордістю заводу ім. Я.М. Свердлова є виробництво ракетних двигунів для космічної програми "Протон" – найбільш надійної ракетної системи у світі. Розвиток виробництва таких двигунів почався з 1957 р.

На основі заводу в квітні 1979 р. створюється Пермське виробниче об'єднання "Моторостроитель" ім. Я.М. Свердлова.

Черговим етапом у розвитку підприємств стало створення двигуна ПС-90А* (до 1987 р. – Д-90А), перший зразок якого був зібраний у грудні 1983 р. У даний час він піднімає в небо літаки нового покоління Ту-204, Ту-214, Іл-96-300 і новітню модифікацію транспортного літака Іл-76МФ.

У липні 1990 р. Моторобудівне конструкторське бюро перетворюється в Науково-виробниче об'єднання "Авиадвигатель". У 1992 р. на його основі утворене акціонерне товариство.

У 1992 р. піддається акціонуванню також ПВО "Моторостроитель": створюється ВАТ "Пермские моторы", яке в процесі поступової реструктуризації перетворилося в холдинг. У нього входять: ЗАТ "Каскад-ПМ", АТЗТ "ПМ-Авигаз", ВАТ "Протон-ПМ", ЗАТ "Редуктор-ПМ", ЗАТ "Инструментальный завод-ПМ" та ін. У 1997 р. газотурбінне виробництво ВАТ "Пермские моторы" було виділено в дочірнє підприємство – ВАТ "Пермский моторный завод", 49 % акцій якого належить підприємству "Пермские моторы", 26 % – ВАТ "Интеррос", 25 % – американській компанії "Aviam Holding Company" (представник компанії "Pratt & Whitney").

У 90-х роках освоюється виробництво двигуна для безпілотних літальних апаратів МД-120, створюються двигуни для висотного літака М-55 "Геофизика" та експериментального винищувача п'ятого покоління ДКБ Сухого С-37 "Беркут" із крилом зворотної стріловидності. У квітні 2002 р. підписаний контракт ВАТ "Авиадвигатель" з Російським авіаційно-космічним агентством про розробку двигуна ПС-90А2.

На початку 90-х років пермські підприємства починають займатися розробкою і створенням газотурбінних двигунів для наземного застосування. Уже в травні 1995 р. були проведені міжвідомчі випробування і передані в серійне виробництво газотурбінні установки ГТУ-2,5П і ГТУ-12П потужністю 2,5 та 12 МВт. З 1997 і 1998 рр. починається постачання замовникам установок ГТУ-4П та ГТУ-16. У 1999 р. завершені випробування і почалося виробництво нової газотурбінної установки ГТУ-10П, розробленої для підземних сховищ газу. У 2000 р. випробуваний перший екземпляр ГТУ-6П і в Башкортостані введена в експлуатацію ГТУ-ТЕЦ "Шигили" на базі електростанції "Урал-2500Р" пермської розробки і виробництва. 12 жовтня 2002 р. у м. Агідель відбувся пуск теплоелектростанції, у якій використовуються дві газотурбінні електростанції "Урал-4000".

Згідно з програмою "Урал-Газпром" у найближчі шість років пермські підприємства мають поставити на нові і реконструйовані об'єкти ВАТ "Газпром" більше 600 газотурбінних приводів, у тому числі і для оснащення компресорних станцій газопроводу "Голубой поток" (Росія–Туреччина). Пермські газотурбінні електростанції закупають для своїх потреб "Тюменьтрансгаз", "Сургутнефтегаз", "Норильский никель", "Башкирэнерго", "Пермэнерго", "Уренгойгазпром".

* "ПС" – ініціали головного конструктора П.О. Соловйова.

3.4.2. Продукція підприємств

Основною авіаційною продукцією підприємств є авіадвигун четвертого покоління ПС-90А, який успішно конкурує з кращими двигунами свого класу – PW2000 ("Pratt & Whitney", США) і RB211 ("Rolls–Royce", Великобританія).

Для цивільної авіації серійно також випускаються двигуни Д-25В, Д-30, Д-30КУ, Д-30КП, Д-30КУ-154, для винищувача-перехоплювача МиГ-31 – двигун Д-30Ф6. Для вертольотів Ми-8 виробляється турбогвинтовий ТВ2-117АГ.

Проектування і виготовлення газотурбінної техніки для промисловості є одними з найбільш динамічних напрямків діяльності пермських підприємств. Починаючи з 1992 р. різним замовникам, серед яких ВАТ "Газпром" і підрозділи РАТ "ЕЭС России", було поставлено більше 80 газотурбінних агрегатів різної потужності. Висока ефективність і надійність газотурбінного устаткування, створеного в Пермі, підтверджується в експлуатації.

На сьогоднішній день замовникам пропонуються газотурбінні агрегати потужністю 2,5...25,0 МВт та електростанції на їхній основі потужністю 2,5; 4 та 6 МВт. Проектуються газотурбінні агрегати потужністю 65, 80 та 180 МВт і енергоблоки потужністю 12 та 16 МВт. Газотурбінне устаткування може використовуватися в мобільних чи стаціонарних електростанціях, при будівництві нових чи реконструкції існуючих електростанцій.

З 2001 р. за контрактом з ДУП "Завод им. В.Я. Климova" для електростанцій ГТЭС-1,6 здійснюється постачання газотурбінних приводів потужністю 1,6 МВт, виконаних на основі вертолітних двигунів ТВ2-117.

Пропонуються інжинірингові послуги в галузі механіки, вібрацій, процесів горіння, міцності, аеродинаміки, комп'ютерного проектування, розробки і виготовлення деталей, вузлів та модулів авіаційних двигунів, газоперекачувальних агрегатів, газотурбінних електростанцій та агрегатів, установок і стендів для їхніх досліджень*.

Газотурбінні агрегати ГТУ-2,5П, ГТУ-4П та ГТУ-6П

Розроблені на основі авіаційного двигуна Д-30КУ/КП третьої серії, одного з найбільш надійних двигунів в історії світової авіації (рис. 3.4.1).

Д-30КУ і Д-30КП є двоконтурними турбореактивними двовальними двигунами. Вони виконані за однією конструктивною схемою і мають незначні відмінності.

Компресор двигуна Д-30КУ/КП двокаскадний, осьовий. Перший каскад (низького тиску) має три ступені (з них перший – надзвуковий) і приводиться в обертання турбіною низького тиску. Другий каскад (високого тиску) 11-ступінчастий,

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємств – www.avid.ru.

приводиться в обертання турбіною високого тиску. Міра підвищення тиску в КНТ складає 2,0 (Д-30КУ) і 2,8 (Д-30КП), у КВТ – 8,7 і 9,35, сумарна міра підвищення тиску – 17,4 і 19,5.

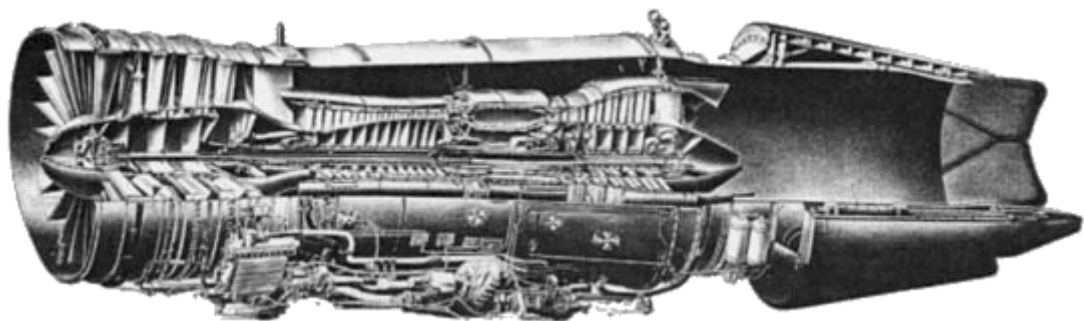


Рис. 3.4.1. Двоконтурний турбореактивний двигун Д-30КУ/КП

Компресор високого тиску має регульований вхідний напрямний апарат і клапани перепуску повітря за 5-м і 6-м ступенями. Напрямок обертання роторів лівий.

Камера згоряння трубчасто-кільцева з 12 жаровими трубами. У її конструкції передбачена можливість огляду і заміни жарових труб, газозбірників, форсунок та інших деталей при частковому розбиранні двигуна.

Турбіни двигуна осьові, реактивні. Диски, соплові і робочі лопатки обох ступенів ТВТ охолоджуються повітрям, у чотириступінчастій ТНТ охолоджуються тільки диски. Задня опора турбіни є силовим вузлом, на якому розташовуються деталі кріплення задньої підвіски двигуна до літака.

Агрегати, що забезпечують роботу двигуна, встановлені на двох коробках приводів, розташованих у його нижній частині.

У двигуні використовується електронна система запалювання, у яку входять агрегат запалювання і дві свічки поверхневого розряду. Масляна система двигуна автономна, нормально замкнута, циркуляційна. Усі її агрегати розташовані на двигуні.

На двигуні встановлені датчики контрольно-вимірювальної апаратури масляної системи і системи паливоподачі, положення регулювальних органів механізації компресора, температури газу за турбіною і т.д.

Серед достоїнств агрегатів ГТУ-2,5П, ГТУ-4П і ГТУ-6П, створених на основі Д-30КУ/КП, можна виділити: швидкий турбодетандерний запуск і прийом навантаження не більше ніж за 150 с; скидання 100 % номінального навантаження з автоматичним виходом на режим холостого ходу; енергонезалежність (забезпечення власних потреб від внутрішнього джерела до 5 кВт); низький рівень емісії; можливість використання енергії вихлопних газів для одержання тепла і пари; високі коефіцієнти готовності і технічного використання; зручність експлуатації, високу надійність, перевезення будь-яким видом транспорту; установлення чи зняття за 24 год силами виготовлювача або під його керівництвом; експлуатацію за тех-

нічним станом шляхом діагностики основних вузлів електронною системою; дистанційне керування з пульта оператора; забезпечення запасними частинами й інструментом, консультації і навчання обслуговуючого персоналу; технічне обслуговування протягом усього терміну експлуатації.

Створення ГТУ-2,5П (рис. 17Д) проходило в гранично короткий термін на замовлення ВАТ "Газпром". Протягом трьох років (з 1992 по 1995 р.) двигун був розроблений, пройшов міжвідомчі випробування і переданий у серійне виробництво.

Агрегат призначений для приводу генераторів мобільних, блочно-модульних і стаціонарних електростанцій. Можливе його застосування для приводу насосів, компресорів і т.д. У даний час використовується в електростанціях "Урал-2500" і при модернізації мобільних електростанцій ПАЭС-2500 та ЭГ-2500.

У 2000 р. проведена сертифікація агрегатів ГТУ-2,5П та ГТУ-4П на відповідність вимогам ГОСТу, який обмежує емісію оксидів азоту. Разом із сертифікатами ВАТ "Авиадвигатель" передані також п'ятилітні ліцензії на право маркування своєї продукції знаком відповідності екологічним вимогам. У даний час це єдині в Росії установки, що мають дані екологічні сертифікати.

Газотурбінний двигун, що входить до складу агрегату, виконаний за двовальною схемою з вільною силовою турбіною. Компресор осьовий, десятиступінчастий. Обидві турбіни осьові, двоступінчасті. Для зниження частоти обертання вихідного вала додатково встановлюється редуктор (табл. 3.4.1).

Таблиця 3.4.1. Основні технічні характеристики агрегатів ГТУ-2,5П, ГТУ-4П та ГТУ-6П

Параметри	ГТУ-2,5П	ГТУ-4П	ГТУ-6П
Потужність на валу редуктора, МВт	2,7	4,3	6,3
ККД на валу редуктора, %	21,8	24,8	26,9
Витрата повітря, кг/с	24,5	29,5	32,8
Міра підвищення тиску	6,0	7,3	8,5
Температура газу, К: початкова за ГТД	961 650	1075 705	1209 761
Частота обертання, об/хв: газогенератора силової турбіни	— 5500	9950	— 7000
Питома витрата паливного газу ($H_u = 50104$ кДж/кг), кг/(кВт·год)	0,330	0,290	0,267
Емісія NO _x (CO), мг/нм ³	50 (50)		
Ресурс, год: до капітального ремонту призначений	25000 100000		
Маса, т	3,5		—

Продовж. табл. 3.4.1

Параметри	ГТУ-2,5П	ГТУ-4П	ГТУ-6П
Габарити, м:			
довжина	4,7	6,8	—
ширина	2,0	2,0	—
висота	1,6	2,2	—

На початок травня 2001 р. було введено в експлуатацію більше 70 ГТУ-2,5П, вісім з яких мали напрацювання понад 20000 год кожен, а лідерна установка в селищі Ігрім Тюменської області – 37500 год.

Для утилізації природного газу, який залишається у виведеній з роботи ділянці газопроводу, шляхом перекачування його в паралельний газопровід на базі газотурбінного агрегату ГТУ-2,5П спроектована мобільна компресорна станція МКС-2500 "Урал".

Перший створений на замовлення ВАТ "Газпром" **газотурбінний агрегат ГТУ-4П** (рис. 18Д) потужністю 4 МВт пройшов міжвідомчі випробування і був зданий замовнику у складі теплоелектростанції "Янус" у 1997 р.

ГТУ-4П сьогодні застосовується також у складі електростанцій "Урал-4000", ГТЭС-4, ТЭС-4000.

Газотурбінний агрегат ГТУ-4П енергетичний, стаціонарний, простого відкритого циклу. Виконаний двовальним: перший вал – турбокомпресора і приводу агрегатів, другий вал – вільної силової турбіни з трансмісією і виносним силовим редуктором для приводу синхронного генератора.

Повітря в осьовий десятиступінчастий компресор двигуна надходить через спеціальну вхідну камеру після необхідного очищення від пилу і механічних частинок у повітроочисному пристрої.

Після відпрацювання в турбіні компресора і силовій турбіні (обидві осьові, двоступінчасті) продукти згоряння відводяться через спеціальний вихлопний пристрій у відповідний канал вихлопного тракту турбоблока.

Охолодне повітря забирається під кожух двигуна з приміщення енергоблока, проходить над гарячими корпусами турбокомпресора і силової турбіни та виводиться по окремому каналу через вихлопний пристрій за допомогою вентилятора електростанції (без змішування з потоком вихлопних газів).

На двигуні встановлена механізація компресора, яка забезпечує стійку роботу на всіх режимах навантаження: від холостого ходу до номінального (4,0 МВт) і максимального (4,8 МВт) включно. Усі переключення зазначеної механізації здійснюються автоматично згідно з приведеною частотою обертання ротора компресора.

Передбачені відбори підігрітого стиснутого повітря з проточної частини за компресором у протиобліднювальну систему двигуна, а також відбір повітря на потреби електростанції (приблизно 1 % на номінальному режимі).

Запуск двигуна здійснюється автоматично за відповідними програмами системи керування з допомогою турбодетандерного стартера, який змонтований на верхній коробці приводів двигуна і забезпечує необхідне початкове розкручування ротора турбокомпресора. Робоче тіло для запуску – природний газ або стиснене повітря. Розрахункова витрата робочого тіла пускового газу через стартер складає 1,5 кг/с при тиску 0,4...0,5 МПа. Час автоматичного запуску ГТД із прогрітого стану з виходом на режим холостого ходу не більше 150 с.

Паливо для двигуна – природний газ із робочим тиском на вході 1,4...1,6 МПа. Розрахункова номінальна витрата палива складає 1260 кг/год, максимальна – 1500 кг/год (у стандартних умовах). Можливе використання в ролі палива попутного нафтового газу за умови комплектації електростанції блоком підготовки паливного газу з додатковим його очищенням.

Запалювання палива на запуску здійснюється за допомогою агрегату ПВФ-22 і двох свічок запалювання, змонтованих на двигуні.

Редуктор Р-45, розташований перед вхідним пристроєм двигуна, служить для зниження частоти обертання вихідного вала до 3000 об/хв, необхідних для приводу синхронного генератора. Потужність з вала силової турбіни до генератора передається в редукторі трьома рівномірними потоками за двома ступенями зубчастих передач із шевронним зачепленням зубів.

Монтажні частини трансмісії "двигун–редуктор" і "редуктор–генератор" призначені для передачі потужності з вала ГТД до вала генератора і виконані з пружними пластинчастими муфтами "сухого" типу (без робочого змащення).

Трансмісія "редуктор–генератор" містить запобіжну фрикційну муфту, що обмежує крутний момент на валу редуктора і запобігає поломці при різкому збільшенні навантаження генератора (при короткому замиканні в мережі генератора і т.п.).

Система змащення агрегату циркуляційна. Містить у собі: витратні маслобаки, що забезпечують безупинну роботу протягом 5000 год; повітряні маслоохолоджувачі; систему фільтрів; циклонні маслоуловлювачі в системі суфлювання; арматуру, що забезпечує роботу системи, контроль і керування; систему підігріву масла в маслобаках до температури не нижче +20 °С; трубопроводи.

Система змащення роздільна для двигуна і редуктора*. Безповоротні втрати масла складають 0,5 кг/год, у тому числі в системі змащення ГТД – 0,3 кг/год, редуктора – 0,2 кг/год.

Основні технічні характеристики ГТУ-4П наведені в табл. 3.4.1.

Подальшим розвитком наземних енергетичних агрегатів, створюваних ВАТ "Авиадвигатель" на основі авіаційного двигуна Д-30, став **газотурбінний агрегат ГТУ-6П**.

Збільшення потужності і коефіцієнта корисної дії ГТУ-6П порівняно з ГТУ-4П досягнуто шляхом форсування режимів ГТУ-4П для найповнішого використан-

* Для електрогенератора змащення теж окреме.

ня потенціалу базового Д-30, а також шляхом реалізації нових конструкторських рішень. До останніх належать:

у компресорі – удосконалення лабіринтів, зменшення радіальних та осьових зазорів, полірування лопаток, удосконалювання надроторного пристрою;

у турбіні компресора – зменшення радіальних зазорів по робочих і соплових лопатках, стоншення вихідних крайок робочих і соплових лопаток;

у силовій турбіні – зменшення радіальних зазорів по лопатках, стоншення вихідних крайок лопаток, підвищення частоти обертання до 7000 об/хв.

З 2000 р. агрегат знаходиться в дослідно-промисловій експлуатації. Надалі планується використовувати його в електростанціях "Урал-6000" та ЭГ-6000.

Газотурбінний двигун, як і в агрегатах ГТУ-2,5П та ГТУ-4П, виконаний двовальним із вільною силовою турбіною. Для зниження частоти обертання вихідного вала додатково встановлюється редуктор.

Основні технічні характеристики ГТУ-6П наведені в табл. 3.4.1.

У лютому 2003 р. сумарне напрацювання в експлуатації газотурбінних агрегатів ГТУ-2,5П, ГТУ-4П та ГТУ-6П перевищило 1 млн год. Електростанції з цими двигунами виробили близько 3 млрд кВт·год електроенергії.

У даний час ведуться роботи зі створення поліпшених модифікацій ГТУ-4ПМ та ГТУ-6ПМ, які при тій же вироблюваній потужності будуть мати ККД відповідно 27,1 і 29,7 %.

Газотурбінні електростанції "Урал-2500", "Урал-4000" та "Урал-6000"

Призначені для виробництва електроенергії і забезпечення нею промислових та побутових споживачів, а при використанні котла-утилізатора – для спільного виробництва електричної енергії, гарячої води і пари*.

Основними вузлами електростанції є газотурбінний двигун (ГТУ-2,5П, ГТУ-4П або ГТУ-6П) і генератор (виробництва ВАТ "Привод"), розміщені в шумо-теплоізолюючому укритті. Електростанції укомплектовані необхідними системами забезпечення (паливною, пусковою, масляною та ін.) і допоміжними пристроями, мають блочно-модульну конструкцію, розміщаються на відкритих площадках чи в капітальному будинку, можуть використовуватися як основне або резервне джерело живлення, працювати автономно чи паралельно з іншими джерелами електроенергії або з енергосистемою. Електростанції оснащені комплексом контролю і керування КУЭС-2500Р, розробленим ВАТ "СТАР" (м. Перм).

Відмітними рисами електростанцій "Урал" є швидка окупність, висока надійність, екологічна чистота, блочно-модульна конструкція, невеликі габарити і вага, зручність транспортування, швидкий монтаж, автономність (табл. 3.4.2).

* Газотурбінна установка електричною потужністю 4 МВт може забезпечити електроенергією і теплом селище з населенням 7...8 тис. чол.

Таблиця 3.4.2. Основні технічні характеристики електростанцій "Урал"

Параметри	"Урал-2500"	"Урал-4000"	"Урал-6000"*
Потужність, МВт: на клеммах генератора потенційна теплова (при зни- женні температури вихлопних газів до 110 °С)	2,6 7,1	4,2 9,9	6,1 13,5
Коефіцієнт використання енергії палива (з утилізацією), %	79,0	81,0	83,1
Напруга, В	6300/10500		
Частота струму, Гц	50±0,5		
Частота обертання ротора гене- ратора, об/хв	3000		
Рівень шуму на відстані 1 м, дБ	80		
Маса загальна/найбільш важкого блока, т	50/35	60/40	65/45

* У стадії розробки.

Перша електростанція серії "Урал" потужністю 4 МВт (тоді ще за назвою "Урал-2500Р") була поставлена в грудні 2000 р. для ГТУ-ТЕЦ "Шигили" ВАТ "Башкирэнерго" у селищі Большеустюкінському. У ході проведених комплексних досліджень визначалася експлуатаційна емісія шкідливих речовин. Виміри викидів NO_x здійснювалися на режимах 2000...4400 кВт, СО – на режимах 4000...4400 кВт. Викиди NO_x склали 10...29 мг/нм³, СО – 54...75 мг/нм³. Рівень шуму при роботі ГТУ-ТЕЦ відповідає вимогам СН 2.2.4/2.1.8.562–96 і складає: 75...80 дБ в енерго-цехах та операторській кабіні, 35...45 дБ у житловій зоні. Собівартість відпущеної електроенергії (без обліку амортизаційних відрахувань) складала близько 0,12 руб/(кВт·год).

Дві електростанції "Урал-4000" сумарною потужністю 8 МВт ввійшли до електромережі Республіки Башкортостан у м. Агідель у жовтні 2002 р.

Газотурбінний агрегат ГТУ-10П

Газотурбінний агрегат ГТУ-10П (рис. 19Д) потужністю 10 МВт створений на базі ГТУ-12П. Застосовується у складі блочно-комплектних газоперекачувальних агрегатів на дотискних компресорних станціях і станціях підземного зберігання газу ГПА-10 "Урал" виробництва ВАТ "НПО "Искра" (м. Перм), а також при реконструкції існуючих агрегатів ГПА-Ц-6,3 та ін.

Двигун виконаний за двовальною схемою. Відмінною рисою конструкції

Агрегати виробництва підприємств Росії

є високооборотна вільна силова турбіна, яка забезпечує високу ефективність нагнітача і дозволяє мати уніфікований газогенератор із ГТУ-12П (табл. 3.4.3).

Таблиця 3.4.3. Характеристики агрегатів на основі двигуна ПС-90А (в умовах ISO 2314)

Параметри	Марки агрегатів						
	ГТУ-10П	ГТУ-12П	ГТУ-12ПЭР	ГТУ-16П	ГТУ-16ПЭР	ГТУ-25П	ГТУ-25ПЭР
Параметри на валу силової турбіни * :							
потужність, МВт	10,3	12,4	12,7	16,5	16,8	25,6	25,3
ККД, %	34,7	34,6	33,7	37,0	35,6	40,0	38,6
Витрата повітря, кг/с	44,2	45,7	45,5	57,0	55,9	80,4	80,0
Міра підвищення тиску	14,6	16,9	16,9	19,6	19,5	28,5	28,0
Паливо	Природний газ						
Температура газів, К:							
початкова	1250	1363	1399	1416	1480	1512	1545
за ГТД	688	743	766	739	768	724	744
Частота обертання силової турбіни, об/хв	9000	6500		5300		5000	
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах, мг/м ³	–	90 (50)		100 (50)		150 (50)	
Ресурс, год:							
до капітального ремонту	25000						
призначений	100000						
Габарити, м:							
довжина	–	7,0	–	7,0	–	–	–
ширина		3,2		3,2			
висота		3,8		3,8			
Маса, т	–	4,0	–	4,0	–	5,25	–

^{*} Для ГТУ-12ПЕР, ГТУ-16ПЕР та ГТУ-25ПЕР потужність і ККД – на валу редуктора.

Газотурбінні агрегати ГТУ-12П та ГТУ-12ПЕР

Однокаскадний з вільною силовою турбіною агрегат **ГТУ-12П** потужністю 12 МВт створений на базі газогенератора вискоефективного авіаційного двигуна ПС-90А – єдиного російського двигуна четвертого покоління для цивільної

авіації, що має сертифікат міжнародного зразка*. Міжвідомчі випробування агрегату, роботи над яким почалися в 1992 р., були проведені в травні 1995 р., після чого він був переданий у серійне виробництво.

Базовий ПС-90А являє собою двоконтурний турбореактивний двигун (рис. 3.4.2). Компресор двигуна осьовий, двовальний, лівого обертання. Складається з одного трансзвукового вентиляторного ступеня, двох підірних ступенів низького тиску, розділювального корпусу і 13-ступінчастого компресора високого тиску. Повітря, стиснуте в компресорі, також використовується для охолодження деталей гарячої частини двигуна, наддування порожнин ущільнень підшипникових вузлів, регулювання радіальних зазорів над робочими лопатками КВТ і турбіни, роботи агрегатів автоматики двигуна та протиобліднювальної системи.

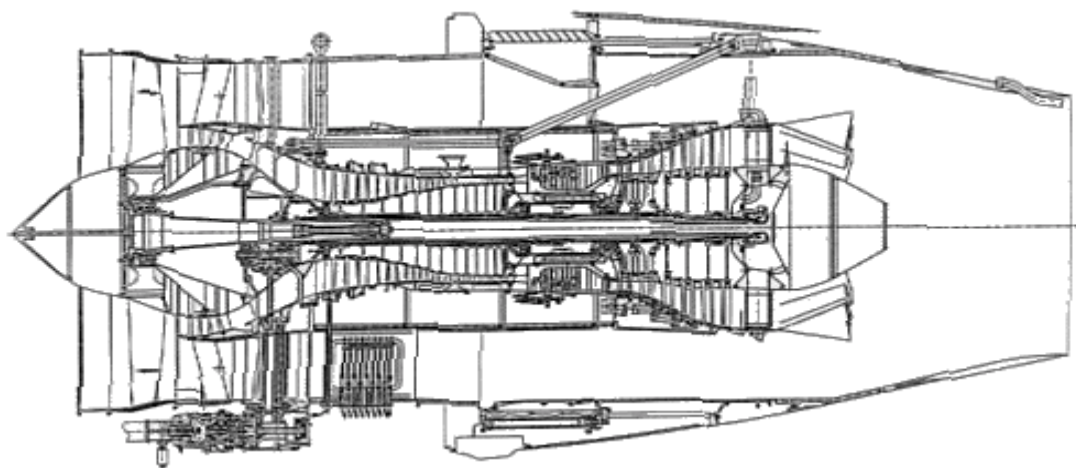


Рис. 3.4.2. Двоконтурний турбореактивний двигун ПС-90А

Для забезпечення газодинамічної стійкості компресора у всьому діапазоні експлуатаційних режимів лопатки вхідного напрямного апарата і напрямних апаратів перших двох ступенів КВТ виконані поворотними, за підірними ступенями КНТ встановлені заслінки перепуску повітря, за 6-м і 7-м ступенями КВТ – клапани перепуску повітря із внутрішнього контуру в зовнішній. Поворот лопаток напрямних апаратів і перепуск повітря здійснюються по заданій програмі системою керування компресором, яка входить до складу системи автоматичного керування двигуном.

Камера згоряння трубчасто-кільцева, її основними деталями є корпус, внутрішній кожух, 12 жарових труб, кільцевий газозбірник та кожух вала. На корпусі встановлені 12 паливних форсунок і колектори першого та другого контурів з 24 трубопроводами підведення палива до форсунок.

* Перший з ряду двигунів потужністю 7, 10, 12, 16 і 25 МВт, створених на основі ПС-90А.

Корпус і внутрішній кожух утворюють кільцевий канал, у якому розташовуються жарові труби і кільцевий газозбірник. Кожна жарова труба складається з паливоповітряної насадки, головки, шести секцій, семи гофрованих кілець і заднього фланця, зварених між собою.

Секції і гофровані кільця утворюють стінки жарових труб. Для їхнього охолодження в щілини між гофрованими кільцями і секціями надходить повітря. У стінках жарових труб виконано три ряди отворів для підведення повітря в зони горіння і змішання. У першій секції 3-ї і 10-ї жарових труб установлені свічки для запалювання палива при запуску. Запалювання палива в інших жарових трубах відбувається через полум'єперекидаючі патрубки.

Жарові труби закінчуються фланцями рамкового типу. За бічними поверхнями фланців вони стикуються між собою, а за верхніми і нижніми поверхнями телескопічно сполучаються з кільцями газозбірника. Крім перерахованих, до нових конструктивних рішень у камері згоряння можна віднести наявність паливоповітряних насадок та душове охолодження свічок.

Кожух вала утворює теплоізольовану порожнину, у яку стікає масло після змащення й охолодження кулькового підшипника ротора КВТ, роликового підшипника ротора ТВТ і переднього підшипника ротора ТНТ. До задньої частини кожуха вала прикріплені трубопроводи відкачування масла від роликового підшипника ротора ТНТ і підведення повітря через підпірні ступені компресора в задню повітряну порожнину кожуха вала для наддування лабіринтів.

Турбіни двигуна осьові, дво- і чотириступінчасті. Для зниження вібраційних навантажень корпусів двигуна опори роликових підшипників виконані пружно-демпферними. Найбільш нагріті деталі турбін охолоджуються повітрям. Система охолодження корпусів турбін виконує також функцію керування радіальними зазорами між торцями робочих лопаток і кільцями соплових апаратів. Обдування корпусів регульоване, що забезпечує мінімальні зазори в турбіні на робочих режимах. Для забезпечення експлуатаційної технологічності турбінна частина має модульну конструкцію.

Двигун обладнаний системами паливопостачання й автоматичного керування, змащення і суфлювання, пускового відбору повітря, системами активного керування радіальними зазорами компресора і турбіни, протипомпажною, бортовою системою контролю і діагностування, пірометричною системою обмеження температури робочих лопаток першого ступеня турбіни, автоматичною системою регулювання подачі повітря для охолодження робочих лопаток і дисків ТВТ, замкнутою системою дренажу палива й масла. Для зниження рівня шуму в корпусах двигуна, які утворюють його проточну частину, застосовані звуковбирні стільникові конструкції.

Створений на базі ПС-90А промисловий двигун ГТУ-12П оснащений осьовим 13-ступінчастим компресором і двома осьовими турбінами, відповідно дво- і триступінчастими (див. табл. 3.4.3). У конструкцію базового газогенератора були введені принципові зміни: спроектовано новий вхідний корпус, застосовані більш

дешеві матеріали лопаток і дисків турбіни, стовщені корпуси компресорів, камери згоряння та турбіни, розроблені нова форсунка, фронтний пристрій і жарові труби в камері згоряння.

Силова турбіна і задня опора були спроектовані заново з урахуванням вимог до промислових установок. Підшипникові вузли і трансмісія силової турбіни були виконані з відповідними запасами міцності.

У даний час застосовується в складі блочно-комплектного газоперекачувального агрегату ГПА-12 "Урал" виробництва ВАТ "НПО "Искра" і при реконструкції існуючих газоперекачувальних агрегатів ГТК-10, ГПА-Ц-16, "Coberra-182", СТД-12500 та ін.

ГТУ-12ПЭР є модифікацією агрегату ГТУ-12П, призначеною для приводу генератора електричного струму. Для зниження частоти обертання вихідного вала двигуна (до необхідних 3000 об/хв) застосовуються надійні редуктори фірми "Renk" (Німеччина).

Відмітними рисами ГТУ-12П і ГТУ-12ПЭР є: високий ККД; низька питома витрата масла; високі ресурсні показники; надійний турбодетандерний запуск; низька вартість обслуговування і ремонту протягом усього життєвого циклу; повна автоматизація технологічних процесів, простота керування й обслуговування; повна заводська готовність, мінімальні витрати і швидке введення в експлуатацію; гарні екологічні показники.

Показники надійності за результатами експлуатації агрегатів ГТУ-12П та ГТУ-12ПЭР відповідають кращим світовим аналогам.

Газотурбінні агрегати ГТУ-16П та ГТУ-16ПЭР

Газотурбінний агрегат **ГТУ-16П** потужністю 16 МВт (рис. 3.4.3) виконаний за однокаскадною схемою з вільною силовою турбіною. Створювався на основі



газогенератора авіаційного двигуна ПС-90А та ГТУ-12П. Має більш високі параметри циклу (число ступенів осьового компресора збільшене до 14) і силову турбіну, адаптовану за параметрами для існуючих газоперекачувальних агрегатів*.

Застосовується у складі блочно-комплектного газоперекачувального агрегату ГПА-16 "Урал" виробництва ВАТ "НПО

Рис. 3.4.3. Газотурбінний агрегат ГТУ-16П

* Турбіна компресора і силова турбіна мають відповідно два і три ступені.

"Искра" і при реконструкції існуючих газоперекачувальних агрегатів ГТК-10, ГПА-Ц-16, ГПУ-16, "Соберга-182", ГПА-10 та ін.

Модифікацією ГТУ-16П, що була розроблена для блочно-комплектного варіанта газоперекачувального агрегату ГПА-16 "Урал", є двигун ГТУ-16ПЦ. Для реконструкції газоперекачувальних агрегатів ГПУ-16 розроблена модифікація ГТУ-16ПТ. Перші ГТУ-16П стали поставлятися замовникам після проведення міжвідомчих випробувань у 1998 р.

ГТУ-16ПЭР є енергетичним варіантом агрегату ГТУ-16П. Для зниження частоти обертання між двигуном і генератором установлюється редуктор (виробництва німецької фірми "Renk").

Агрегати ГТУ-16П та ГТУ-16ПЭР уніфіковані і цілком взаємозамінні з ГТУ-12П і ГТУ-12ПЭР, володіють усіма їхніми перевагами, відрізняються високою надійністю, невеликими габаритами і вагою, модульною конструкцією, характеристиками на рівні світових стандартів (див. табл. 3.4.3).

Газотурбінні агрегати ГТУ-25П та ГТУ-25ПЭР

ГТУ-25П потужністю 25 МВт (рис. 20Д) розробляється відповідно до програми "Урал-Газпром-2" на базі авіаційного двигуна ПС-90А з використанням досвіду проектування й експлуатації ГТУ-12П та ГТУ-16П. Планується його застосування у складі блочно-комплектного газоперекачувального агрегату ГПА-25 "Урал" виробництва ВАТ "НПО "Искра" і при реконструкції існуючих агрегатів ГТН-25 та ін. Має всі переваги базових газотурбінних агрегатів. Відрізняється невеликими габаритами і масою, модульною конструкцією, характеристиками, що відповідають світовим стандартам (див. табл. 3.4.3).

Двигун тривальний. Осьовий компресор складається з двох каскадів, що мають відповідно 3 і 12 ступенів. Турбіни осьові. Турбіна високого тиску двоступінчаста, низького тиску – одноступінчаста, силова – триступінчаста.

До складу агрегату крім газотурбінного двигуна входять також трансмісія із "сухими" пружними муфтами та електронна система керування і контролю.

У серпні 2003 р. було почато монтаж зразка двигуна на компресорній станції "Ігринська" ТОВ "Пермтрансгаз" з метою заміни агрегату ГТН-25. У кінці 2003 р. проведені міжвідомчі випробування й одержаний висновок про доцільність серійного виробництва.

Для приводу генератора електричного струму розроблена модифікація **ГТУ-25ПЭР**. Для зниження частоти обертання вихідного вала двигуна між ним і генератором установлюється редуктор фірми "Renk" (Німеччина).

Газотурбінний агрегат ГТЭ-65П

Мета програми створення ГТЭ-65П (рис. 3.4.4) – проектування й освоєння серійного виробництва високоекономічного екологічно чистого газотурбінного агре-

гату потужністю 65 МВт, впровадження якого на існуючі теплоелектроцентралі дозволить збільшити ККД цих об'єктів до 40...45 %, а при використанні в парогазовому конденсаційному циклі – одержати ККД 53...55 %.

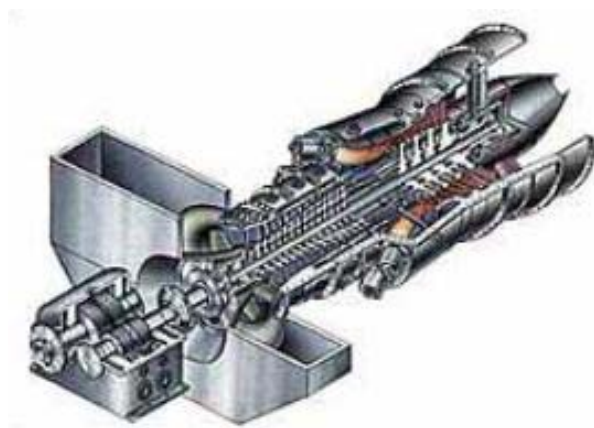


Рис. 3.4.4. Газотурбінний агрегат ГТЭ-65П

ГТЭ-65П створюється відповідно до "Вихідних технічних вимог на газотурбінну установку потужністю 60...80 МВт", погоджених між РАО "ЕЭС России" і ВАТ "Авиадвигатель".

Проектування здійснюється на основі моделювання компресора авіаційного двигуна ПС-90А.

ГТЭ-65П може експлуатуватися в простому і парогазовому циклах, у базовому, напів-

піковому та піковому варіантах використання.

Технічні рішення, що закладаються при розробці ГТЭ-65П, дозволяють надати шляхом зміни параметрів робочого циклу одержати модифіковану газотурбінну енергетичну установку ГТЭ-80П потужністю 80 МВт.

Основні характеристики ГТЭ-65П та ГТЭ-80П (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

	ГТЭ-65П	ГТЭ-80П
Параметри на клеммах генератора:		
потужність, МВт	66,6	77,6
ККД, %	36,3	37,0
Витрата повітря, кг/с	191	208
Міра підвищення тиску	16,0	17,6
Паливо	природний газ	
Температура газів, К:		
початкова	1550	—
за ГТД	817	833
Частота обертання ротора, об/хв	3000	

Парогазова установка, створена на базі одного ГТЭ-65П і парової турбіни, буде мати сумарну потужність 99 МВт при ККД 54 %.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-180П

Розробляється для РАО "ЕЭС России" разом з ВАТ "Ленинградский металлический завод".

При проектуванні ГТЭ-180П використовується досвід ВАТ "ЛМЗ" із створення і доведення енергетичної установки ГТЭ-150, знання, накопичені ВАТ "Авиа-

двигатель" при розробці високонавантажених компресорів і охолоджуваних високотемпературних турбін та науково-технічний потенціал ВАТ "Всероссийский теплотехнический институт" у галузі турбобудування.

Газотурбінний агрегат призначений для експлуатації в базовому, піковому і напівпіковому режимах, як автономно, так і у складі парогазових установок різного типу.

ГТЭ-180П (рис. 3.4.5) виконано одновальним за простим термодинамічним циклом. Компресор осьовий, 13-ступінчастий. Його проточна частина була змодельована відповідно до законів аеродинамічної подібності з компресора високого тиску авіаційного двигуна ПС-90А. Ротор компресора має дискову конструкцію. Він оснащений трьома поворотними напрямними апаратами, включаючи вхідний, котрі забезпечують зміну витрати через двигун у діапазоні 70...100 % без істотного зниження ККД. Два ряди антипомпажних клапанів гарантують стійкий пуск і зупинку ГТД.

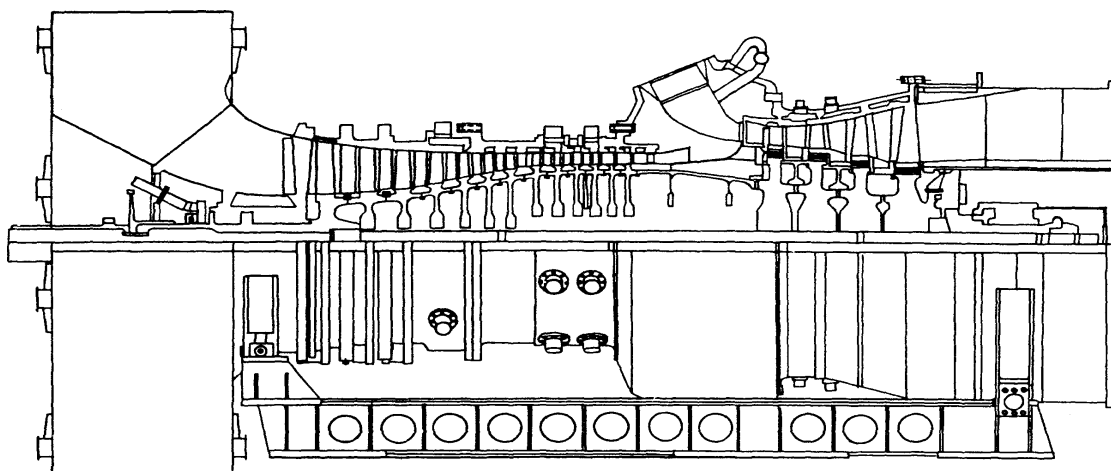


Рис. 3.4.5. Газотурбінний агрегат ГТЭ-180П

Камера згоряння виконана трубчато-кільцевою, двопаливною (основне паливо – природний газ, резервне – рідке паливо) із протитоківими жаровими трубами і малотоксичними пальниками для природного газу. Конструкція камери згоряння забезпечує можливість огляду і заміни пальникових пристроїв без розкриття турбогрупи.

Вміст оксидів азоту у вихлопних газах ГТД при роботі на газі з навантаженнями 0,5...1,0 номінальної потужності відповідає вимогам ГОСТ 29328 і не перевищує 50 мг/м³ (за нормальних умов). При роботі на рідкому паливі передбачена можливість зменшення викидів NO_x за допомогою упорскування води до значення, що не перевищує 100 мг/м³.

Осьова чотириступінчаста турбіна виконана з сімома охолоджуваними вінцями. Ефективність конвективно-плівкового охолодження 1-го ступеня підтверджена результатами, отриманими при дослідженні моделей.

Робочі лопатки литі, на 1-му ступені монокристалічні, на інших – зі спрямованою кристалізацією. Використовуються термобар'єрні й антикорозійні покриття облопачування. Робочі лопатки 2–4-го ступенів виконані з бандажними полицями, що замикаються на коло. Соплові лопатки цих ступенів відливаються блоками по дві-три лопатки у блоці.

Вихідна швидкість після 4-го ступеня турбіни відновлюється в осьовому неохолоджуваному дифузорі з жаростійкого матеріалу. Ротор турбіни дисковий з хіртовим зачепленням. Він поєднується з дисками ротора компресора через вставку за допомогою центральної стяжки, при цьому утворюється спільний ротор турбогрупи, який спирається на два підшипники: на вході в компресор і на виході з турбіни.

Задня турбінна опора восьмистоякова, лита, з комунікаціями для підведення і відведення повітря й масла. Силові стояки відділені від тракту гарячих газів зовнішнім вентильованим жаростійким облицюванням. Опорні підшипники виконані з гідропідйомом ротора. Упорний підшипник, виконаний двостороннім самовстановлюваним, розташовується з боку компресора.

Газотурбінний агрегат оснащений швидкохідним гідравлічним валоповоротним пристроєм. Для керування агрегатом використовується автоматична електронно-гідравлічна система, інтегрована до складу системи керування всього енергоблока. Вона забезпечує автоматичний пуск ГТД із виходом на режим заданого навантаження, надійну й економічну роботу його систем та устаткування на всіх заданих режимах з автоматичним відпрацьовуванням команд, що надходять від системи керування блока, і видачею інформації про стан ГТД. Газотурбінний агрегат містить у собі систему контролю і захисту від вібрації. Керування здійснюється дистанційно з центрального пульта на всіх режимах експлуатації.

Газотурбінний агрегат має єдину систему змащення турбогрупи й електричного генератора, пристосовану для роботи на мінеральному маслі марки Тп-22с за ТУ 38.101821–83 або Тп-22Б за ТУ 38.401-48-58–92.

Подача масла в систему змащення здійснюється двома відцентровими електронасосами змінного струму (один з них резервний), які забезпечують надлишковий тиск масла 0,12 МПа на рівні осі ГТД.

При знеструмленні для забезпечення власних потреб у ролі аварійного масляного насоса використовується електронасос постійного струму, який живиться від акумуляторної батареї.

Розкручування ротора ГТД при пуску здійснюється власним електричним генератором, що живиться через тиристорний пусковий пристрій.

Газотурбінний агрегат спроектований на стандартні показники надійності і ресурс. Коефіцієнти готовності, технічного використання і безвідмовності пусків складають не менше 98, 92 і 95 % відповідно.

Протягом міжремонтного періоду середнє напрацювання на відмову в базовому класі використання не менше 3500 екв. год.

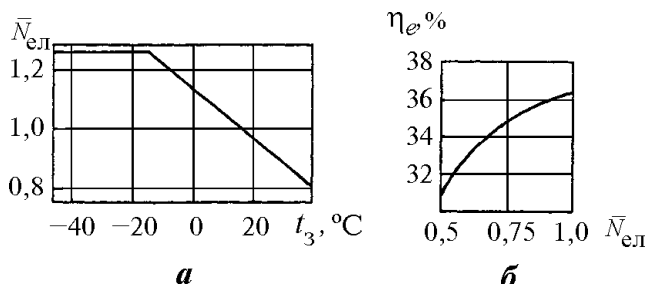
Середній ресурс ГТЭ-180П між капітальними ремонтами для класів використання складає: базового – 25000 екв. год; пікового – 1000 пусків.

Призначений ресурс для класів використання: базового – 100000 екв. год; пікового – 5000 пусків.

Маса агрегату в обсязі постачання складає 300 т, у тому числі турбогрупи на фундаментній рамі – 140 т. Маса найбільш важкої частини, переміщуваної при ремонті (облопачуваний ротор), – 40 т.

Експлуатаційні характеристики ГТЭ-180П зображені на рис. 3.4.6.

Рис. 3.4.6. Залежність потужності від температури зовнішнього повітря (а) і ККД ГТЭ-180П від потужності (б)



Основні технічні характеристики ГТЭ-180П (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

Параметри на клеммах генератора:

потужність	178,2 МВт
ККД	36,7 %
Міра підвищення тиску	15
Витрата повітря	516 кг/с
Паливо	природний газ
Температура газу:	
початкова	1523 К
за ГТД	820 К
Частота обертання ротора	3000 об/хв
Довжина	16,8 м

Головний зразок агрегату планувалося виготовити до кінця 2003 р., його монтаж і дослідження провести в першому півріччі 2004 р.

АТ "Мосэнерго" проробило установку головного ГТЭ-180П на ГРЭС № 3 ім. Р.Е. Классона замість однієї з ГТЭ-150. Загальна сума необхідних для цього витрат, включаючи розробку, виготовлення, монтаж, дослідження та освоєння агрегату, а також його досліду експлуатацію протягом року, складе близько 30 млн дол. або 180 дол/кВт установленної потужності. Вартість серійних ГТЭ-180П складе 15, а агрегатів з електрогенератором – 18,5 млн дол., що майже в два рази менше, ніж для закордонних установок аналогічного класу.

Параметри ГТЭ-180П дозволяють ефективно використовувати його в різних установках комбінованого циклу.

Пророблені бінарні парогазові установки потужністю 270 і 540 МВт з одним чи двома агрегатами. Вони можуть бути виконані з триконтурною паровою частиною і проміжним перегрівом пари.

Характеристики парогазових установок на основі ГТЭ-180П наступні:

	ПГУ-270	ПГУ-540
Потужність, МВт:		
газотурбогенераторів	177,5	2×177,5
паротурбогенератора	93,3	186,5
ПГУ (брутто)	270,8	541,5
ПГУ (нетто)	267	535
Витрата потужності на власні потреби ПГУ, МВт	3,3	6,5
ККД на клемах генераторів, %	55,3	55,4
Питома витрата умовного палива, кг/(кВт·год)		0,222
Температура газів за котлом-утилізатором, К		380

ПГУ-270 виконана за схемою моноблока: один ГТЭ-180П та одна парова турбіна типу К-100 працюють на один спільний електрогенератор. Варіант компонування такого моноблока з генератором, розташованим між ГТД і паровою турбіною, наведений на рис. 3.4.7.

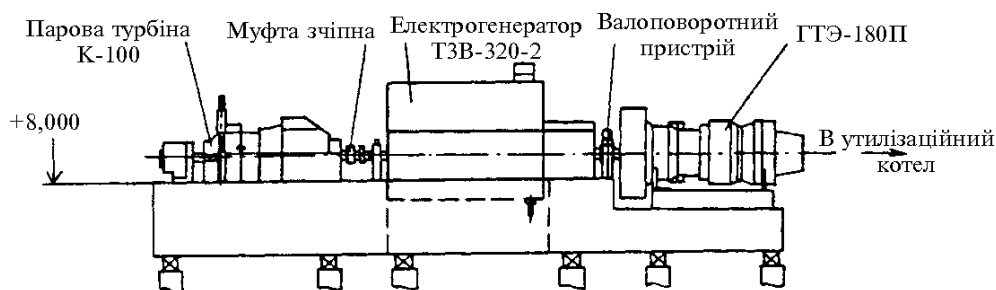


Рис. 3.4.7. Варіант компонування моноблока ПГУ-270

ПГУ-540 містить у собі два агрегати ГТЭ-180П, два котли-утилізатори й одну паротурбінну установку. Газотурбінні агрегати і парова турбіна обертають кожні свій електричний генератор та утворюють три незалежних вали. Залежно від навантаження в роботі може знаходитися один чи два агрегати ГТЭ-180П.

Бінарні ПГУ можуть бути використані для нового будівництва і технічного переозброєння великих діючих теплових електростанцій, наприклад з паротурбінними блоками К-300.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-180П може бути застосований також для надбудови діючих паротурбінних блоків. Для енергоблоків потужністю 800 МВт доцільна їхня надбудова двома ГТЭ-180П зі скиданням вихлопних газів в енергетичний котел. У цьому випадку потужність енергоблока зростає до 1050...1100 МВт, а його ККД – до 49...50 %.

На базі ГТЭ-180П передбачається розвиток ряду економічних конкурентоспроможних газотурбінних агрегатів. Планується створення агрегату потужністю 250 МВт (ГТЭ-250П).

Література до підрозд. 3.4

1. Дическул М., Дурыманов В. Первый миллион часов пермских газотурбинных установок // Двигатель. – 2003. – № 1. – С. 6–7.
2. Иноземцев А. Газотурбинные установки ОАО "Авиадвигатель" // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 1. – С. 15–17.
3. Полатида С., Алексенцев А. Опыт доводки газотурбинных установок // Двигатель. – 2002. – № 2. – С. 6–7.
4. Пыхтеев В., Решетников Ю., Чичелов В. Пермские ГТУ на рынке газовых турбин // Двигатель. – 2003. – № 4. – С. 32–34.
5. Решетников Ю. Пермские двигатели для ТЭК // Двигатель. – 2000. – № 4. – С. 22–23.
6. Решетников Ю. По программе "Урал-Газпром" // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 12–13.
7. Решетников Ю., Сулимов Д. Газотурбинные двигатели и теплоэнергетика // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 22–24.
8. Родин А. Пермские газотурбинные установки для газоперекачивающих агрегатов // Двигатель. – 2003. – № 2. – С. 36–38.
9. Салихов А., Сулимов Д. Приемочные испытания газотурбинной теплоэлектростанции "Урал-4000" // Двигатель. – 2002. – № 3. – С. 18–21.
10. Соколовский М.И. Газотурбинные электростанции и газоперекачивающие агрегаты нового поколения серии "Урал" на базе конвертированных авиационных двигателей // Электрические станции. – 2000. – № 10. – С. 17–19.
11. Соколовский М.И., Кислицын Г.Ф., Митин Е.М. О внедрении газотурбинных электростанций // Промышленная энергетика. – 2001. – № 1. – С. 19–21.
12. Энергетическая газотурбинная установка мощностью 180 МВт / Н.И. Серебрянников, А.С. Лебедев, Д.Д. Сулимов, А.А. Романов // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 8–11.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Авиадвигатель" та ВАТ "Пермский моторный завод".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінних агрегатів, розроблених на основі двигуна Д-30КУ/КП.
4. Проаналізуйте склад і технічні характеристики газотурбінних електростанцій типу "Урал".
5. Дайте характеристику конструкції і параметрів агрегатів ГТУ-12П та ГТУ-12ПЭР.
6. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінних агрегатів ГТУ-25П і ГТУ-25ПЭР.
7. Поясніть будову й особливості агрегатів ГТУ-16П та ГТУ-16ПЭР.

8. Проаналізуйте особливості конструкції газотурбінного агрегату ГТЭ-180П та розроблених на його основі парогазових установок.

3.5. ВАТ "Невский завод"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Невский завод". <i>Адреса підприємства:</i> 193029, Росія, м. С.-Петербург, просп. Обуховської оборони, 51. <i>Чисельність працюючих:</i> більше 4000 чол. (з дочірніми підприємствами, 2003 р.).

3.5.1. Відомості про підприємство

На нинішній території підприємства в середині XIX століття розташовувався невеликий ливарний завод, що належав англійцю Л. Томсону. Основною його продукцією були чавунні виливки й артилерійські снаряди. У 1857 р. завод придбали генерал-майор П. Семянников і підполковник В. Полетика, після чого він одержав неофіційну назву "Семянниковский завод".

Під керівництвом нових власників у берегів Неви споруджуються три критих металевих елінги і в 1865 р. зі стапелів нового підприємства "Невский железоделательный, механический и корабельный завод" (завод неодноразово змінював свою назву, але надалі завжди залишався "Невським") зійшов перший броненосець "Кремль". У дореволюційний період підприємством було побудовано більше 170 суден різного призначення, у їхньому числі відомі крейсери "Жемчуг" та "Изумруд", міноносець "Стерегающий", що прославилися участю в Цусимському бою, криголамний пароплав "Таймыр".

У другій половині XIX століття завод починає освоювати виробництво паровозів. До 1917 р. їх було випущено більше 4000. Паровози підприємства неодноразово відзначалися на виставках як кращі в Росії. У цей період виготовлялися також котли, суднові машини, різне машинобудівне устаткування.

Після націоналізації 1918 р. завод брав активну участь у здійсненні планів індустріалізації країни, електрифікації, становленні вітчизняної металургії. У 20-х роках налагоджується випуск бавовноочисних машин і кесонів для Волховбуду. У 30-х роках освоюється виробництво енергетичних машин: турбін і компресорів. У 1933 р. на заводі було організоване конструкторське бюро турбомашин, у 1937 р. – конструкторське бюро парових турбін. У 1934 р. був випущений перший турбоекстаустер, у 1936 р. – перший поршневий компресор, у 1937 р. – перша парова турбіна потужністю 6 МВт.

Після Великої Вітчизняної війни Невський машинобудівний завод ім. В.І. Ле-

ніна (НЗЛ) створює велику номенклатуру відцентрових компресорів, газових і парових турбін для всіх основних галузей народного господарства.

Важливою сторінкою в історії підприємства стала участь у становленні вітчизняної газової промисловості і, у першу чергу, в освоєнні далекого транспорту природного газу. У 1957 р. на НЗЛ був розроблений перший у СРСР газоперекачувальний агрегат з газотурбінним двигуном потужністю 4 МВт (ГТ-700-4). У 1959–1962 рр. він установлювався на газопровід Ставрополь–Москва. Надалі послідовно був створений ряд газоперекачувальних агрегатів з газотурбінними приводами потужністю 4, 6, 10 і 25 МВт, якими комплектувалися газоперекачувальні станції в СРСР і за рубежом.

У 60-х роках була створена велика номенклатура компресорних машин для хімічної промисловості. Агрегатами заводу оснащені практично всі підприємства чорної і кольорової металургії. Важко знайти галузь, де б не використовувалися сьогодні машини марки НЗЛ*.

У 1974 р. на базі конструкторсько-технологічних служб заводу створюється "Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт турбокомпрессоростроения" (НИКТИТ)**.

Усього за більш ніж піввіковий період ВАТ "Невский завод" було виготовлено понад 10000 агрегатів 400 різних типів загальною потужністю 40 млн кВт, спроектованих фахівцями НИКТИТ. Ці агрегати працюють не тільки в Росії, країнах СНД, але і на багатьох підприємствах Індії, Китаю та інших країн Азії, Африки, Латинської Америки. Велика кількість компресорних і турбінних агрегатів НЗЛ установлена на підприємствах Польщі, Болгарії, Румунії, Угорщини, Чехії, Югославії та інших європейських країн.

З 1957 по 2000 р. НЗЛ виготовив близько 1700 приводних та енергетичних газотурбінних агрегатів. У їхньому числі:

ГТ-700-4 потужністю 4 МВт (рік початку виробництва – 1957-й) – 59 од.;

ГТ-700-5 потужністю 4,25 МВт (1960 р.) – 133 од.;

ГТ-700-6 потужністю 6 МВт (1963 р.) – 258 од.;

ГТК-5 потужністю 4,4 МВт (1965 р.) – 31 од.;

ГТК-10 потужністю 10 МВт (1969 р.) – 1030 од.;

ГТК-10-3 потужністю 10 МВт (1970 р.) – 34 од.;

ГТН-25 потужністю 27,5 МВт (1981 р.) – 126 од.;

ГТНР-10 потужністю 11 МВт (1987 р.) – 16 од.;

ГТНР-12 потужністю 12 МВт (1990 р.) – 3 од.;

ГТЭ-30 потужністю 30 МВт – один агрегат (1991 р.) для Міненерго СРСР;

* У газовій – у складі газоперекачувальних агрегатів (68 % усього парку машин ВАТ "Газпром"), у хімічній – в технологічних циклах великих виробництв (45 %), у нафтогазопереробній (40 %), у чорній і кольоровій металургії – доменне, кисневе, конверторне, агломераційне виробництво (60 %), у машинобудівній (30 %) і ряду інших.

** Виділився зі складу заводу в 1992 р. У даний час ЗАТ "НИКТИТ" – дочірнє підприємство ВАТ "Невский завод".

ГТЭ-12 потужністю 12 МВт – один агрегат (1994 р.) для Аргентини;

ГТНР-16 потужністю 16 МВт (1994 р.) – 3 од.

У 1975 р. на основі НЗЛ створюється Виробниче об'єднання "Невский завод им. В.И. Ленина", до складу якого ввійшли також НИКТИТ і Чудовський завод енергетичного машинобудування.

Наприкінці 1990 р. підприємство починає реструктуризовуватися. З нього виділяються окремі виробництва і підрозділи. У січні 1991 р. ВО "Невский машиностроительный завод им. В.И. Ленина" перетворюється в акціонерне товариство. У даний час підприємство є холдингом, до складу якого входить вісім дочірніх організацій. Основні з них: ЗАТ "НИКТИТ", ЗАТ "Турбинный комплекс", ЗАТ "Невмашрегулирование", ВАТ "Компрессорный комплекс", ТОВ "Грань".

У 1994 р. ВАТ "Невский завод" разом з найбільшим європейським виробником газотурбінних агрегатів компанією "ABB Power Generation" (Швейцарія–Швеція) створює товариство з обмеженою відповідальністю "АББ Невский", перейменоване надалі (після зміни власника у компаньйона) у ТОВ "Альстом Пауэр Невский". У рамках цього підприємства розвивається обмін досвідом і технологіями із закордонними партнерами.

Незважаючи на труднощі першої половини 90-х років, донині ВАТ "Невский завод" залишається одним з найбільших російських виробників машинобудівної продукції (турбін, компресорів і т.д.), забезпечуючи також надання різних послуг у даній сфері і продаж необхідних запасних частин. Підприємство значиме й відоме на російському ринку і за рубежом: ведеться успішне співробітництво з Китаєм та Індією. Поставляється устаткування в Іран. Ряд проектів був здійснений разом з Німеччиною.

3.5.2. Продукція підприємства

Основним напрямком діяльності ВАТ "Невский завод" у даний період є виробництво:

газоперекачувальних агрегатів магістральних газопроводів потужністю 10...25 МВт із ККД 32...44 %;

газотурбінних двигунів і парових турбін потужністю 0,6...35,0 МВт для приводу електрогенераторів, компресорів та насосів;

нагнітачів природного газу продуктивністю 270...610 м³/хв;

компресорних машин для нафтохімії і нафтового попутного газу продуктивністю 44...820 м³/хв;

осьових компресорів різного призначення продуктивністю 3750...7220 м³/хв;

повітряних відцентрових компресорів загальнопромислового призначення продуктивністю 370...6700 м³/хв.

Підготовлено перспективні проекти принципово нової продукції:

для поліпшення екології в промислових районах спроектована і виготовле-

на перша газова утилізаційна турбіна ГУБТ-25;

розроблений і знаходиться в стадії виготовлення детандерно-генераторний агрегат потужністю 6 МВт для ТЕЦ;

розглядається можливість застосування газотурбінних агрегатів ГТЭР-16, ГТЭР-12 і ГТЭР-10 для забезпечення електроенергією селищ, мікрорайонів міст та інших населених пунктів;

ведеться створення принципово нового газотурбінного агрегату "Надежда" потужністю 16 МВт і ККД 43 %;

на базі двигуна фірми "Alstom" GT-10 потужністю 25 МВт розробляється газоперекачувальний агрегат "Балтика-25".

Велику увагу ВАТ "Невский завод" також приділяє продовженню робіт із забезпечення подальшого постачання устаткування і запчастин для підприємств газової, нафтової та нафтопереробної промисловості, проведенню робіт із продовження ресурсу, модернізації і ремонту даного устаткування, а також участі в реконструкції та постачаннях запчастин до імпортного компресорного і турбінного устаткування, яке знаходиться в експлуатації.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.

Газотурбінні агрегати ГТК-10М (ГТНР-10), ГТНР-12 та ГТНР-16

Газотурбінний агрегат **ГТК-10М** (рис. 3.5.1) являє собою чергову модернізацію найпоширенішого привідного газотурбінного агрегату ГТК-10, яка дозволяє підвищити економічність газоперекачувальних агрегатів даного типу без додаткових капітальних витрат.

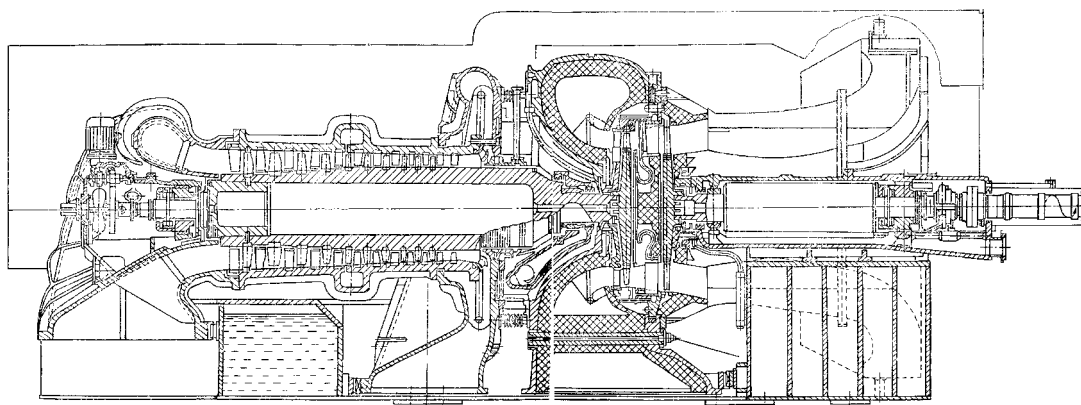


Рис. 3.5.1. Газотурбінний агрегат ГТК-10М

Також як і попередні модифікації, агрегат ГТК-10М виконаний двовальним з вільною силовою турбіною і регенерацією тепла вихлопних газів.

Осьовий однокаскадний 11-ступінчастий компресор змонтований в окремому литому корпусі, який жорстко з'єднаний з корпусом турбіни за допомогою проміжного елемента – литого корпусу заднього опорного підшипника ротора турбокомпресора. Усі зазначені деталі мають спільне горизонтальне фланцеве рознімання. До переднього вертикального фланця корпусу компресора кріпиться вхідна частина, яка складається з двох половин, причому нижня половина відлита разом з корпусом переднього опорно-упорного підшипника ротора турбокомпресора та опорами пускового пристрою.

Як пусковий пристрій використаний високообертовий турбодетандер. Напрямні лопатки компресора з Т-подібним хвостовиком набрані в кільцеві проточки корпусу і фіксовані шайбами в горизонтальному розніманні. У середній частині корпусу зроблений приплив, що утворює кільцеву камеру, поєднану вузькою щілиною з проточною частиною компресора. З цієї камери через протипомпажні клапани скидається повітря при запуску ГТД.

До заднього вертикального фланця корпусу кріпиться нагнітальний патрубок компресора, у якому встановлений вихідний осерадіальний дифузор. З цього патрубка стиснене повітря надходить через регенератор до виносної камери згоряння, встановленої вертикально до корпусу турбіни.

Корпус турбіни виконаний двостінним, причому його зовнішня частина виготовлена литтям з перлітної сталі і захищена від теплового впливу газового потоку шаром внутрішньої теплової ізоляції, поміщеної між зовнішньою і внутрішньою частинами. Остання виготовлена зварювально-штампованою з листової жароміцної сталі.

Конструкція корпусу турбіни передбачає свободу взаємних теплових переміщень окремих його деталей, у тому числі внутрішньої частини корпусу щодо зовнішньої. У кільцеву розточку корпусу встановлена обойма соплових лопаток турбін, виконана без горизонтального рознімання. Для збирання агрегату обойма має знімну частину над ротором турбіни компресора.

В обоймі розміщений зварений сопловий апарат силової турбіни, з'єднаний із внутрішньою проміжною вставкою. Соплові лопатки турбіни компресора встановлені в 12 литих сегментах з жароміцного сплаву. Ці сегменти підвішені за допомогою лап на виступи двох розрізних кілець, вставлених у пази обойми і фіксованих у ній штифтами. Осьовий тиск від соплового апарата 1-го ступеня передається через гребінь обойми на корпус турбіни за допомогою вертикального нерознімного кільця.

З боку силової турбіни до обойми кріпиться кільце з козирком для фіксації радіального зазору під вершинами робочих лопаток цієї турбіни. Соплові лопатки 1-го ступеня мають бандажні полиці з радіальним виступом, який при збиранні входить у кільцеву заточку обойми переднього лабіринтового ущільнення турбіни.

Робочі лопатки турбін кріпляться в дисках за допомогою торцевих тризубчикових хвостовиків. Консольно розташовані диски турбін кріпляться на хво-

стовиках валів радіальними штифтами. Стабільність їхнього центрування забезпечується встановленням спеціальної профільної втулки. На валу силової турбіни є стовщена частина для забезпечення стійкої роботи ротора. До вертикального заднього фланця корпусу турбіни кріпиться вихідний осерадіальний дифузор, зовнішня і внутрішня обичайки якого з'єднані між собою чотирма радіальними ребрами.

Із заднім вертикальним фланцем дифузора зв'язані вихлопний патрубок, що розподіляє продукти згоряння, які проходять через нього, на два потоки (у кожену із секцій пластинчастого регенератора, який обслуговує турбіну), та корпус підшипників силової турбіни, що спирається бічними лапами на вертикальні стояки фундаментної рами, яка одночасно є маслобаком агрегату.

Керування агрегатом цілком автоматизовано.

Привідні газотурбінні агрегати **ГТНР-12** і **ГТНР-16** мають аналогічне конструктивне виконання. Технічні характеристики агрегатів типу ГТНР наведені в табл. 3.5.1.

Таблиця 3.5.1. Основні технічні характеристики агрегатів ГТК-10М, ГТНР-12 та ГТНР-16

Параметри	ГТК-10М	ГТНР-12	ГТНР-16
Номінальна потужність, МВт	10	12	16
ККД, %	33,0	32,0	32,5
Витрата повітря, кг/с	87	92	97
Міра підвищення тиску	4,24	4,88	7,05
Температура газів, К:			
перед регенератором	815	801	811
за регенератором	615	576	591
початкова	1053	1123	1213
за ГТД	815	801	811
Тиск паливного газу, МПа	1,47	1,47	1,7
Витрата паливного газу, кг/год	2592	2844	3708
Частота обертання силового вала, об/хв	4800	4800	5200
Маса транспортних вузлів, т	56	56	60

На базі агрегату ГТНР-16 створений **газоперекачувальний агрегат "Волга-16"**. Головний зразок у даний час проходить випробування на компресорній станції "Мокроус" ДАТ "Югтрансгаз".

На базі привідних агрегатів ГТНР-10, ГТНР-12 і ГТНР-16 конструкторами ВАТ "Невський завод" створені **енергетичні агрегати ГТЭР-10, ГТЭР-12 і ГТЭР-16** потужністю 10, 12 і 16 МВт, які для зниження частоти обертання вихідного вала до 3000 (3600) об/хв додатково оснащуються редуктором.

Газотурбінний агрегат "Надежда"

БАТ "Невский завод" у даний час створює принципово новий газотурбінний агрегат "Надежда" потужністю 16 МВт (рис. 3.5.2).

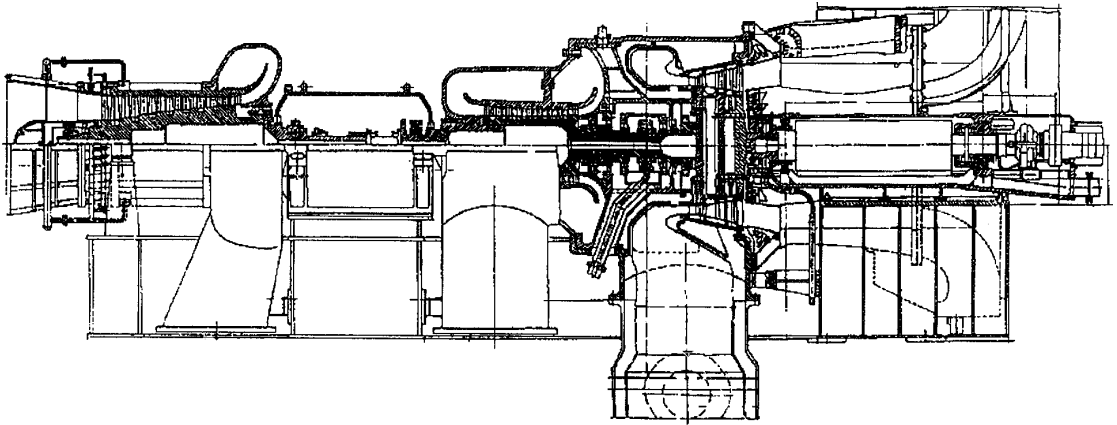


Рис. 3.5.2. Газотурбінний агрегат "Надежда"

З метою забезпечення високої економічної ефективності, ресурсозбереження, надійності й екологічної безпеки в агрегаті використаний регенератор в основному циклі, охолодження повітря між компресорами і підігрів мережної води в утилізаторі. Застосування даної теплової схеми дозволяє збільшити ККД агрегату до 44 %. Компресорний блок приводиться в обертання одноступінчастою осьовою турбіною. Двоступінчаста вільна силова турбіна передає вироблену потужність споживачу.

Теплообмінне устаткування для установки розроблено Нижньогородським науково-виробничим центром "Анод". Для його створення використовується принципово нова конструкція теплообмінної поверхні із змійовиків з малим радіусом вигину, яка за своїми показниками якості значно перевершує застосовувані в даний час прямо трубні, пластинчасті і звичайні змійовикові.

Застосування такої поверхні для агрегату "Надежда" в регенераторі РГ-16Н, утилізаторі УТ-16Н, повітроохолоджувачі ТВ-16Н і маслоохолоджувачі ТМ-16Н дозволило значно поліпшити їхні питомі характеристики.

Теплообмінний комплекс являє собою конструкцію з двох корпусів вертикального виконання, розташованих на спільному фундаменті й об'єднаних у верхній частині вихлопною трубою (рис. 3.5.3).

У першому корпусі продукти згоряння після газової турбіни рухаються в міжтрубному просторі знизу нагору, віддаючи тепло в регенераторі, потім в утилізаторі, і видаляються у вихлопну трубу. У другому корпусі атмосферне повітря після напірного вентилятора проходить маслоохолоджувач, потім проміжний охолоджувач повітря і попадає в "теплий ящик", з якого частина забирається на обігрів

виробничих приміщень чи на технологічні потреби, а інша частина, змішуючись з продуктами згоряння, видаляється у вихлопну трубу.

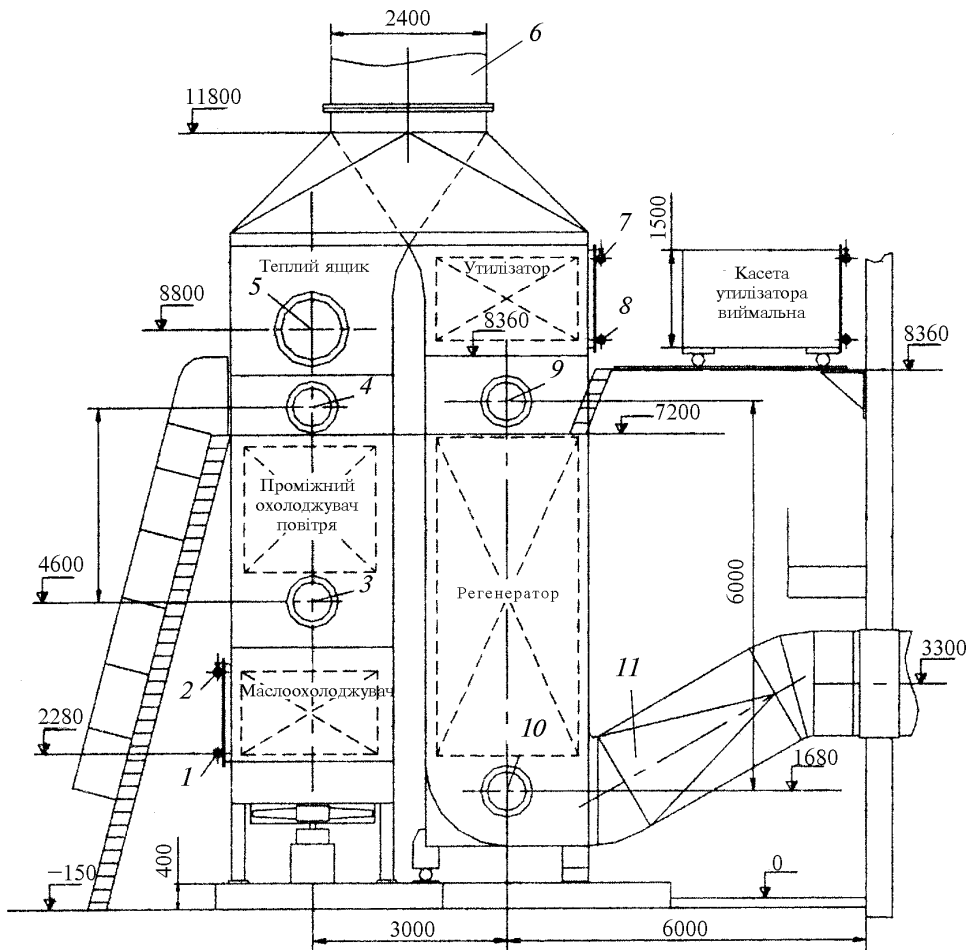


Рис. 3.5.3. Теплообмінний комплекс агрегату "Надежда":

1 – вихід масла з маслоохолоджувача; 2 – вхід масла в маслоохолоджувач; 3 – вихід компресорного повітря з проміжного охолоджувача; 4 – вхід повітря з КНТ; 5 – забір атмосферного повітря на обігрів; 6 – вихлопна труба; 7 – вхід мережної води; 8 – вихід мережної води; 9 – вхід повітря з КВТ; 10 – вихід компресорного повітря з регенератора; 11 – вхід продуктів згоряння

Основні технічні характеристики агрегату "Надежда" наведені нижче:

Номинальна потужність	16,3 МВт
ККД	44,1 %
Витрата повітря	58,5 кг/с
Міра підвищення тиску	9,55
Температура повітря:	
після КНТ	448 К
після охолоджувача	323 К

після КВТ	438 К
після регенератора	790 К
Тиск повітря після КНТ	0,38 МПа
Тиск паливного газу	1,96 МПа
Витрата паливного газу	2844 кг/год
Частота обертання силового вала	5500 об/хв
Температура газів:	
перед регенератором	817 К
за регенератором	533 К
у вихлопній трубі	390...415 К
Міра регенерації	0,93
Маса транспортних вузлів	42 т

За своїми конструктивними особливостями регенератор із проміжним повітроохолоджувачем та утилізатор з маслоохолоджувачем схожі, але відрізняються за типорозміром труб і геометрією змійовиків.

Секції регенератора і повітроохолоджувача виконані з однакових шестигранних теплообмінних модулів, які через перехідники об'єднані колекторами підведення і відведення повітря в трубну систему. У поперечному перерізі секції мають форму прямокутника. Колектор повітря має форму циліндра, з однієї сторони якого розташований патрубок для підведення чи відведення повітря, а з іншої – люк для огляду і ремонту трубної системи. Сумарний гідравлічний опір регенератора складає 5 %, розмір трубки – 12×1 мм, матеріал трубки – 12Х18Н10Т, маса секції – 24 т. Сумарний гідравлічний опір повітроохолоджувача складає 2 %, розмір труб – 18×2 мм, матеріал труб – Ст. 20, маса секції – 23 т.

Утилізатор і маслоохолоджувач виконані з плоских модулів, які за кожухами об'єднані колекторами в теплообмінні касети. Для надійного зливу теплоносія і видалення повітря в колекторах касет передбачені дренажі і повітряні порожнини. Кожна касета може бути витягнута окремо. Для утилізатора: надлишковий тиск води складає 0,6 МПа, кількість виймальних касет – 2 шт., теплова потужність – 3 МВт, розмір труб – 18×2 мм, матеріал труб – Ст. 20, маса виймальної касети – 2,2 т. Температура мережної води на вході в утилізатор складає 338 К, на виході з нього – 363 К. Для маслоохолоджувача: гідравлічний опір по маслу складає 0,06 МПа, кількість виймальних касет – 2 шт., розмір труб – 16×2 мм, матеріал труб – Ст. 20, маса касети – 1,5 т. Температура масла на вході в маслоохолоджувач складає 333 К, на виході – 321 К, тиск масла на вході – 0,3 МПа.

Для подачі атмосферного повітря пропонується використовувати осьові вентилятори з електродвигуном у вибухозахищеному виконанні потужністю 37 кВт. Для зручності огляду і ремонту трубних систем теплообмінного комплексу на рівні патрубків передбачені площадки обслуговування, до яких підведені сходи. Витрата повітря вентилятора складає 150 тис. м³/год, напір – 450 Па.

Проведена оптимізація дозволила одержати мінімальні масогабаритні характеристики всього теплообмінного комплексу і розташувати його на спільній

рамі, встановленій на старих фундаментах вихлопної труби, утилізатора і регенератора установки ГТК-10.

Газотурбінний агрегат ГТН-25

Тривалий автоматизований газотурбінний агрегат ГТН-25 виконаний за простою тепловою схемою в блоковому безпідвальному вигляді. Використовується у складі газоперекачувальних агрегатів ГПА-25/76 магістральних газопроводів діаметром 1420 мм. Агрегат розрахований на кінцевий тиск перекачуваного газу 6,6 і 9,8 МПа. Можлива його експлуатація в різноманітних кліматичних умовах при температурах зовнішнього повітря $-55...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Компресор осьовий, двокаскадний (сім і сім ступенів), без поворотних напрямних апаратів (рис. 3.5.4). Конструктивна схема стаціонарного газотурбінного двигуна з двокаскадним компресором і підшипниками ковзання була створена й відпрацьована вперше.

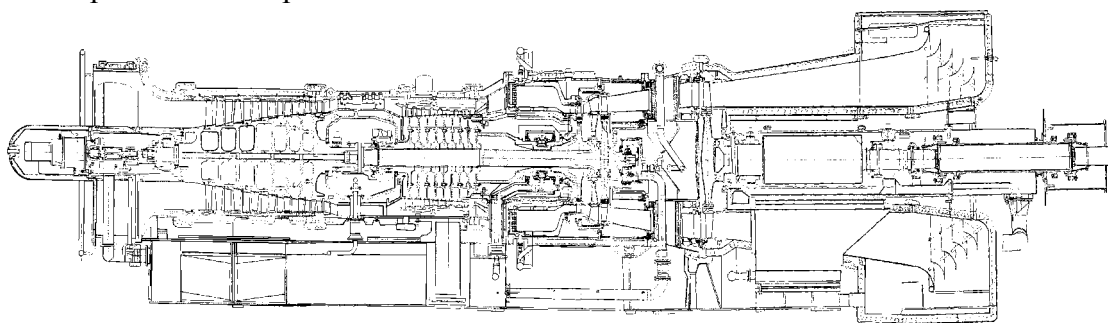


Рис. 3.5.4. Газотурбінний агрегат ГТН-25

При проектуванні проточної частини компресора низького тиску як прототип був прийнятий восьмиступінчастий КНТ двигуна ГТ-100-750-2. На відміну від прототипу компресор був виконаний з осьовими входом і дифузором. Коефіцієнт моделювання дорівнює 0,693. Змінені були також конструкція хвостовиків робочих лопаток і товщина окремих перерізів для вібраційного відстроювання лопаток, розроблена конструкція сепаратора з похилими щілинами над 1-м ступенем для підвищення стійкості на пускових режимах.

Проектування компресора високого тиску здійснювалося на основі семи-ступінчастого компресора транспортного ГТД із масштабним коефіцієнтом 1,354.

Застосовано кільцеву камеру згоряння, яка на відміну від попередніх конструкцій ВАТ "Невський завод" дозволяє забезпечити гарне охолодження стінок жарової труби і більш рівномірне температурне поле перед лопатками турбіни, що істотно збільшує термін служби і надійність елементів камери згоряння та турбіни.

Застосування мікрофакельного спалювання в камері згоряння ГТН-25 дозволило скоротити зону горіння і знизити концентрацію оксидів азоту в продуктах

згоряння більш ніж у п'ять разів порівняно з камерою згоряння ГТК-10. Усі три турбіни ГТН-25 осьові, одноступінчасті.

Соплові лопатки 1-го турбінного ступеня охолоджувані. Система охолодження забезпечує при відносній витраті охолодного повітря 1,5 % і його температурі 723 К максимальну температуру металу лопаток на спинці профілю 1113 К. Розрахункове значення нерівномірності температур по контуру складає 90 К.

У вихідному варіанті охолоджувана соплова лопатка являє собою порожню литу оболонку, виготовлену з нікелевого сплаву з товщиною стінки близько 3 мм. Усередині лопатки встановлений дефлектор з дистанціюючими буртами, які забезпечують зазор між ним і лопаткою в середньому 0,8 мм. Після охолодження повітря скидається в проточну частину через щілини у вихідній крайці.

Для робочих лопаток 1-го ступеня застосований сплав ЭИ929ВД, що дозволяє забезпечити розрахунковий ресурс 100000 год без охолодження.

Агрегат цілком автоматизований. Установлено систему автоматичного регулювання, керування і захисту, яка забезпечує його роботу без постійної присутності обслуговуючого персоналу.

Основні технічні характеристики ГТН-25 наведені нижче:

Номінальна потужність	27,5 МВт
ККД	28,1 %
Витрата повітря:	
через КНТ	176 кг/с
через КВТ	172,5 кг/с
Міра підвищення тиску:	
в КНТ	3,57
в КВТ	3,5
Частота обертання ротора:	
КНТ	4400 об/хв
КВТ	5050 об/хв
ККД:	
КНТ	86 %
КВТ	87...88 %
Сумарна міра підвищення тиску	12,5
Тиск паливного газу	2,45 МПа
Початкова температура газів	1173 К
Температура металу пера лопаток ТВТ:	
соплових*	1073 К
робочих	1023 К
Колова швидкість на середньому діаметрі:	
ТВТ	340 м/с
ТНТ	325 м/с
Відношення діаметрів периферійного і кореневого перерізів:	
ТВТ	1,157
ТНТ	1,286

* З урахуванням охолодження.

Питома робота на валу:	
ТВТ	233,5 кДж/кг
ТНТ	162,5 кДж/кг
Температура металу пера лопаток ТНТ:	
соплових	963 К
робочих	853 К
Частота обертання силової турбіни	3700 об/хв
Довжина	15 м
Маса	101 т

У складі газоперекачувального агрегату використовується повнонапірний нагнітач природного газу типу 650-21-1, оснащений універсальною системою автоматики типу А-705-15.

ГТН-25 встановлюються в індивідуальних будинках на позначці 2,1 м. Для комплектації компресорної станції з кінцевим тиском 6,6 МПа потрібно всього три таких агрегати замість восьми агрегатів ГТК-10.

У 1977 р. почалися випробування агрегату ГТН-25, з 1983 р. агрегат випускається серійно. До 2000 р. було виготовлено більше 120 таких ГТД.

На базі ГТН-25 конструкторами ВАТ "Невский завод" наприкінці 80-х років була створена вдосконалена **модифікація агрегату потужністю 32,5 МВт**.

Конструкція деяких вузлів і деталей була змінена з метою підвищення їхньої довговічності і надійності. Були вдосконалені вихлопний дифузор, конструкція думісних ущільнень осьового компресора та система охолодження двигуна, встановлений кільцевий бандаж на робочому колесі турбіни високого тиску і відповідно змінені обводи перехідних патрубків. Для узгодження характеристик компресорів у робочому діапазоні частот обертання роторів було змінено на 6° кут установлення лопаток вхідного напрямного апарата КНТ.

У результаті вдосконалення при незмінній початковій температурі газів (1173 К) корисна потужність зросла до 32,5 МВт, а ККД – до 29,2 %. Збільшення потужності відбулося головним чином унаслідок підвищення витрати робочого тіла через ГТД, викликаного зміною пропускної здатності турбін і зсувом режимної лінії двигуна.

На базі газотурбінного агрегату ГТН-25 ВАТ "Невский завод" була створена **парогазова установка ПГУ-35**. Цією установкою в 1996 р. була обладнана компресорна станція "Грязовец". Крім стандартного для станції ГПА-25/76 устаткування вона містить у собі також котел-утилізатор КГТ-50/16-500 (Белгородський завод енергомашинобудування), парову турбіну К-11-10П (Калужський турбінний завод), нагнітач типу 235-23-1 потужністю 10 МВт (ВАТ "Невский завод"), повітряно-конденсаційну установку з проміжним теплоносієм.

Схема установки – з одним тиском пари, обидва турбоагрегати (ГТН-25 і К-11-10П) є приводами нагнітачів природного газу.

Детандер-генераторні агрегати

Призначені для вироблення електроенергії шляхом корисного використання зниження тиску природного газу до споживчих величин на газорозподільних станціях (табл. 3.5.2). Відмітною їхньою особливістю є невеликий строк окупності – протягом півтора-трьох років.

Таблиця 3.5.2. Технічні характеристики детандерних агрегатів

Параметри	Детандерні агрегати				
	ГТРУ-4-1,2/0,2	ГТРУ-4-1,2/0,4	ДГА-6000-1,3/0,25	ДГА-6000-1,85/0,2	ДГА-7000-5,7/1,7
Номінальна потужність, МВт	2,3	4,0	6,0	6,0	7,0
Тиск на вході в газопідігрівник, МПа	1,2	1,2	1,3	1,85	5,7
Початкова температура, К	353	353	373	433	363
Частота обертання, об/хв	3000				
Номінальний тиск після детандера, МПа	0,2	0,4	0,25	0,2	1,7
Максимальна масова витрата газу, кг/с	13,3	31,8	35,0	21,4	49,6
ККД турбіни, %	70	75	85		
Габарити, м	8,4×3,0×2,9				

У даний час розроблений і проходить випробування детандер-генераторний агрегат ДГА-6000 потужністю 6 МВт (рис. 3.5.5). Перший екземпляр ДГА-6000 передбачається встановити на ВАТ "Северная ТЭЦ" "Ленэнерго". Розробляються агрегати потужністю 2,3...7,0 МВт для "Ростовэнерго" і для поставок на експорт (рис. 3.5.6).

У типовий комплект поставки входять: розширювальна турбіна, електрогенератор, система автоматичного керування, контролю і регулювання, комплекс технічних засобів автоматизації, система змащення (фільтри, насоси, маслоохолоджувачі), підігрівник газу, монтажні пристрої й інструмент.

Газова утилізаційна турбіна ГУБТ-25

Оснащення доменних печей газовими утилізаційними турбінами ГУБТ-25 потужністю 25 МВт дозволяє шляхом утилізації надлишкового тиску колошникових

газів виробляти електричну енергію, знижуючи тим самим собівартість виплавленого чавуну. Крім того, скорочення кількості палива, яке спалюється на електростанціях, шляхом вироблення додаткової електроенергії на цих установках дозволяє поліпшити екологічну обстановку в промислових районах.

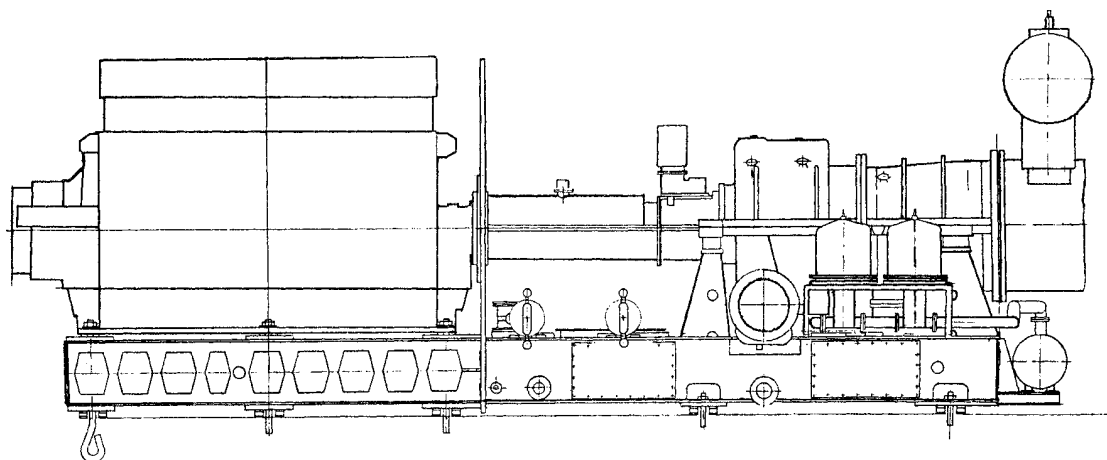


Рис. 3.5.5. Детандер-генераторний агрегат ДГА-6000-1,3/0,25

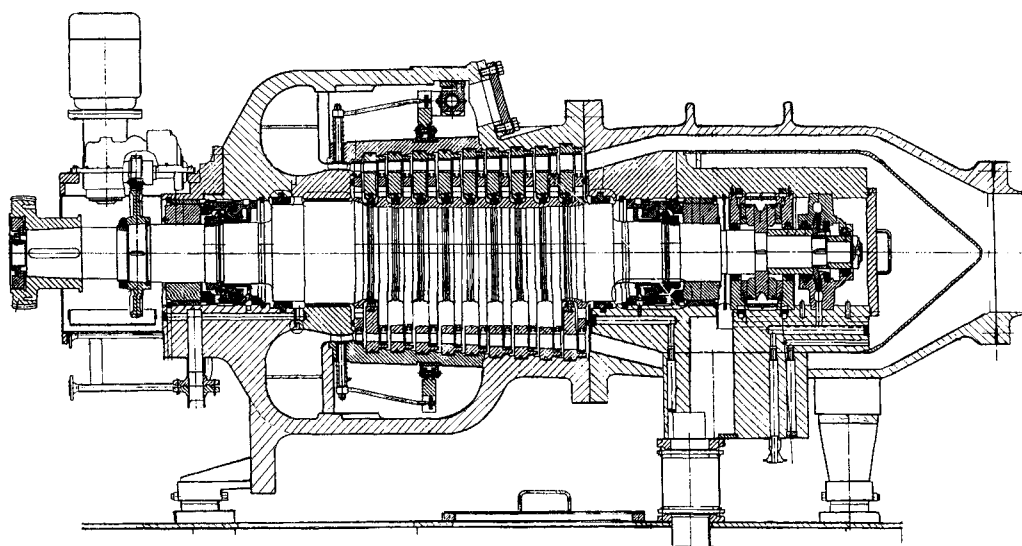


Рис. 3.5.6. Турбіна детандер-генераторного агрегату ДГА-7000-5,7/1,7

Перша зі створених ВАТ "Невський завод" турбін установлена в 2001 р. на доменній печі № 5 "Северянка" ВАТ "Северсталь". За попередніми розрахунками, з її пуском електроенергії повинно вистачати на задоволення майже річних потреб найбільшого споживача – кисневого цеху. Собівартість виробленої електроенергії буде в п'ять-шість разів нижча від вартості покупної енергії. Окупність капітальних витрат при сучасному рівні цін складе біля чотирьох років. У створенні даних

турбін також бере участь німецька фірма "Zimmerman und Yansen". За даними ВАТ "Ленгипромез", загальна потреба в установках ГУБТ різної потужності в Росії і країнах СНД складає близько 50 од.

Література до підрозд. 3.5

1. Газотурбинный агрегат "Надежда" / Г. Богорадовский, Б. Шайдак, Б. Юдовин, Л. Корневский // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 1. – С. 20–22.
2. Газотурбинные установки. Конструкции и расчет / Под общ. ред. Л.В. Арсеньева. – Л.: Машиностроение, 1978.
3. Гольдштейн А.Д., Кузнецов В.Ф., Пичкалов В.А. Парогазовая установка компрессорной станции "Грязовец" // Тр. НПО ЦКТИ. Юбилейный сборник. – 1997. – Т. 2. – С. 23–28.
4. Игнатьев Е.А., Походяев С.Б., Аношкин Ю.И. Повышение эффективности и надежности теплообменного оборудования для ГТУ "Надежда" // Турбины и компрессоры. – 2000. – № 4. – С. 27–29.
5. Краткий номенклатурный перечень продукции Невского завода, изготовленной по проектам НИКТИТ // Турбины и компрессоры. – 2000. – № 3. – С. 35–55.
6. Кузнецов А.Л., Кринский А.А. Газотурбинный агрегат ГТН-25 // Энергомашиностроение. – 1981. – № 12. – С. 12–16.
7. Смирнов Е.А. Турбины и компрессоры Невского завода – важная составляющая энергомашиностроения России // Турбины и компрессоры. – 2000. – № 3. – С. 8–12.
8. Шайдак Б.П., Архипов В.В., Даскал Ю.И. Турбины и компрессоры с маркой "НЗЛ" // Турбины и компрессоры. – 2000. – № 3. – С. 13–18.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Невский завод".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінного агрегату ГТК-10М (ГТНР-10).
4. Охарактеризуйте будову і технічні параметри газотурбінного агрегату "Надежда".
5. Розкрийте особливості конструкції та характеристики газотурбінного агрегату ГТН-25.
6. Проаналізуйте склад і технічні характеристики розроблюваних на підприємстві детандер-генераторних агрегатів та газових утилізаційних турбін.

3.6. ВАТ "ЛМЗ"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Ленинградский металлический завод".

Адреса підприємства: 195009, Росія, м. С.-Петербург, Свердловська наб., 18.

Чисельність працюючих: 5800 чол. (2002 р.).

3.6.1. Відомості про підприємство

Підприємство засноване в 1857 р. Спочатку спеціалізувалося на мідно-дротовому і прокатному виробництві, випускало свічки та сковорідки. У кінці XIX століття перетворилося в найбільше машинобудівне підприємство Росії, яке випускало піднімальні крани, ферми шосейних і залізничних мостів, плавучі доки, землечерпалки, парові котли, судові артилерійські установки. За свою оригінальну продукцію на Всесвітніх виставках у Чикаго в 1893 р. одержало дві бронзові, а в 1900 р. у Парижі – три золоті і чотири срібні медалі. Відмінна якість продукції дала підприємству Петербурзький металевий завод право використовувати державний герб Росії у своєму товарному знаку. У 1906 р. за кресленнями іноземних фірм на заводі була випущена перша в Росії гідравлічна турбіна потужністю 100 к.с., а в наступному році – перша парова турбіна. У 1924 р. виготовляється перша вітчизняна парова турбіна потужністю 370 кВт.

У перші роки Радянської влади ЛМЗ був єдиним підприємством, що випускало турбіни, і відіграв важливу роль у забезпеченні виконання першого перспективного плану розвитку народного господарства СРСР – плану "ГОЭЛРО".

У 1934 р. Радянський Союз, накопичивши досвід у галузі паротурбобудування, цілком відмовився від іноземних постачань парових турбін, що привело до різкого збільшення виробництва вітчизняних турбін, у тому числі потужністю 50 і 100 МВт Ленінградським металевим заводом, який носив у той час ім'я Й.В. Сталіна.

Сучасні парові турбіни на надвисокі і надкритичні параметри пари для електростанцій СРСР почали випускатися на ЛМЗ у 1952 р., коли була виготовлена найпотужніша в Європі на той час турбіна СВК-150 потужністю 150 МВт.

У 1958 р. колектив ЛМЗ створив парову турбіну К-200-130 потужністю 200 МВт, що стала надалі базовою для багатьох електростанцій Радянського Союзу і ряду закордонних країн.

Великим технічним досягненням стало створення в 60–80-х роках одновальних парових турбін потужністю 300, 500, 800, 1000 і 1200 МВт, які за рядом показників не мають аналогів у світовому турбобудуванні.

Починаючи з 1925 р. швидкими темпами зростало на заводі виробництво гідравлічних турбін власної конструкції, і в 40-х роках ЛМЗ стає провідним підприємством у цій галузі радянського енергомашинобудування.

Серйозним досягненням було створення в 50–60-х роках поворотно-лопатевих гідротурбін потужністю 126 і 178 МВт, які встановлювалися на електростанціях Радянського Союзу, Бразилії, Югославії, Румунії та інших країн. Великого прогресу домогся ЛМЗ у розробці нових радіально-осьових гідротурбін потужністю 230, 500 і 650 МВт, що встановлювалися на найбільших у світі гідроелектростанціях: Братській, Красноярській, Саяно-Шушенській та ін.

Виробництвом газотурбінних установок ЛМЗ займається з 1956 р. За цей період виготовлено більше 100 газоперекачувальних та енергетичних газотурбінних агрегатів потужністю 9...150 МВт, які працюють на газоподібному і рідкому паливі. У їхньому числі*:

ГТ-12-3 потужністю 12 МВт – два агрегати в 1957–1958 рр. поставлені в м. Шатськ;

ГТ-25-700-1 потужністю 25 МВт (одновальний із проміжним охолодженням і регенерацією) – один агрегат у 1960 р. для м. Києва;

ГТН-9-750 потужністю 9 МВт (двовальний з вільною турбіною нагнітача і регенерацією) – 10 од., починаючи з 1966 р.;

ГТ-25-700-2 потужністю 25 МВт – чотири агрегати в 1970–1971 рр. для Якутська;

ГТ-100-750 потужністю 100 МВт (двовальний із блокованою силовою турбіною, проміжним охолодженням повітря і проміжним підігрівом газу; до 1975 р. – найбільш потужний ГТД у світі) – шість агрегатів у 1970–1978 рр.;

ГТК-10-3 потужністю 10 МВт (розробки ВАТ "Невский завод") – 20 од., починаючи з 1973 р.;

ГТК-10-4 потужністю 10 МВт (розробки ВАТ "Невский завод") – 100 од., починаючи з 1979 р.;

ГТ-100-3М потужністю 105 МВт – шість агрегатів у 1980–1990 рр.;

ГТК-25 потужністю 25 МВт – п'ять агрегатів у 1985–1988 рр.;

ГТЭ-150 потужністю 150 МВт – два агрегати для "Мосэнерго-3" у 1990 і 1998 рр.

Після створення в 1991 р. спільного з німецькою фірмою "Siemens" підприємства "Интертурбо" ВАТ "ЛМЗ" освоює виготовлення частини компонентів (до 60 %) газотурбінного агрегату V94.2 потужністю 160 МВт. На липень 2002 р. виготовлено 17 агрегатів V94.2, п'ять з них для Росії. Має місце успішний досвід експлуатації парогазової установки потужністю 450 МВт, що складається з двох ГТД V94.2, парової турбіни потужністю 150 МВт виробництва ЛМЗ і трьох турбогенераторів, виготовлених ВАТ "Электросила", у складі першого енерблока ВАТ "Северо-Западная ТЭЦ" м. С.-Петербурга.

У 2001 р. укладений ліцензійний договір, згідно з яким фірма "Siemens" передала ВАТ "ЛМЗ" технологію і право на виробництво та продаж цих двигунів

* Згідно з інформацією на лютий 2001 р.

терміном на 15 років. Відповідно до ГОСТу вони позначаються як ГТЭ-160. Зона дії ліцензії спочатку обмежена територією Росії і Білорусії.

У перспективі частка вітчизняних комплектуючих у цих агрегатах буде доведена до 90 %. Виробництво ГТЭ-160 планується здійснювати аж до початку серійного виробництва газотурбінного агрегату потужністю 180 МВт (ГТЭ-180), робота над яким ведеться ЛМЗ разом з пермським ВАТ "Авиадвигатель".

У даний час ЛМЗ є найбільшим російським підприємством, яке здійснює проектування, виготовлення і сервісне обслуговування енергетичних турбін для теплових, гідравлічних та атомних електростанцій. За більше ніж 90 років підприємством виготовлено більше 2300 турбін загальною потужністю близько 300 млн кВт. На кожні десять турбін у світі припадає одна турбіна ЛМЗ, а за кількістю виготовлених парових турбін підприємство займає четверте місце у світі після фірм "General Electric", "Siemens" і "Alstom". Турбіни ЛМЗ працюють на 700 електростанціях у 40 країнах світу.

У 1975 р. на базі підприємства Ленінградський металевий завод ім. XXII з'їзду КПРС було створено Виробниче об'єднання турбобудування "Ленинградский металлический завод". Після приватизації в 90-х роках – ВАТ "ЛМЗ".

З лютого 2001 р. ВАТ "ЛМЗ" входить до складу концерну "Силловые машины", який включає в себе також акціонерні товариства "Энергомашэкспорт", "Электросила", "Завод турбинных лопаток", "Калужский турбинный завод" і ВАТ "НПО ЦКТИ". Основними акціонерами "Силловых машин" є фірми, що представляють інтереси холдингової компанії "Интеррос" та її партнерів (94,27 %), а також німецька фірма "Siemens" (4,93 %).

Планувалося, що до кінця 2003 р. підприємства концерну – Завод турбінних лопаток, ЛМЗ і ВАТ "Электросила" – об'єднуються в єдину юридичну особу шляхом приєднання до ВАТ "Силловые машины".

3.6.2. Продукція підприємства

У загальному обсязі виробництва ВАТ "ЛМЗ" лідирує паротурбобудування – більше 70 % енергоустаткування, що випускається. Потенційному замовнику пропонуються паротурбінні агрегати різних теплових схем у діапазоні потужностей 25...1200 МВт. З метою підвищення ККД і потужності проводиться модернізація раніше випущених турбін. Отримані в останні роки замовлення зі Словаччини, Фінляндії, Болгарії, Індії, Ірану, Греції та Китаю доводять конкурентоспроможний рівень розробок підприємства.

У галузі гідравлічного турбобудування сьогодні ВАТ "ЛМЗ" може спроектувати, виготовити і поставити турбіни практично на будь-які технічно обґрунтовані параметри з одиничною потужністю від 4 кВт до 1000 МВт, а також дискові і кульові затвори діаметром 1,0...5,5 м.

На ЛМЗ спроектований сучасний газотурбінний енергоблок ГТЭ-60 потужністю 60 МВт із ККД 36 %, призначений в основному для використання

в парогазових установках бінарного типу і для надбудови існуючих паротурбінних блоків при їхній модернізації.

В останні роки ВАТ "ЛМЗ" разом з ВАТ "Авиадвигатель" (м. Перм) займається розробкою газотурбінного енергетичного агрегату ГТЭ-180 потужністю 180 МВт із ККД 37 %. ГТЭ-180, як і ГТЭ-60, призначений для використання головним чином у парогазових установках. ККД таких установок складає 54...55 %. Фінансування робіт здійснюється ПАТ "ЕЭС России". Планувалося, що випробування ГТЭ-180 будуть проходити на стенді ВАТ "Ленэнерго", а пілотний проект уведення цієї установки в експлуатацію – на ТЭЦ-21 ("Ленэнерго")*.

За ліцензією німецької фірми "Siemens" ведеться виробництво газотурбінних агрегатів ГТЭ-160 потужністю 160 МВт.

ВАТ "ЛМЗ" також пропонує свої розробки в галузі парогазових установок як для створення нових сучасних електростанцій, так і для модернізації існуючих паротурбінних блоків. Надає інженерні і сервісні послуги, робить модернізацію устаткування, що знаходиться в експлуатації.

Підприємством виготовляється різноманітне теплообмінне устаткування: конденсатори для парових турбін, регенеративні і мережні підігрівники, маслоохолоджувачі, клапани, фільтри, насоси та ін.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного устаткування, що випускається підприємством**.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-150

Агрегат спроектований за простою тепловою схемою при одновальному виконанні і призначений для роботи в піковому та напівпіковому режимах експлуатації. Збільшення одиничної потужності порівняно з агрегатами типу ГТ-100, що випускалися раніше ВАТ "ЛМЗ", досягнуто підвищенням витрати робочого тіла з 433 до 630 кг/с і початкової температури газу з 1023 до 1373 К.

Освоєння прийнятої початкової температури газу здійснювалося в два етапи. На першому етапі освоювався рівень температур 1173...1223 К, який дозволяв обмежитися охолодженням тільки соплових лопаток 1-го ступеня. На другому етапі, після освоєння технології виготовлення охолоджуваних робочих лопаток, температура перед турбіною була піднята до номінального значення 1373 К. У рамках виконання першого етапу на "Мосэнерго-3" у 1990 р. був уведений в дію перший із двох побудованих дотепер агрегатів ГТЭ-150, у рамках другого – в 1998 р. другий агрегат.

Характеристики ГТЭ-150 обох виконань для режиму пікового навантаження,

* Див. також опис продукції ВАТ "Авиадвигатель".

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.lmz.ru.

приведені до стандартних атмосферних умов, подані нижче:

	Варіант 1	Варіант 2
Потужність електрична, МВт	128,0	157,6
ККД на клеммах генератора, %	30,5	31,0
Витрата повітря, кг/с	633	630
Міра підвищення тиску	12,8	13,0
Температура газів, К:		
початкова	1223	1373
за ГТД	703	779
Частота обертання ротора, об/хв	3000	
Довжина, м	14,92	
Діаметр, м	3,83	

Прийнятний ресурс роботи лопаток турбіни на напівпіковому і базовому режимах експлуатації забезпечується зниженням початкової температури газу приблизно на 50 К щодо її значення на піковому режимі, що супроводжується зменшенням потужності приблизно на 10 % і зниженням ККД приблизно на 1 %.

Система регулювання забезпечує автоматичний запуск ГТА і набір повної потужності приблизно за 25 хв, з яких 15 хв затрачається на досягнення режиму холостого ходу.

Газотурбінний двигун виконаний у вигляді єдиного блока, встановленого на фундаментній рамі, який включає в себе 14-ступінчастий осьовий компресор, чотириступінчасту турбіну і 14 вбудованих камер згоряння секційного типу з кільцевим, симетричним щодо осі ГТД, розташуванням корпусів (рис. 3.6.1). Характер руху робочого тіла в ГТД переважно прямотоковий, що забезпечується прийнятим взаємним розташуванням елементів.

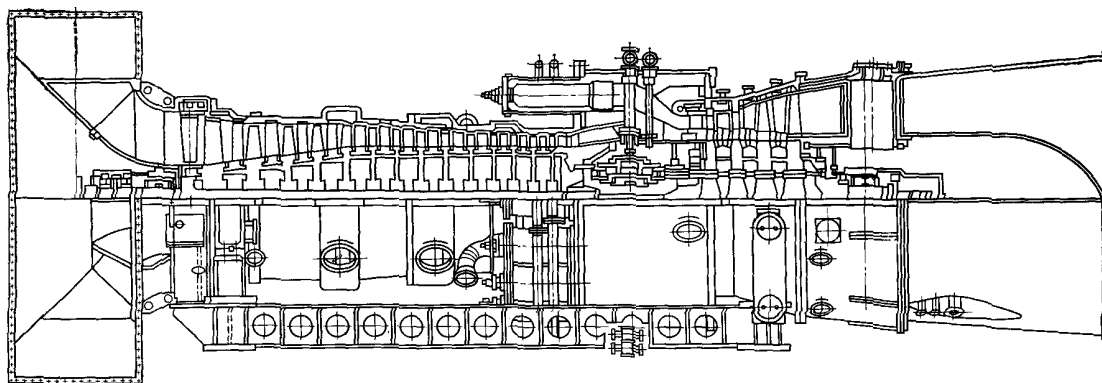


Рис. 3.6.1. Подовжній переріз двигуна ГТЭ-150

У зв'язку з високим рівнем швидкостей вихлопних газів за останнім ступенем турбіни (близько 300 м/с) і великим значенням об'ємної витрати на вихлопі (близько 1300 м³/с) прийнята конструкція двигуна з осьовим вихлопом круглого перерізу, що визначило місце встановлення електрогенератора з боку всмоктування компресора і бічне підведення повітря до компресора.

Вхідний патрубок компресора є тонкостінною конструкцією переважно прямокутної форми, що служить тільки для організації підведення повітря і не сприймає силових та вагових навантажень від двигуна. Патрубок має симетричний двосторонній (перпендикулярно до осі ротора ГТД) підвід повітря прямокутного перерізу.

Корпус двигуна оснащений розніманням у горизонтальній площині, декількома технологічними й експлуатаційними стиками у вертикальних площинах і спирається на стояки фундаментної рами в шести точках. Дві з цих точок розташовані в передній частині компресора (передні стояки), дві – у районі стику корпусів компресора і турбіни (середні стояки), дві останні – на корпусі діафрагм турбіни (задні стояки). Передні опорні стояки закріплені на фундаментній рамі нерухомо і разом з опорними кронштейнами, подовжньою та поперечною шпонками корпусу компресора утворюють фікс-пункт корпусу ГТД. Середні і задні опорні стояки рухомі, закріплені на осях, виконаних на фундаментній рамі і корпусі двигуна. Корпуси підшипників ротора вбудовані в корпус ГТД, причому упорний підшипник розміщений поблизу фікс-пункта корпусу.

Ротор двигуна збірний, трьохопорний. Компресорна частина ротора складається з окремих дисків, стягнутих центральною стяжкою, турбінна частина – з дисків і кінцевих частин, стягнутих болтами, що мають симетричне кільцеве розташування щодо осі ротора.

Розміри і маса газотурбінного двигуна допускають його перевезення в зібраному вигляді на залізничному транспорті вантажопідйомністю 220 т.

На основі ГТЭ-150 першого варіанта виконання можливе створення газотурбінного агрегату потужністю 128 МВт – **ГТЭ-125**. Подальше збільшення початкової температури газів перед турбіною до 1523 К, яке супроводжується встановленням двох додаткових ступенів компресора, приведе до створення агрегату **ГТЭ-200**, що буде мати потужність на клеммах генератора 185 МВт, ККД 32,6 %, витрату повітря 630 кг/с, міру підвищення тиску 15,6, температуру газів за турбіною 823 К.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-160

Являє собою газотурбінний агрегат V94.2, який випускається ВАТ "ЛМЗ" за ліцензією німецької фірми "Siemens". Агрегат виконаний одновальним, за простою схемою. До його складу входять 16-ступінчастий осьовий компресор, дві виносні камери згоряння, чотириступінчаста турбіна (рис. 3.6.2).

Вхідний патрубок компресора виконаний кільцевим, потік у ньому повертається на 90°, повітря засмоктується із спільної камери (шахти).

До корпусу ГТД, який має постійний зовнішній діаметр по всій довжині, за допомогою вертикального фланця приєднані всмоктувальна камера компресора й осьовий дифузор турбіни.

Корпус ГТД має два бічних відводи з вертикальними фланцями, до яких

приєднані перехідні повітроводи, що подають повітря до двох виносних вертикальних камер згоряння (рис. 3.6.3). Останні розраховані для роботи на газоподібному і рідкому паливі з переключенням з одного на інше під час роботи ГТД.

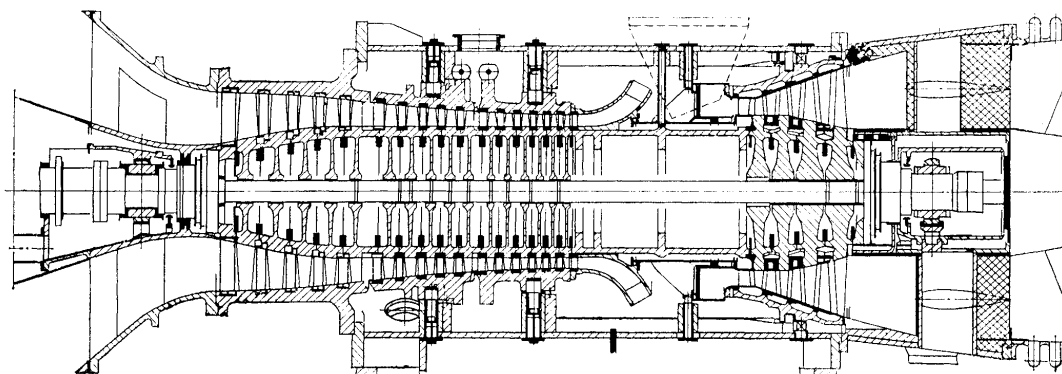


Рис. 3.6.2. Подовжній переріз двигуна V94.2

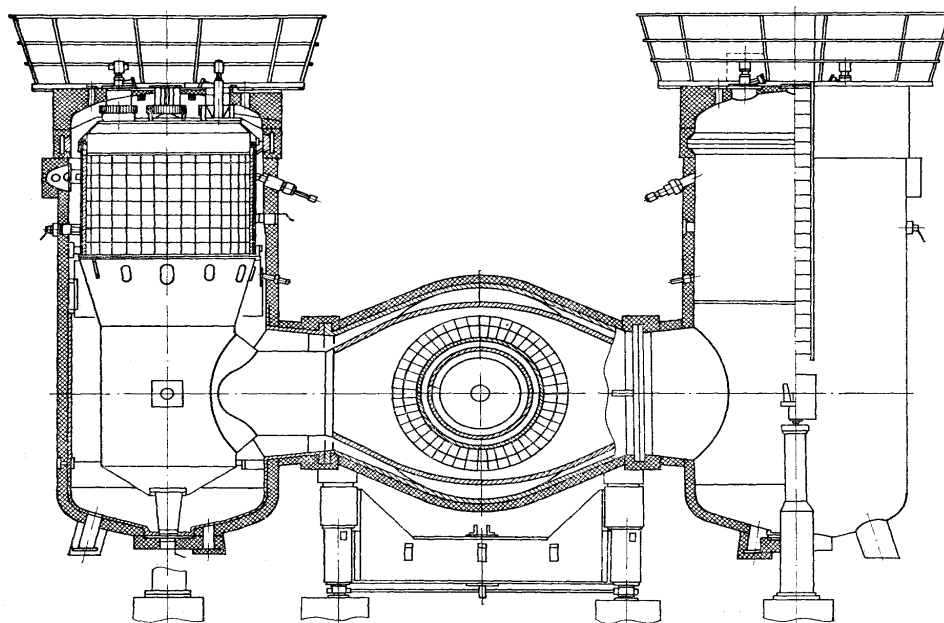


Рис. 3.6.3. Поперечний переріз двигуна V94.2

На кільцевих внутрішніх ребрах корпусу за допомогою радіальних штифтів установлена обойма напрямних апаратів компресора, що складається з трьох частин, до останньої з яких (за ходом повітря) приєднаний кільцевий осерадіальний дифузор з виходом повітря у внутрішню кільцеву камеру. Передня за ходом повітря частина обойми компресора відлита разом з корпусом переднього опорного й упорного підшипників.

На кільцевому виступі (ребрі) корпусу встановлена обойма соплових апаратів турбіни. Продукти згоряння до соплового апарата 1-го ступеня подаються з кільцевого колектора, до якого підходять два бічних газоходи від камер згоряння.

Корпус ГТД, обойми напрямних апаратів компресора і соплових апаратів турбіни мають спільне горизонтальне фланцеве рознімання. Напрямні лопатки компресора встановлені в кільцеві проточки обойм та оснащені бандажними полицями з радіальними ущільненнями.

Соплові лопатки турбіни заведені своїми виступами в кільцеві проточки виступів обойми і мають подовжені полиці, що з'єднуються послідовно із суміжним рядом лопаток. Нижні кінці перших трьох рядів соплових лопаток турбіни встановлені в напівкільцеві коробчаті діафрагми, які мають радіальні ущільнення стосовно кільцевих поверхонь на виступах дисків турбіни. Лопатки останнього (четвертого) ряду мають бандажні полиці з радіальними ущільненнями.

Ротор ГТД двохопорний, складений з окремих дисків, які стягнуті спільним центральним болтом (стяжкою). Крутний момент ротора передається за допомогою торцевого шліцьового з'єднання.

Основні технічні характеристики ГТЭ-160 наведені нижче:

Потужність електрична	157 МВт
Ефективний ККД	34,4 %
Витрата повітря	503 кг/с
Міра підвищення тиску	11,1
Паливо	природний газ
Температура газів:	
початкова	1393 К
за ГТД	810 К
Частота обертання ротора	3000 об/хв
Концентрація NO _x у вихлопних газах	50 мг/нм ³
Призначений ресурс	100000 год
Маса	274 т
Габарити	18,0×11,5×7,5 м

Корпус турбокомпресорної групи має спільну зварену фундаментну раму, яка складається з поєднаних болтами трьох окремих частин і є одночасно маслобаком агрегату. Кожна з камер згоряння спирається на два пружинні вертикальні стояки, встановлювані безпосередньо на фундамент.

Двигун транспортується окремими блоками (корпус турбогрупи з ротором, камера згоряння, вихідний дифузор, фундаментна рама з трьох частин і т.д.). Пуск ГТД здійснюється за допомогою дизеля, поєднаного з ротором турбокомпресора гідравлічною муфтою через редуктор.

Усе керування агрегатом цілком автоматизовано, у тому числі передбачений автоматичний перехід без зупинки електрогенератора з режиму вироблення електроенергії на режим синхронного компенсатора (за допомогою спеціальної автоматично синхронізуючої муфти).

Серійне виробництво V94.2 ведеться з 1982 р. За цей період параметри агрегату неодноразово поліпшувалися.

На базі V94.2 фірмою "Siemens" розроблений ряд парогазових установок. Однією з найбільш затребуваних є установка сумарною потужністю 450 МВт, що одержала позначення ПГУ-450.

В адаптації даної установки до устаткування, що випускається в Росії, брали участь фахівці ВАТ "Всероссийский теплотехнический институт" (м. Москва).

Кожен енергоблок ПГУ-450(Т) містить:

два агрегати ГТЭ-160 з генераторами типу ТФГ-160-2 УЗ виробництва ВАТ "Электросила" (м. С.-Петербург);

два вертикальних котли-утилізатори двох тисків П-90, що виготовляються ВАТ "Подольский машиностроительный завод" у співробітництві з бельгійською компанією "Cockerill";

одну конденсаційну парову турбину типу К-150 чи одну теплофікаційну турбину Т-150-7,7 (для варіанта ПГУ-450Т) виробництва ВАТ "ЛМЗ" із генератором ТФП-160-2 ВАТ "Электросила".

ККД установки без урахування витрат потужності на власні потреби складає 51,4 %.

Модуль ПГУ-450 розміщується в трьох корпусах (рис. 3.6.4). Газотурбінні агрегати розташовуються поперечно в двопрогінному будинку довжиною 50 м, міжосьова відстань між ними складає 23 м. Позначка обслуговування ГТД нульова. У цьому ж будинку розміщені автоматичні станції керування. На відстані 27 м від газотурбінного корпусу розташовується корпус котлів-утилізаторів. До газотурбінного корпусу примикає корпус парової турбіни довжиною 54 м. Позначка обслуговування 10 м. У турбінних корпусах є кранове устаткування. Блоковий щит керування знаходиться в окремому будинку, що примикає до торця газотурбінного корпусу.

Біля корпусу котлів зна-

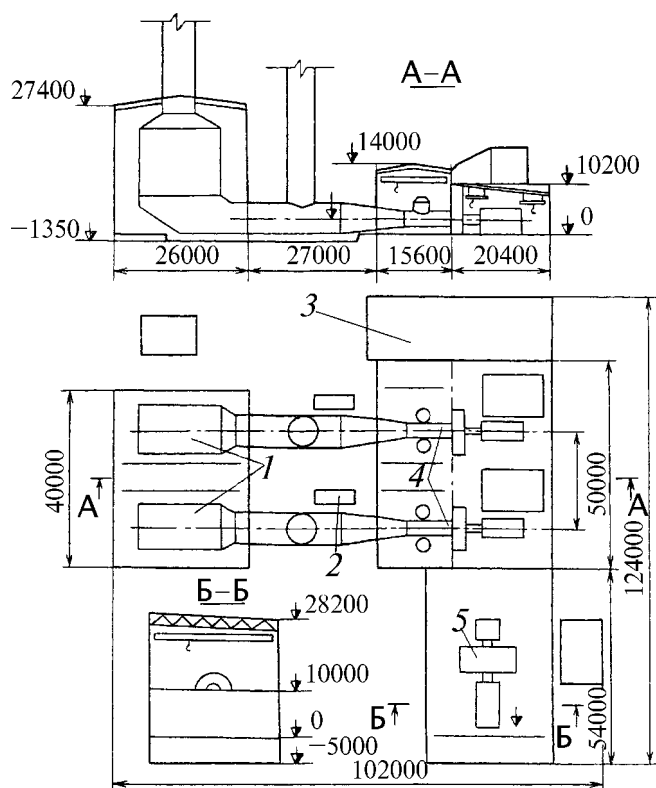


Рис. 3.6.4. Схема парогазової установки потужністю 450 МВт на основі двигунів V94.2:

- 1 – котли-утилізатори; 2 – маслоохолоджувачі ГТД;
- 3 – блоковий щит керування; 4 – газотурбогенератори;
- 5 – паротурбогенератор

ходиться приміщення електротехнічного устаткування котлів-утилізаторів, біля корпусу паротурбінної установки – приміщення керування нею. Поряд з вихлопними газоходами газотурбінних агрегатів (байпасною трубою) відкрито розміщені маслоохолоджувачі ГТД.

Першою російською електростанцією, до складу якої ввійшли розглянуті парогазові установки, була "Северо-Западная ТЭЦ" м. С.-Петербурга. Проектом передбачений монтаж чотирьох енергоблоків типу ПГУ-450Т. Перший з них уведений в експлуатацію наприкінці 2000 р.

Література до підрозд. 3.6

1. Бодров И.С., Огурцов А.П., Резниченко В.Я. Энергетическая ГТУ мощностью 150 МВт // Теплоэнергетика. – 1979. – № 11. – С. 11–17.
2. Газотурбинные установки. Конструкции и расчет / Под общ. ред. Л.В. Арсеньева. – Л.: Машиностроение, 1978.
3. Дьяков А.Ф., Березинец П.А., Васильев М.К. Теплофикационная парогазовая установка Северо-Западной ТЭЦ // Электрические станции. – 1996. – № 7. – С. 11–17.
4. Капралов Д. Северо-Западная ТЭС: новый уровень российской энергетики // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 1. – С. 13–15.
5. Лебедев А., Буталов Г., Залетов И. Газотурбинные установки ОАО "ЛМЗ" в классе мощности 160–180 МВт // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 4. – С. 21–22.
6. Назаров В.В. О развитии энергетического турбиностроения с учетом современного состояния электроэнергетики России (ЛМЗ в цифрах и фактах) // Турбины и компрессоры. – 2001. – № 2. – С. 9–12.
7. Ольховский Г.Г. Энергетические ГТУ. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Опыт создания теплофикационного парогазового энергоблока ПГУ-450Т Северо-Западной ТЭЦ / Р.И. Костюк, И.Н. Пицковацков, А.Н. Блинов, В.И. Колесник // Теплоэнергетика. – 1999. – № 1. – С. 10–14.
9. Энергетическая газотурбинная установка мощностью 180 МВт / Н.И. Серебряников, А.С. Лебедев, Д.Д. Сулимов, А.А. Романов // Теплоэнергетика. – 2001. – № 5. – С. 8–11.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "ЛМЗ".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.
3. Поясніть конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінного агрегату ГТЭ-150.
4. Поясніть конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінного агрегату ГТЭ-160.
5. Проаналізуйте склад і технічні характеристики створюваних на основі агрегату ГТЭ-160 парогазових установок.

3.7. ММПП "Салют"

	<i>Повне найменування:</i> Федеральне державне унітарне підприємство "Московское машиностроительное производственное предприятие "Салют". <i>Адреса підприємства:</i> 105118, Росія, м. Москва, просп. Будьонного, 16. <i>Чисельність працюючих:</i> більше 14000 чол. (2003 р.).

3.7.1. Відомості про підприємство

ММПП "Салют" – перше російське підприємство, спеціально побудоване для серійного випуску авіаційних двигунів. Його історія почалася з невеликого заводу "Гном" (жовтень 1912 р.), який займався збиранням авіаційних поршне-вих двигунів потужністю 80 к.с. з деталей, що поставлялися із Франції фірмою "Гном-Рон".

У 1915 р. французьким підприємцем у Москві будується завод "Сальмсон" і з Риги в Москву переводиться завод "Мотор", на якому налагоджується виробництво двигуна "Калеп" (літак-розвідник "Моран-Парасоль", винищувач Сикорського РБВЗ-С-16).

Після націоналізації авіаційної промисловості у грудні 1918 р. завод "Гном" перейменовується в "Икар" № 2, а завод "Сальмсон" – в "Амстро".

На початку 20-х років освоюється виробництво перших вітчизняних двигунів М-5, М-11 і М-15, створених конструкторами А.Д. Швецовим та А.А. Безсоновим. У 1924 р. завод "Мотор" був об'єднаний із заводом "Амстро" і названий "Мотор" № 4 ім. М.В. Фрунзе. У березні 1927 р. завод "Икар" № 2 і завод "Мотор" № 4 об'єднали та присвоїли найменування "завод № 24 ім. М.В. Фрунзе".

У 1927–1932 рр. конструкторським відділом заводу під керівництвом А.А. Безсонова були спроектовані двигуни М-18, У-12, ФЭД, М-15 і М-26.

На початку 30-х років підприємство було розширене й оснащено новим обладнанням, після чого на ньому було налагоджено великосерійне виробництво двигуна АМ-34 потужністю 750 к.с. та його модифікацій.

Світові рекорди 20–30-х років радянські льотчики ставили на літаках, оснащених двигунами підприємства. Серед них: перельоти Москва–Пекін (1925 р., двигун М-5), Москва–Нью-Йорк (1929 р., двигун М-17), Москва–Північний полюс–Ванкувер (1937 р., двигун АМ-34) та ін.

У роки Великої Вітчизняної війни основна частина заводу була евакуйована в м. Куйбишев*, де налагодила виробництво двигунів АМ-38 і АМ-42 для літаків Ил-2 та Ил-10. З весни 1942 р. відновилося виробництво двигунів і на московсь-

* У подальшому – самарське ВАТ "Моторостроитель".

кій площадці підприємства, яка одержала назву "завод № 45". Більшість з 36 тисяч випущених за роки війни броньованих штурмовиків Ил-2 була оснащена двигунами цих підприємств.

Після війни завод № 45 починає випуск авіаційних газотурбінних двигунів. У 1947 р. на заводі пройшов державні випробування і був пущений у серійне виробництво перший радянський турбореактивний двигун ТР-1 конструктора А.М. Люльки, який встановлювався на літаках Су-11, И-211 та Ил-22.

У 1948 р. освоюється серійне виробництво турбореактивного двигуна ВК-1 і його модифікацій ВК-1А, ВК-1Ф конструктора В.Я. Климова для літаків МиГ-15, МиГ-17, Ил-28 та Ту-14.

У 50–80-х роках підприємством серійно випускаються авіаційні турбореактивні і двоконтурні турбореактивні двигуни:

АЛ-7Ф-1 конструктора А.М. Люльки (з 1956 р.) для літаків Су-7, Ту-9 і Су-7Б; серійний винишувач-бомбардувальник Су-7Б розвивав швидкість 2140 км/год;

Р-15Б-300 конструктора С.К. Туманського (з 1962 р.) для літаків МиГ-25; встановлено більше 20 світових рекордів, з них – рекорд швидкості (3000 км/год) і висоти (37 км);

АЛ-21Ф (з 1972 р.) для літаків Су-17, Су-20, Су-22 і Су-24.

У 1984 р. підприємство освоює серійне виробництво двигуна АЛ-31Ф конструкції А.М. Люльки. У даний час встановлюється на важких винишувачах Су-27 і багатоцільових машинах, створених на його основі. На літаках сімейства Су-27 встановлено близько 30 світових рекордів. З 1989 р. випускається третя серія двигуна. Літаки з двигунами заводу "Салют" поставлялися на експорт у країни Азії (Китай, Індія, Ірак, Індонезія, В'єтнам, Сирія, Північна Корея, Афганістан), Африки (Алжир, Єгипет, Лівія), Європи (Болгарія, Угорщина, ГДР, Польща, Чехо-Словаччина), а також на Кубу.

За свою історію завод освоїв виробництво 55 типів авіаційних двигунів. Крім військової продукції виготовляються двигуни різних типів для цивільної авіації та промисловості, продукція на замовлення закордонних фірм. У даний час це одне з найбільших і найуспішніших російських машинобудівних підприємств. У 2003 р. чисельність працюючих на основних площадках порівняно з 1995 р. потроїлася.

У 2000 р. на ММПП "Салют" організоване власне конструкторське бюро з розробки і створення авіаційних двигунів. Нове бюро розробляє двигуни для легких літаків і вертольотів на базі проектів, створених МКБ "Граніт".

Одним з пріоритетних напрямків своєї діяльності ММПП "Салют" вважає застосування авіаційних технологій у наземних енергетичних установках. Практичним кроком у напрямку освоєння цього ринку на підприємстві було створення у квітні 2000 р. нового підрозділу – Конструкторського бюро промислових газотурбінних установок. Для його укомплектування запросили провідних спеціалістів, що працювали в цій галузі на підприємствах Москви, Санкт-Петербурга, Миколаєва, Пермі і Тюмені.

У 1999 р. на основі заводу створений Федеральний науково-виробничий центр "Московское машиностроительное производственное предприятие "Салют", у який також входять Науково-виробниче об'єднання "Эга", Машинобудівний завод "Агат", Московський верстатобудівний завод "Салют", Воскресенський машинобудівний завод "Салют", Нарофомінське федеральне об'єднання "Статор", Національний промисловий банк, страхова компанія "Согласие".

Наприкінці 2002 р. до складу ММПП "Салют" на правах Науково-технічного центру ввійшло **Машинобудівне конструкторське бюро "Гранит"**, засноване в 1946 р. як дослідно-конструкторське бюро заводу № 45. З лютого 1947 по червень 1956 р. головним конструктором ДКБ-45 (за сумісництвом) був В.Я. Климов, під керівництвом якого на підприємстві на базі декількох екземплярів купленого в англійської фірми "Rolls-Royce" двигуна "Nene" протягом року створювався турбореактивний РД-45. Двигун надалі широко використовувався на літаках МиГ-15, МиГ-15УТИ, Ла-168, Ла-176, Ту-12 та ін. Одночасно на основі РД-45 велися розробки більш потужних двигунів РД-45Ф (на основі "Nene-2"), ВК-1, ВК-1Ф та ін.

З 1957 р. бюро переключається на роботи, пов'язані з двигунами конструктора А.М. Люльки, займаючись їхнім доведенням і вдосконалюванням.

В останні роки для авіації загального призначення МКБ "Гранит" займалося розробкою турбовальних двигунів ТВД-400 потужністю 400 к.с. і ТВД-150 потужністю 150 к.с.

Для потреб енергетики разом з "ОМО им. П.И. Баранова" (м. Омськ) був створений газотурбінний модуль ГТУ-89СТ-20 (ГТЭ-20С), дослідний екземпляр якого знаходиться в експлуатації на електростанції м. Ямбурга.

Скорочення оборонних замовлень у край негативно позначилося на діяльності підприємства, чисельність працівників якого на момент об'єднання складала близько 300 чол. (раніше – більше 2000 чол.).

3.7.2. Продукція підприємства

У даний час, як і в попередні роки, основною продукцією ММПП "Салют" є виготовлення і сервісне обслуговування авіаційних двигунів. Лідируюче положення займає двигун АЛ-31Ф/ФП, на частку якого припадає понад 80 % від загального обсягу виробництва підприємства. Основні фінансові надходження пов'язані з експортними поставками в Китай, Індію та інші країни літаків сімейства Су-27, оснащених цими двигунами.

ММПП "Салют" також освоює виробництво двигуна АЛ-55, здійснює ремонт і сервісне обслуговування двигунів АЛ-21Ф та Р-15Б-300.

З 90-х років підприємство в кооперації з ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя) і ВАТ "УМПО" (м. Уфа) виготовляє частини двигунів Д-436Т1 і Д-27 розробки ЗМКБ "Прогрес" (м. Запоріжжя) для літаків Ту-334, Бе-200 та Бе-42, Ан-180, Ан-70 відповідно. За ММПП "Салют" закріплено більше 85 % комплектації і виробництва

двигуна АИ-222, розробленого ЗМКБ "Прогрес" для нового російського учбово-бойового літака Як-130.

Відділення промислових газотурбінних установок працює в трьох основних напрямках:

створенні газотурбінних агрегатів простого циклу на основі газогенераторів авіаційних двигунів;

створенні парогазових установок контактного типу з регенерацією циклової води;

створенні газотурбінних агрегатів з регенерацією тепла газів.

ММПП "Салют" займається також виготовленням різних товарів народного споживання. За завданням уряду м. Москви освоєне серійне виробництво газонейтралізаторів для автомобілів "Камаз", виготовляється більше 250 найменувань запасних частин для столичних ТЕЦ "Мосэнерго"*. Передбачається, що в найближчі роки цивільна продукція стане займати не менше 70 % від загального обсягу виробництва.

3.7.2.1. Газотурбінні агрегати простого циклу. У даний час ММПП "Салют" працює над створенням легких і дешевих газотурбінних агрегатів простого циклу в діапазоні потужностей 10...30 МВт. Дані агрегати базуються на газогенераторах авіаційних турбореактивних двигунів, які були зняті з експлуатації і зазнали конверсійної переробки.

Для сімейства газогенераторів АЛ-21 і АЛ-55 конструкторами МКБ "Гранит" розроблена вільна силова турбіна СТ-20 потужністю 20 МВт. На її основі створений газотурбінний агрегат ГТЭ-20С (раніше називався ГТУ-89СТ-20). У даний час налагоджується його серійне виробництво.

Розроблений також наземний газотурбінний привід ГТЭ-10 потужністю 10 МВт. Планується створення двигуна простої схеми потужністю 16 МВт.

На базі цих газотурбінних агрегатів можливе створення комбінованих установок, у яких із застосуванням котла-утилізатора коефіцієнт використання хімічної енергії палива може бути доведений до 0,9.

МКБ "Гранит" були також розроблені теплофікаційні газотурбінні установки "Гранит-80" і "Гранит-200" електричною (тепловою) потужністю 80 кВт (465 кВт) та 200 кВт (1045 кВт), призначені для малих підприємств і фермерських господарств. Головні зразки двигунів у даний час знаходяться в стадії досліджень.

У перспективі відділення промислових ГТУ ММПП "Салют" планує почати роботи зі створення газотурбогенератора для судна-нафтосховища потужністю 600 кВт із живленням газом, виділюваним з нафти за допомогою спеціального устаткування. Планується також розробка газотурбінного двигуна для тепловоза потужністю 1500 кВт та реверсивних двигунів для військово-морського флоту потужністю 10 і 20 МВт, які будуть працювати на дизельному паливі.

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.salut.ru.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-20С (ГТУ-89СТ-20)

Призначений для використання в ролі нагнітача природного газу компресорних станцій, а також силової установки електростанцій блокового типу. Агрегат ГТЭ-20С (рис. 3.7.1 та 21Д) відрізняється високим рівнем параметрів, здатністю до роботи в будь-яких кліматичних умовах, автоматичним підтриманням оптимальних режимів роботи і високою надійністю в експлуатації.

Газотурбінний агрегат складається з двох основних блоків: однокаскадного газогенератора і вільної силової турбіни СТ-20, встановлених послідовно на єдиній рамі (рис. 3.7.2). Газогенератор і силова турбіна поєднані перехідним дифузorzом. Вал силової турбіни через колектор вихлопних газів виведений назад до місця з'єднання з валом споживача потужності. На рамі розташовані основні системи, що забезпечують експлуатацію агрегату. Вихлопні газы повертаються в колекторі на 90° відносно осі ротора, чим забезпечується їхній вертикальний відвід.



Рис. 3.7.1. Газотурбінний агрегат ГТЭ-20С

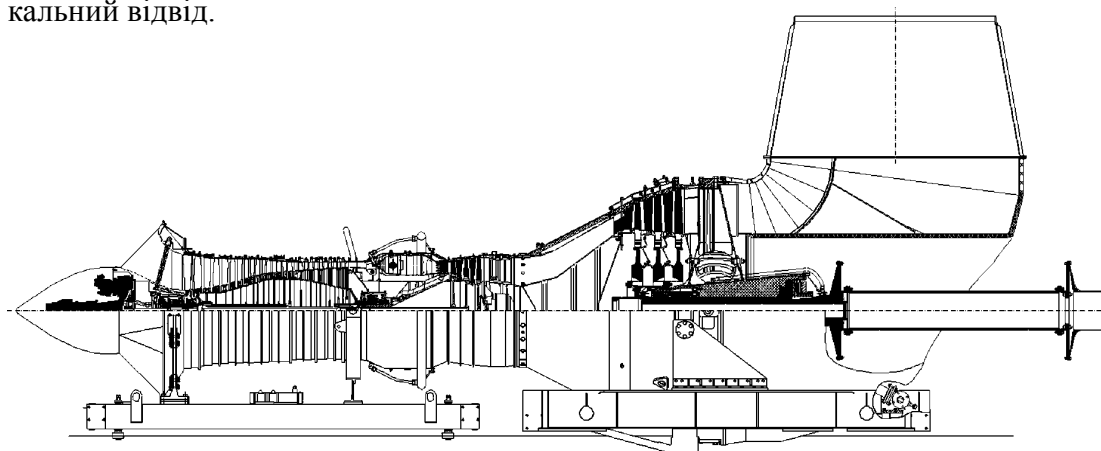


Рис. 3.7.2. Подовжній переріз агрегату ГТЭ-20С

Основні технічні параметри агрегатів ГТЭ-20С та ГТЭ-10 наведені нижче:

	ГТЭ-20С	ГТЭ-10
Номінальна потужність, МВт	20	10
Витрата повітря, кг/с	99,5	46,0
Міра підвищення тиску	14,0	13,3
Температура газів, К:		
початкова	1275	1286
на виході	734	733

	ГТЭ-20С	ГТЭ-10
Частота обертання силової турбіни, об/хв:		
для приводу генератора		3000
для приводу нагнітача газу	5560	5300
Паливо	природний газ, гас	
Тиск паливного газу, МПа		2,45
Ефективний ККД, %	31,5	32,0
Концентрація NO _x у вихлопних газах, мг/нм ³ , не більше		100
Рівень шуму (на відстані 1 м), дБ, не більше		80
Габарити, м	8,3×2,3×3,5	5,4×1,8×3,2

Газогенератор являє собою конверсійний варіант газогенератора турбо-реактивного двигуна АЛ-21Ф-3. Компресор осьовий, 14-ступінчастий. Для стійкої роботи виконаний дозвуковим. Особливість конструкції: десять поворотних напрямних апаратів (вхідний напрямний, апарати перших чотирьох та останніх п'яти ступенів) забезпечують високий ККД і газодинамічну стійкість у широкому діапазоні частот обертання ротора, а також дозволяють різко змінювати навантаження газогенератора. Мала маса компресора і двигуна в цілому обумовлена широким застосуванням титанових сплавів.

Камера згоряння прямоотокова, трубчасто-кільцева. Турбіна компресора виконана осьовою, триступінчастою. Вона має повітряну систему охолодження з автоматичним регулюванням витрати охолодного повітря.

У базовому двигуні АЛ-21Ф-3 міра підвищення тиску повітря в компресорі складає 14,5, початкова температура газів – 1373 К, ресурс до капітального ремонту – 650 год, призначений ресурс – 1800 год.

Вільна силова турбіна газотурбінного агрегату ГТЭ-20С також виконана осьовою, триступінчастою.

Керування режимами роботи забезпечується багатофункціональною гідромеханічною системою, яка дозволяє утримувати ГТД на холостому ходу генератора при різкому (аварійному) скиданні навантаження.

На базі агрегату ГТЭ-20С розроблені блокові електростанції БГТЭС-20С (без утилізації тепла) і БГТЭС-20ТС (з утилізацією тепла).

Установлення котла-утилізатора дозволяє збільшити корисне використання енергії, що виділяється в камері згоряння, до 85 %. При цьому додатково генерується (у вигляді пари і гарячої води) до 34 МВт теплової потужності.

Ресурс до капітального ремонту складає: для газогенератора – 25000 год, для силової турбіни – 50000 год. Призначений ресурс – відповідно 50000 і 100000 год.

Маса найважливого блока агрегату – силової турбіни з валопроводом і вихлопною системою на власній рамі – 6400 кг.

Система змащення двоконтурна замкнута, циркуляційна. Сумарна (на газогенератор, силову турбіну й електрогенератор) витрата масла складає 1,1 л/год (0,6 + 0,3 + 0,2). Час пуску і навантаження двигуна становить 20 хв, набору повного навантаження – 25 хв. Технічне обслуговування проводиться через кожні

1500 год напрацювання. Кількість обслуговуючого персоналу (на добу) складає 12 чол. (по 2–3 чол. у зміну).

Агрегат ГТЭ-20С виготовляється з 1996 р. У дослідно-промисловій експлуатації в даний час знаходяться три агрегати. З них один працює більше чотирьох років (на електростанції ГТЭС-72 м. Ямбурга).

У типовий комплект поставки електростанції БГТЭС-20С (БГТЭС-20ТС) входять: газотурбінний привід, синхронний генератор із системою збудження, вхідний повітряний тракт із системами очищення, підігріву, захисту і шумоглушіння, вихлопний тракт із шумоглушінням та утилізатором тепла для потреб теплофікації, система маслопостачання агрегату, система автоматичного керування, контролю і діагностики, комплекти приладів, інструментів та запасних частин.

Заводська вартість БГТЭС-20С залежить від комплектації, наявності шефмонтажних робіт, договірних зобов'язань і складає близько 300 дол/кВт (від 5,5 млн дол. США). Вартість газотурбінного приводу ГТЭ-20С складає 1,5 млн дол. США.

Газотурбінний агрегат ГТЭ-10

Створюється для роботи у складі загальної енергосистеми чи в автономному режимі, а також для вироблення теплової енергії (гарячої води чи пари) шляхом утилізації тепла вихлопних газів. Забезпечує нормальну працездатність при температурі зовнішнього повітря від -60 до $+45$ °С.

ГТЭ-10 (рис. 3.7.3) виконаний за простою схемою і складається з однокаскадного газогенератора та вільної силової турбіни. При встановленні котла-утилізатора додатково виробляється у вигляді пари і гарячої води до 22 МВт теплової потужності, коефіцієнт використання енергії палива зростає до 85 %.

Ресурс до капітального ремонту: газогенератора – 25000 год, силової турбіни – 50000 год. Призначений ресурс складає відповідно 50000 і 100000 год.

Система змащення двоконтурна замкнута, циркуляційна. Витрата масла (на газогенератор, силову турбіну й електрогенератор)

складає 1,1 л/год ($0,6 + 0,3 + 0,2$). Час пуску і навантаження становить 20 хв, набору повної потужності – 25 хв. Технічне обслуговування проводиться через кожні

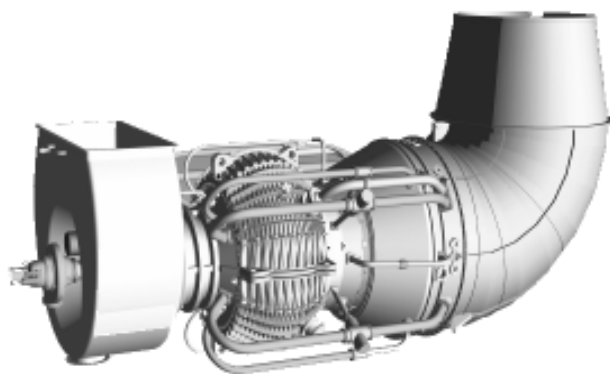


Рис. 3.7.3. Газотурбінний агрегат ГТЭ-10

1500 год напрацювання. Кількість обслуговуючого персоналу (на добу) складає 12 чол. (по 2–3 чол. у зміну).

Комплектність поставки блокової електростанції, виконаної на основі даного двигуна, відповідає комплектності електростанції БГТЭС-20С (див. раніше).

У даний час газотурбінний агрегат ГТЭ-10 цілком готовий до виробництва. Його вартість складає близько 1,2 млн дол. США.

Збільшення початкових параметрів газу дозволяє підвищити потужність агрегату до 12,5 МВт при ККД 33,5 %.

3.7.2.2. Парогазові установки контактного типу. Одним з основних напрямків дослідно-конструкторських робіт ММПП "Салют" в останні роки є створення газотурбінних енергетичних установок великої потужності (60...120 МВт) з утилізацією тепла газів. На відміну від традиційних парогазових схем ці агрегати виконані з подачею водяної пари, отриманої за рахунок утилізації, в проточну частину газової турбіни (за англomовною термінологією – варіант STIG). Відмінною рисою є також уловлювання води з вихлопних газів у контактному парогазовому конденсаторі і повернення її в цикл.

У створенні цих установок підприємством "Салют" необхідно відзначити значну роль науково-технічного заділу НВКГ "Зоря"- "Машпроект" (див. проект "Водолій").

До базового складу розроблюваних парогазових установок (рис. 3.7.4) входять такі основні елементи: газотурбінний двигун, парова турбіна з протитиском, котел-утилізатор, контактний конденсатор, димосос, електрогенератор з редуктором, теплонасосна установка.

Газотурбінний двигун для таких установок повинен мати високі міру підвищення тиску в компресорі (не менше 10) і температуру вихлопних газів. Досить високі параметри циклу досяжні при початковій температурі газу 1450...1650 К і температурі за ГТД 950...1050 К. Унаслідок орієнтації на варіант STIG у конструкції двигуна необхідно передбачити систему введення води в компресор, а також систему парового охолодження камери згоряння і турбіни.

Фахівцями ММПП "Салют" запропоновано для здешевлення проекту використовувати у складі установок матеріальну частину авіаційних двигунів, що використали свій ресурс. На даний час у Росії декількома серійними заводами виготовлені десятки тисяч ГТД. Значна їхня частина частково чи цілком виробила свій літний ресурс і незабаром буде утилізована.

Крім економії на виготовленні окремих вузлів ГТД немаловажним є також те, що використовуються конструкції, удосконалені і перевірені багаторічною експлуатацією. Економія витрат на дослідно-конструкторські і науково-дослідні роботи складе значну суму. При цьому зменшуються також терміни доведення застосовуваних вузлів та установок у цілому.

З відомих авіаційних двигунів конструктори ММПП "Салют" для створюваних установок вибрали найкращий елемент – компресор двигуна третього покоління

АЛ-21Ф-3. Він виконаний однокаскадним, має міру підвищення тиску 15 і розвинуте регулювання. Для збільшення ресурсу деякі вузли компресора були дороблені: в опорах замість підшипників кочення встановлені підшипники ковзання, значна частина поворотних лопаток після доведення закріплена нерухомо та ін.

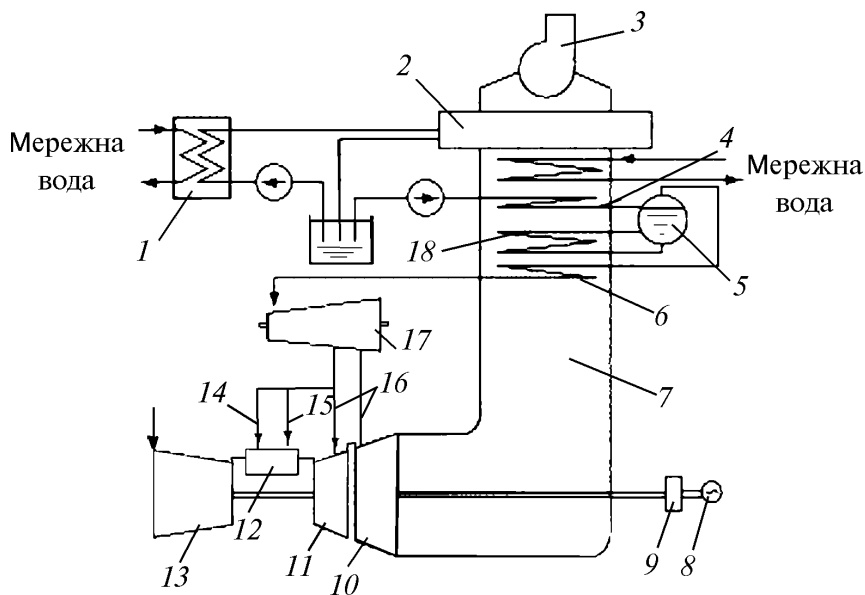


Рис. 3.7.4. Спрощена теплова схема парогазової установки:

1 – теплонасосна установка; 2 – контактний конденсатор; 3 – димосос; 4 – економайзер котла-утилізатора; 5 – сепаратор пари; 6 – пароперегрівник; 7 – котел-утилізатор; 8 – електрогенератор; 9 – редуктор; 10 – силова турбіна ГТД; 11 – турбіна компресора ГТД; 12 – камера згоряння ГТД; 13 – компресор ГТД; 14 – "екологічне" підведення пари; 15 – "енергетичне" підведення пари; 16 – підведення пари на охолодження ГТД; 17 – парова турбіна; 18 – випарник котла-утилізатора

Для зниження температури в зоні горіння камери згоряння ГТД, а отже і концентрації NO_x у вихлопних газах, частина пари подається безпосередньо в зону горіння (так зване "екологічне" підведення). Інша частина пари, що підводиться ("енергетичне" підведення), змішується з продуктами згоряння в зоні змішання та охолоджує їх до необхідної температури перед турбіною. Баластування газів парою також дозволяє зменшити вміст кисню й азоту в гарячій газопаровій суміші і, таким чином, знизити ймовірність їхнього хімічного з'єднання.

До складу парогазової установки входить протитискова парова турбіна, яка працює на парі високого тиску, одержуваній за рахунок тепла вихлопних газів у котлі-утилізаторі. Потужність турбіни в базовому варіанті використовується для приводу компресора ГТД (разом з відповідною газовою турбіною). Пара, відпрацьована в турбіні, надалі розділяється на два потоки: основна частина направляється назад у котел-утилізатор для перегріву і після цього (як пара низького тиску) –

у проточну частину газотурбінного двигуна, деяка ж кількість пари надходить безпосередньо в систему охолодження перших ступенів турбіни ГТД. Така схема забезпечує велику питому потужність з досить низьким значенням оптимальної міри підвищення тиску. Електричний ККД таких установок складає 51...53 %.

Водяна пара, яка міститься у відхідних газах, конденсується в розташованому за котлом-утилізатором двоступінчастому контактному конденсаторі. Вода, що утворилася, має досить високий тепловий потенціал (температура близько 70 °С). Для утилізації її тепла запропоновано використовувати парокompресійні теплонасосні установки (ТНУ), за допомогою яких здійснюється підігрів води теплофікаційної мережі. Загальний коефіцієнт використання енергії палива при цьому збільшується до 95 %.

Теплонасосна установка розроблена колективом ММПП "Салют". Її термодинамічний цикл наближується до циклу Лоренца, а коефіцієнт переділу дорівнює 7,5, що значно вище, ніж у застосовуваній в даний час "Мосэнерго" теплонасосної установки, яка працює на органічному холодоагенті. Заміна органічної робочої речовини на неорганічну (воду) забезпечує збільшення екологічної безпеки, спрощує експлуатацію і дозволяє підвищити рівень досяжних температур.

До складу теплонасосної установки ММПП "Салют" також входить компресор авіаційного двигуна АЛ-21Ф-3. На його основі розроблений цілий ряд таких установок потужністю 2...12 МВт. У створюваній парогазовій установці використовуються шість ТНУ загальною тепловою потужністю понад 52 МВт.

Для створення розрідження на виході з контактного конденсатора й опосередкованого зменшення навантаження на компресор ГТД біля газовихлопу встановлюється димосос. Потужність димососа вибирається як з погляду подолання гідравлічного опору котла-утилізатора і контактного конденсатора, так і за оптимальним температур у газовій турбіні.

Наявність в установці редуктора пов'язана з вибором частот обертання роторів силової турбіни й електрогенератора і є задачею конструкторської оптимізації ГТУ.

Парогазову установку даного типу відрізняють досить низькі рівні забруднення навколишнього середовища: емісія NO_x у відхідних газах не перевищує 50 мг/м³, їхня температура складає близько 30...60 °С.

Першою з подібних установок створена парогазова установка ГТЭ-60С потужністю 60 МВт, введення в експлуатацію дослідного зразка якої передбачалося в 2004 р. на ТЭЦ-28 м. Москви. Очікується, що установки даного типу знайдуть широке застосування в теплоенергетичних системах Росії.

Для залізничного порома (швидкість ходу 35 вуз, вантажопідйомність 300 вагонів), який буде функціонувати на Каспійському морі, обслуговуючи частину нового торгового шляху з Європи в Індію, фахівцями ММПП "Салют" на ініціативній основі був виконаний проект енергетичної установки сумарною потужністю 220 МВт, яка працює на чотири гребні гвинти. Енергетичний модуль кожного

гвинта являє собою окрему парогазову установку контактного типу. Сумарна маса всього енергетичного устаткування не перевищує 1000 т.

Модульна парогазова установка ГТЭ-60С

Парогазова установка ГТЭ-60С (також має назву ПГУ-60С або МЭС-60) призначена для роботи у складі загальної енергосистеми чи в автономному режимі, а також для вироблення теплової енергії (гарячої води чи пари) шляхом утилізації тепла вихлопних газів. Забезпечує нормальну працездатність при температурі зовнішнього повітря від -60 до $+45$ °С. Електростанція найбільш перспективна в регіонах з підвищеними вимогами до екології.

Технічні характеристики електростанції ГТЭ-60С наведені нижче:

Номинальна потужність:	
на валу силової турбіни ГТД	62 МВт
на клеммах генератора	60 МВт
Тепловая потужність (у вигляді гарячої води)	54 МВт
Коефіцієнт використання енергії палива	95 %
Ефективний ККД	51 %
Витрата повітря	86 кг/с
Міра підвищення тиску	11
Політропний ККД компресора	0,90
Паливо	природний газ
Тиск:	
паливного газу	1,7 МПа
пари високого тиску	8,3 МПа
Температура газів:	
початкова ГТД	1523 К
за силовою турбіною	865 К
на виході з установки	313 К
ККД турбіни:	
компресора	0,89
силової	0,93
парової	0,80
Частота обертання:	
силової турбіни ГТД	4700 об/хв
ротора електрогенератора	3000 об/хв
Паропроодуктивність системи високого тиску	57,5 т/год
Температура пари високого тиску	803 К
Концентрація NO _x у вихлопних газах	не більше 50 мг/м ³
Габарити	27,7×11,7×22,5 м
Рівень шуму (на відстані 1 м)	не більше 80 дБ

* При стандартних умовах та опорі повітроприймальної системи не більше 981 Па, опорі вихлопних пристроїв не більше 490 Па, ККД генератора 97,7 %.

Після парової турбіни в проточну частину газотурбінного двигуна пара буде надходити з тиском 1,275 МПа і температурою 603 К. "Екологічне" підведення

пари складе 3,96 кг/с (24,8 %), "енергетичне" – 9,4 кг/с (58,8 %), підведення пари високого тиску на охолодження – 2,62 кг/с (16,4 %).

На охолодження також надходить пара низького тиску (0,65 МПа) з температурою 503 К в кількості 1,8 кг/с.

Ресурс ГТД до капітального ремонту: газогенератора – 25000 год, силової турбіни – 50000 год. Призначений ресурс складає відповідно 50000 і 100000 год.

Система змащення двоконтурна замкнута, циркуляційна. Витрата масла (на газогенератор, силову турбіну й електрогенератор) складає 1,1 л/год (0,6 + 0,3 + 0,2). Час пуску і навантаження становить 60 хв, набору повної потужності – 90 хв. Технічне обслуговування проводиться через кожні 4000 год напрацювання. Кількість обслуговуючого персоналу (на добу) складає 12 чол. (по 2–3 чол. у зміну).

Маса найважчого блока (секція котла-утилізатора) складає 60 т.

Роботи над створенням ГТЭ-60С ведуться з 2001 р.

До типового складу ГТЭ-60С (рис. 3.7.5), який поставляється замовнику, входять: газотурбінний привід, редуктор, синхронний генератор із системою збудження, вхідний повітряний тракт із системами очищення, підігріву, захисту і шумоглушіння, паровий котел-утилізатор з водогрійною секцією мережної води, контактний конденсатор, протитискова парова турбіна, блок теплонасосної установки, вихлопний тракт із шумоглушінням, система маслопостачання, система автоматичного керування, контролю і діагностики, комплекти приладів, інструментів та запасних частин.

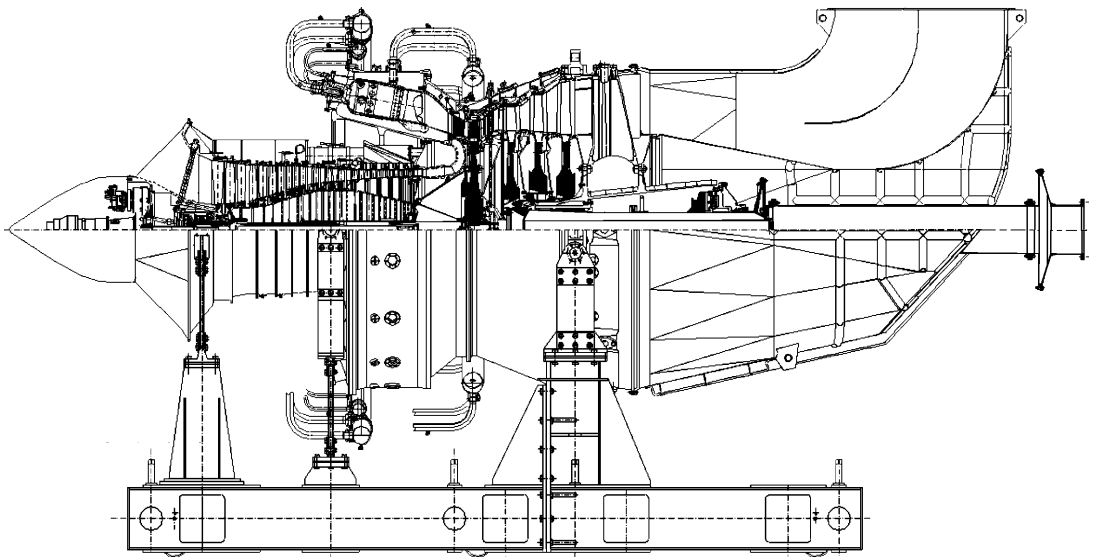


Рис. 3.7.5. Подовжній переріз двигуна енергоблока ГТЭ-60С

Вартість блоків-модулів електростанції без укріття і фундаментів складає приблизно 350 дол. США на 1 кВт її потужності. Проведення шефмонтажних робіт обходиться приблизно в 5 % від вартості блоків-модулів ГТЭ-60С.

Дослідний зразок ГТЭ-60С планується ввести в експлуатацію на ТЭЦ-28 м. Москви наприкінці 2004 р. Для здійснення цього в базовий варіант парогазової установки довелося внести деякі зміни, обумовлені специфікою конкретної площадки (зокрема, використанням уже існуючої там парової турбіни), що привело також і до зміни деяких термодинамічних параметрів. Так, у новому варіанті передвключена парова турбіна приводить в обертання не компресор ГТД, як передбачалося раніше, а електрогенератор.

З метою збереження заданої потужності (60 МВт) треба було скорегувати початково прийняті параметри циклу: збільшити міру підвищення тиску в компресорі і знизити витрату повітря. Ефективний ККД установки трохи знизився – до 49 %.

3.7.2.3. Газотурбінні агрегати з регенерацією тепла. Третім основним напрямком діяльності відділення промислових ГТУ ММПП "Салют", який знаходиться в даний час у стадії розробки, є створення газотурбінних агрегатів потужністю від 100 кВт до 10 МВт із регенерацією тепла газів. Такий термодинамічний цикл забезпечує досягнення високих значень ефективного ККД (40...45 %) із підтриманням їх у широкому діапазоні часткових навантажень. Передбачається можливість когенерації з підвищенням коефіцієнта використання енергії палива до 85 %.

У рамках даного напрямку розроблений проект газотурбінного агрегату ГТД-6РС потужністю 6 МВт. Двигун виконаний за одновальною схемою, у його опорах установлені підшипники ковзання. Відмітними рисами конструкції є низькоемісійна камера згоряння і розвинута система регулювання профілю проточної частини компресора. Призначений ресурс ГТД-6РС складе 100000 год, ефективний ККД перевищить 40 %.

При температурі повітря на вході в двигун вище 15 °С може бути застосована система його кондиціонування, яка дозволить зберегти номінальну потужність ГТД та істотно зменшити зниження ККД.

На виході з регенератора відхідні гази будуть мати досить високу температуру (близько 570 К). Це тепло можна використовувати, наприклад, обладнавши ГТД-6РС паровим чи водогрійним утилізаційним котлом, що фактично перетворить його в малу теплоелектроцентрально. При роботі з утилізаційним котлом корисне використання енергії палива залежно від виду теплоносія буде знаходитися в межах від 80 (у випадку вироблення пари високих параметрів) до 95 % (у випадку гарячої води).

Газотурбінний агрегат ГТД-6РС із погляду застосування є багатоцільовим. Можливе його використання для приводу генератора електричного струму, нагнітача газу компресорної станції чи у складі головної суднової енергетичної установки на гвинт регульованого кроку.

Для приводу тепловозів розробляється регенеративний агрегат ГТД-1000 потужністю 1000 кВт. У перспективі ММПП "Салют" планує також розробку і створення агрегату потужністю 400 кВт.

Література до підрозд. 3.7

1. Ананенков А., Романов Н., Салихов З. Газовые турбины для региональной энергетики. Опыт Ямбургской ГТЭС-72 // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 3. – С. 5–7.
2. Беляев В., Маркелов А. Газотурбинные установки с энергетическим впрыском пара // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 4. – С. 23–24.
3. Влияние расхода охлаждающего пара на характеристики парогазовых установок с впрыском пара / В.Е. Беляев, А.С. Косой, Д.В. Листопадов, А.П. Маркелов // Теплоэнергетика. – 2002. – № 9. – С. 47–51.
4. Елисеев Ю., Беляев В. Новое приложение сил // Двигатель. – 2000. – № 4. – С. 16–18.
5. Елисеев Ю., Беляев В., Косой А. Авиационные технологии в энергетике // Двигатель. – 2001. – № 6. – С. 30–33.
6. Елисеев Ю., Беляев В., Косой А. Для коренной реконструкции энергетического комплекса страны // Двигатель. – 2000. – № 5–6. – С. 25–28.
7. Елисеев Ю., Беляев В., Маркелов А. Парогазовая установка контактного типа для ТЭЦ-28 // Двигатель. – 2002. – № 3. – С. 12–15.
8. Елисеев Ю., Беляев В., Синкевич М. Концепция создания ГТД-6РС // Двигатель. – 2001. – № 3. – С. 38–41.
9. Комплексная парогазовая установка с впрыском пара и теплонасосной установкой (ПГУ МЭС-60) для АО "Мосэнерго" / О.Н. Фаворский, В.М. Батенин, Ю.А. Зейгарник, В.М. Масленников // Теплоэнергетика. – 2001. – № 9. – С. 50–58.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування в ММПП "Салют".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінного агрегату ГТЭ-20С (ГТУ-89СТ-20).
4. Проаналізуйте склад і технічні характеристики розроблюваних на підприємстві парогазових установок контактного типу.
5. Дайте характеристику конструкції парогазової установки ГТЭ-60С (МЭС-60).
6. Поясніть будову й особливості розроблюваних ММПП "Салют" газотурбінних агрегатів з регенерацією тепла.



3.8. ВАТ "ТМЗ"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Турбомоторный завод".

Адреса підприємства: 620017, Росія, м. Єкатеринбург, вул. Фронтových бригад, 18.

3.8.1. Відомості про підприємство

Рішенням уряду СРСР 2 жовтня 1938 р. у м. Свердловську був створений Уральський турбінний завод. Перша парова турбіна АТ-12 потужністю 12 МВт була зібрана і випробувана в травні 1941 р.*

З початком Великої Вітчизняної війни на заводську площадку був евакуйований з Ленінграда дизельний відділ Кіровського заводу, а з Харкова – турбогенераторний завод. Разом з уральцями вони швидко налагодили випуск танкових дизелів В-2, а також запчастин для ремонту і відновлення турбін на зруйнованих електростанціях.

Важливою віхою в розвитку підприємства став післявоєнний період. Моторний і турбінний заводи 5 квітня 1946 р. були об'єднані в єдиний Уральський турбомоторний завод. З цього часу всі вироби випускаються з новою емблемою – ТМЗ.

По закінченні війни відновилося виробництво парових турбін, одиничні потужності яких безупинно підвищувалися – спочатку 25, потім 50, 100 (110), 135 (140), 175 (185) і 250 МВт. У 80-х роках був розроблений проект і розпочата технологічна підготовка виробництва найбільшої теплофікаційної турбіни потужністю 450...500 МВт для атомних ТЕЦ. За весь період існування було випущено більше 800 турбоагрегатів**.

Газотурбобудування на підприємстві Уральський турбомоторний завод ім. К.Є. Ворошилова почало розвиватися на базі паротурбінного виробництва в 1959–1960 рр., коли в Радянському Союзі була намічена програма різкого росту видобутку, транспортування і використання в народному господарстві природного газу, а завод був включений у список підприємств – виготовлювачів газоперекачувальних агрегатів.

У короткий термін на підприємстві були створені конструкторське бюро й експериментальна база та організована робота з дослідження, конструювання і доведення газотурбінних агрегатів. Одночасно без уведення нових площ створюються потужності по виробництву газоперекачувальних агрегатів, розробляються й освоюються нові технологічні процеси.

* Дотепер продовжує виробляти енергію на електростанції підприємства Іжевський металургійний завод.

** За останні п'ять років для Росії – тільки 8 турбін, для Китаю – 13.

У 1962 р. був виготовлений головний зразок газотурбінного агрегату типу ГТ-6-750 потужністю 6 МВт з нагнітачем природного газу Н-300-1,23. Агрегат простої схеми при початковій температурі газу 1023 К мав на той час досить високу ефективність і гарні масогабаритні показники. У 1972 р. цим ГТД був присвоєний державний Знак якості.

У зв'язку з розробкою родовищ газу у важкодоступних районах, де умови транспортування і монтажу утруднені, а скорочення обсягу будівельно-монтажних робіт і термінів їхнього виконання має велике значення, був обраний (на відміну від ВАТ "Невський завод") напрямок на створення серії безпідвальних блокових автоматизованих агрегатів.

Досвід, накопичений при створенні ГТ-6-750, дозволив розробити серію газоперекачувальних агрегатів потужністю 6, 16 і 25 МВт: перший зразок агрегату типу ГТН-6 був виготовлений у 1975 р., ГТН-16 – у 1976 р. (серійне виробництво – з 1983 р.), ГТН-25 – у 1986 р. Сьогодні газотурбінні агрегати потужністю 6...16 МВт працюють на магістральних газопроводах, транспортуючи природне паливо в міста країни і на експорт.

У 1988 р. ВАТ "ТМЗ" почало дослідження модернізованої версії газоперекачувального агрегату ГТН-16М потужністю 16 МВт. У 90-х роках розробляються вдосконалені модифікації двигунів ГТН-6У та ГТН-25-1 потужністю 6 і 25 МВт.

Конструкторським бюро заводу, яке працює в галузі газового турбобудування, наприкінці 60-х років була створена оригінальна конструкція газової утилізаційної безкомпресорної турбіни (ГУБТ), що надалі добре зарекомендувала себе в експлуатації як на найбільших радянських металургійних заводах, так і за рубежом (зокрема, у Японії). У світовій практиці в той час це був перший працездатний агрегат такого типу.

Одним з напрямків виробничої діяльності ВАТ "ТМЗ" починаючи з воєнного періоду є дизелебудування. Багато типів двигунів підприємства відрізняються високими техніко-економічними показниками й у радянський період неодноразово були відзначені державним Знаком якості.

У 1976 р. на базі підприємства створюється Виробниче об'єднання "Турбомоторний завод ім. К.Е. Ворошилова". У 1993 р. воно було приватизовано і зараз іменується ВАТ "Турбомоторний завод".

У даний час ВАТ "ТМЗ" є одним з провідних машинобудівних підприємств Росії, яке здійснює проектування і виробництво парових теплофікаційних турбін, призначених для комбінованого вироблення електричної і теплової енергії. Завод має високий науково-технічний потенціал, сучасне виробництво, передові технології та оснащений різноманітним устаткуванням.

Підприємство спеціалізується також на випуску газових турбін, газоперекачувальних агрегатів для транспортування природного газу, дизель-моторів для бурових установок, транспортних та інших машин, дизель-електричних агрегатів, потужних дизелів для великовантажних автосамоскидів, турбокомпресорів для наддування дизелів.

З метою формування ринку збуту турбін, вироблених заводом, разом з австралійською інжиніринговою компанією "World Wide Energy" створена компанія "Turbomotor Energy". Проробляються спільні проекти з установлення турбін ГУБТ на металургійних комбінатах в Австралії, Німеччині, Індії, Бразилії та інших країнах.

До кінця 2003 р. планувалося провести розподіл ВАТ "ТМЗ" на два незалежних підприємства – ЗАТ "Уральский турбинный завод" і "ТМЗ-дизель". Частка ВАТ "ТМЗ" у статутному капіталі ЗАТ "Уральский турбинный завод" складе 49 % і буде внесена виробничими потужностями. Частка інвесторів (компанії "Ренова" і "Синтез") складе 51 % від статутного капіталу, ці кошти підуть на модернізацію виробництва. Статутний капітал ЗАТ "УТЗ" складе більше 750 млн руб.

3.8.2. Продукція підприємства

Основними видами продукції, що випускається в даний час ВАТ "ТМЗ", є:
парові теплофікаційні турбіни потужністю 25...265 МВт;
привідні й енергетичні газотурбінні двигуни потужністю 6...32 МВт;
газоперекачувальні агрегати для транспортування природного газу;
швидкохідні дизельні мотори для бурових установок, транспортних та інших машин, а також виконані на їхній основі дизель-генератори і дизельні електростанції;

уніфіковані турбокомпресори типу ТКР-14 (11 модифікацій), ТКР-23В-1, ТКР-23Н-2Б, ТКР-23С-2Л для наддування дизелів;

турбіни газові утилізаційні безкомпресорні типу ГУБТ для доменного виробництва;

турбіни газові утилізаційні розширювальні типу ТГУ-11;

силосозбиральні комбайни КСС-2,6.

У різноманітному асортименті випускаються також товари народного споживання.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного устаткування, яке випускається підприємством*.

Газоперекачувальні агрегати ГТН-6У, ГТН-16М-1 та ГТН-25-1

Газоперекачувальний агрегат **ГТН-6У** (рис. 22Д) призначений для оснащення нових і реконструкції існуючих компресорних станцій. Заміна агрегатів у першу чергу відноситься до цехів, оснащених агрегатами виробництва ВАТ

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.tmw.ru.

"Турбомоторный завод" типу ГТ-6-750 і ГТН-6, які морально застаріли і зберігаються в експлуатації лише завдяки високій надійності і великому ресурсу (120 тис. год, напрацювання на відмову 5700 год). Новий агрегат має в 2,5 разу меншу масу і на 26 % меншу питому витрату палива.

ГТН-6У виконаний у вигляді окремих універсальних модулів. Модульність агрегату дозволяє провести реконструкцію цехів з різними позначками встановлення газоперекачувального агрегату і з мінімальним обсягом будівельно-монтажних робіт.

При виготовленні головного зразка ГТН-6У здійснювалася широка кооперація з конверсійними підприємствами. У даний момент проводяться випробування агрегату на заводському стенді. З ВАТ "Газпром" погоджений варіант встановлення ГТН-6У на компресорній станції "Єлець" ("Мострансгаз").

ГТН-6У є подальшим розвитком агрегату ГТН-6, який серійно випускався підприємством з кінця 70-х років і добре себе зарекомендував (рис. 3.8.1). Також як і ГТН-6, він виконаний двовальним, з вільною силовою турбіною. Осьовий 15-ступінчастий* компресор, камера згоряння і турбіни (відповідно три- і дво-ступінчасті) скомпоновані в спільному силовому корпусі.

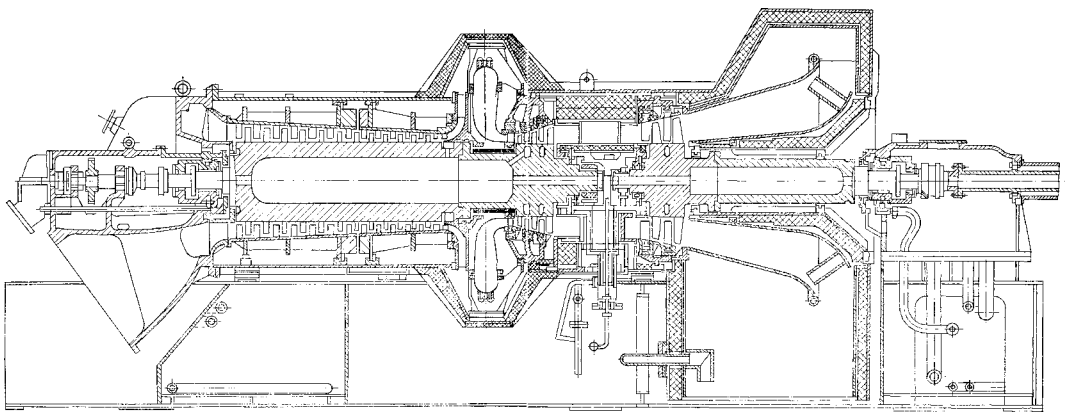


Рис. 3.8.1. Подовжній переріз газотурбінного двигуна агрегату ГТН-6

Ротори турбокомпресора і силової турбіни складеної конструкції, з опорами, розміщеними на кінцях. Задній опорний підшипник ротора турбіни компресора і передній ротора силової турбіни змонтовані в спільному корпусі (проміжній вставці), зовнішній пояс якого пов'язаний з корпусом підшипників чотирма радіальними ребрами.

Силовий корпус ГТД виготовлений зварно-штампованим, має спільне горизонтальне фланцеве рознімання і два технологічних вертикальних рознімання. У кільцеві розточки внутрішніх виступів корпусу встановлені обойми напрямного

* У ГТН-6 – 11-ступінчастий компресор.

апарата компресора і соплового апарата турбіни компресора. Напрямні лопатки компресора мають призматичні хвостовики, що входять у прямокутні пази сегментів. Сегменти з лопатками монтуються в кільцевих проточках обойм. У горизонтальній площині обойми мають фланцеве рознімання.

До переднього вертикального фланця кріпиться лита вхідна частина з двох половин, нижня з яких відлита заодно з корпусом переднього підшипника і вузлом пускового пристрою, у ролі якого використовується турбодетандер, що працює на природному газі. Вісь вхідного патрубка, розташованого в нижній половині виливка, спрямована під кутом 45° до осі агрегату з метою створення більш рівномірного поля швидкостей на вході в напрямний апарат компресора.

Силовий корпус спирається лапами на вертикальні стояки, пов'язані з фундаментною рамою, яка є одночасно маслобаком агрегату.

Соплові лопатки турбіни компресора зібрані в литі сегменти (по чотири в кожному сегменті), які підвішені на відповідних виступах обойми. Заодно із сегментами відлиті козири, що розташовані над вершинами робочих лопаток і утворюють необхідні радіальні зазори.

До заднього вертикального фланця силового корпусу кріпиться вихлопна частина ГТД, у кільцеву проточку внутрішнього виступу якої встановлена обойма соплових апаратів силової турбіни. У вихлопній частині розміщений осерадіальний вихідний дифузор. Задній опорно-упорний підшипник ротора силової турбіни розташований в окремому корпусі, встановленому на спільній фундаментній рамі.

Газоперекачувальні агрегати **ГТН-16М-1** та **ГТН-25-1** з потужністю приводу 16 і 25 МВт встановлюються на компресорних станціях сучасних газопроводів діаметром до 1420 мм.

Кожний з агрегатів оснащується сімейством нагнітачів природного газу на кінцевий тиск 0,6...7,5 МПа продуктивністю 12...51 млн $\text{м}^3/\text{добу}$.

Газотурбінні двигуни максимально уніфіковані між собою і виконані за схемою простого відкритого циклу без регенерації тепла газів. Розходження в потужності агрегатів ГТН-16М-1 і ГТН-25-1 забезпечується вибором відповідних параметрів і конструкції деталей гарячого тракту.

Поздовжній переріз газоперекачувального агрегату ГТН-16М-1 показаний на рис. 3.8.2. Газотурбінний двигун виконаний за традиційною для підприємства двовальною схемою. Двоступінчаста турбіна обертає 15-ступінчастий осьовий компресор. Одноступінчаста вільна силова турбіна безпосередньо поєднана з ротором повнонапірного нагнітача. ГТД, нагнітач і вузли регулювання змонтовані на єдиній рамі-маслобаку, усередині якої знаходяться елементи системи маслопостачання.

Осьовий компресор утворений шляхом надбудови трьома ступенями перевереного в експлуатації компресора агрегату ГТ-6-750. Перший ступінь трансзвуковий, другий і третій – дозвукові. Для забезпечення стійкої роботи при часткових навантаженнях і запуску перші чотири ряди напрямних апаратів виконані

поворотними та керуються одним сервомотором системи регулювання. Додатково при запуску з 3-го і 6-го ступенів здійснюється випуск повітря через проти-помпажні клапани.

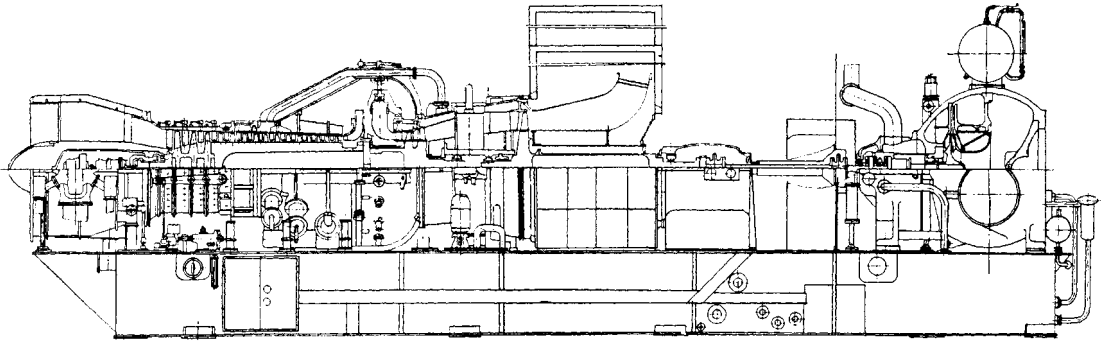


Рис. 3.8.2. Загальний вигляд газоперекачувального агрегату ГТН-16М-1

Турбіна компресора складається з двох ступенів високої циркуляції. Робочі лопатки 1-го ступеня мають бандажні полиці з радіальними лабіринтовими ущільненнями, у 2-му ступені бандажних полиць немає. Вихід потоку осьовий, соплові лопатки 1-го ступеня охолоджувані, литі, пустотілі з тонколистовим штампованим дефлектором і випуском повітря через вихідну крайку, робочі лопатки неохолоджувані.

Ротор турбокомпресора двохопорний, гнучкий. Конструкція ротора збірна. Перші три ступені компресора виконані у вигляді дисків, поєднаних з барабанною частиною центральною стяжкою. Робочі лопатки цих ступенів, виготовлені з титанового сплаву, кріпляться на дисках "ластівчиним хвостовиком", який забезпечує помірні напруження в гребенях ротора і збільшений ефект аеродемпфірування (це особливо важливо при трансзвуковій течії).

На барабанній частині робочі лопатки мають зубчиковий хвостовик і заводяться в колові пази ротора. Диски турбіни компресора з хіртовим з'єднанням кріпляться до барабанної частини десятьма периферійними стяжними болтами.

Ротори виготовлені з малолегованих хромонікелевих (перлітних) сталей. Максимальна температура ободів дисків турбіни компресора за умовами ресурсу не перевищує 753 К, що забезпечується повітряним охолодженням.

Камера згоряння кільцевого типу (рис. 3.8.3) вбудована в корпус між компресором і турбіною. Вона складається з жорсткого несучого каркаса, який має горизонтальне рознімання і кріпиться до ободів турбіни компресора. Зсередини вона облицьована тонколистовими (2,5 мм) штампованими елементами з жароміцного нікелевого сплаву, які мають свободу теплових розширень в коловому і радіальному напрямках та фіксовані в центрі. Поділ стінок камери на велике число механічно незалежних елементів забезпечує в них малі напруження навіть при великих градієнтах температур. Фронтний пристрій утворений 20 форсунками реєстрового типу, дві з яких пускові.

Силова турбіна одноступінчаста. Ротор турбіни двохопорний, складений, гнучкий. Великий ресурс ротора при високому рівні напружень забезпечується системою повітряного охолодження, у якій повітря з проміжного ступеня компресора подається під дефлекторний диск, захищаючи передній торець несучого диска, а потім через монтажні зазори хвостовиків і під полицями робочих лопаток тече в напрямку вихідного патрубка. Температура обода диска підтримується на рівні 620 К.

Несучий корпус ГТД являє собою зварену конструкцію з горизонтальним і трьома вертикальними роз'їмами та складається із вхідного патрубка компресора з чотирма стояками вбудованого опорно-упорного підшипника, передньої частини циліндра компресора з розташованими на ній механізмами повороту напрямних апаратів, середньої частини з обоймами "гарячих" ступенів компресора та турбіни компресора, а також корпусу турбіни із вбудованим підшипником роторів обох турбін. У зубі корпусу турбіни кріпиться нерознімна обойма із сопловим апаратом силової турбіни і вихідний дифузор.

Ротори силової турбіни і нагнітача природного газу поєднані суцільним проміжним валом із двома гнучкими муфтами мембранного типу. Особливістю їх є здатність передачі осьових зусиль від силової турбіни до нагнітача, в результаті чого єдиний упорний підшипник сприймає різницю осьових зусиль. Для конструкції характерна також слабка чутливість до розцентрування роторів.

Для ГТД і нагнітача застосована єдина масляна система. На валу силової турбіни розташовані відцентрові головний маслonaсос, який забезпечує гідравлічну частину системи регулювання і систему змащення, насос маслоохолоджувачів і дотискний шестерний насос ущільнень нагнітача. Пуск і зупинка агрегату забезпечуються двома електропривідними насосами: відцентровим (для системи змащення) і гвинтовим (для ущільнень нагнітача).

Система охолодження масла повітряна, одноконтурна.

Нагнітачі природного газу, застосовані в агрегатах ГТН-16М-1 і ГТН-25-1, виконані одно- і двоступінчастими, проточні частини кожного сімейства нагнітачів максимально уніфіковані та розміщуються в тому самому корпусі.

Газотурбінний двигун і нагнітач мають власні рами, які стикуються при монтажі на компресорній станції, утворюючи газоперекачувальний агрегат.

Агрегати (табл. 3.8.1) оснащені протиобліднювальною системою, що забезпечує автоматичну подачу гарячого повітря на обігрів вхідного напрямного апарата компресора, а також системою подачі випускних газів на вхід комплексної повітроочисної установки і повітряного тракту.

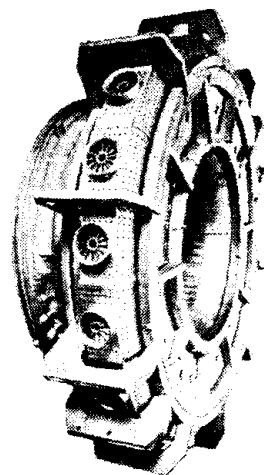


Рис. 3.8.3. Кільцева камера згоряння ГТН-16

Сучасні газотурбінні агрегати

Таблиця 3.8.1. Основні технічні характеристики газоперекачувальних агрегатів

Параметри	ГТН-6У*		ГТН-16М-1	ГТН-25-1
Потужність на валу силової турбіни, МВт	6,5		16,8	25,0
Витрата повітря, кг/с	33		85	103
Міра підвищення тиску	12,0		11,5	13,0
Температура газів, К: початкова за ГТД	1193 683		1193 693	1353 753
Частота обертання турбі- ни, об/хв: компресора силової	10800 8200		6900 5100	– 5650
ККД двигуна, %	31		31	32
Габарити турбоблока, м	9,5×3,2×3,3		–	–
Маса турбоблока, т	25		64	64
Типи нагнітачів природного газу	Н-6-56-1,25У	2Н-6-76-1,5У	2Н-16-76-1,44М-1 2Н-16-76-1,5М-1 2Н-16-76-1,37М-1 2Н-16-56-1,44М-1	2Н-25-76-1,44
Об'ємна продуктивність, м ³ ·10 ⁶ /добу	20,5	12,0	33,3	47,0
Політропний ККД в об- ласті робочих режимів, %, не менше	83			
Відношення тисків	1,25	1,5	1,44/1,5/1,37	1,44
Тиск газу на виході з на- гнітача, МПа	5,5	7,5	7,5/5,5	7,5
Кількість ступенів у на- гнітачі	1	2	2	2
Габарити ГПА, м	16,7×3,2×3,8		14,6×3,2×3,6	

* У стадії випробувань.

Пуск газотурбінного двигуна здійснюється за допомогою турбодетандера, який працює на природному газі, або електропривода. Агрегати встановлюють-
ся на позначці 0,5 м.

Основний блок ГТД на рамі-маслобаку і блок нагнітача на рамі нагнітача представляються у вигляді окремих транспортабельних місць.

Енергетичні газотурбінні агрегати ГТЭ-6, ГТЭ-6У, ГТЭ-16 та ГТЭ-25У

Призначені для приводу електрогенераторів і використовуються:

як автономні джерела електро- і теплопостачання у віддалених від енергосистем та нових освоюваних районах;

як резервне джерело електропостачання відповідальних об'єктів народного господарства в звичайних та особливих умовах, у тому числі для покриття піків електричного навантаження тривалістю 200...500 год/р.;

у складі ТЕЦ;

у складі парогазових установок з котлом-утилізатором і паровою турбіною чи з енергетичним котлом при скиданні в нього вихлопних газів.

Конструктивною базою для енергетичних газотурбінних агрегатів стали газотурбінні двигуни газоперекачувальних агрегатів ГТН-6, ГТН-6У, ГТН-16М-1 і ГТН-25-1 з урахуванням їхньої максимальної уніфікації та досвіду експлуатації. Для зниження частоти обертання до складу газотурбінних агрегатів включається редуктор (табл. 3.8.2).

**Таблиця 3.8.2. Основні технічні характеристики енергетичних агрегатів
(в умовах ISO 2314)**

Параметри	ГТЭ-6	ГТЭ-6У*	ГТЭ-16	ГТЭ-25У*
Потужність, МВт:				
номінальна	6,12	6,35	16,46	32,0
максимальна	7,2	7,8	20,0	36,0
ККД при потужності, %:				
номінальний	23,5	31,0	30,4	32,5
максимальний	25,5	32,5	32,4	35,0
Міра підвищення тиску	6,2	12,0	11,5	13,5
Витрата повітря, кг/с	45	33	85	125
Температура газів, К:				
початкова	1033	1193	1193	1333
за ГТД	688	679	693	739
Частота обертання, об/хв:				
силової турбіни	6075	8200	5100	5940
вихідного вала редуктора		3000		

* У стадії розробки.

Продовж. табл. 3.8.2

Параметри	ГТЭ-6	ГТЭ-6У*	ГТЭ-16	ГТЭ-25У*
Паливо: основне резервне	Природний газ Дизельне паливо			
Маса турбоблока, т	45,0	25,0	66,2	50,0
Габарити, м:				
довжина	8,4	10,3	11,2	8,1
ширина	3,4	3,5	3,2	3,2
висота	3,6	3,3	3,6	4,3

* У стадії розробки.

Одновальний газотурбінний двигун ГТЭ-25У розробляється конструкторським бюро газових турбін ВАТ "ТМЗ" з 1996 р. на замовлення "Мосенерго". Головний зразок двигуна планувалося виготовити в 1997 р. Однак через матеріальні утруднення замовника цього вчасно зробити не вдалося. Відповідно до підписаного в травні 2002 р. протоколу наради про хід виконання робіт зі співробітництва АТ "Мосенерго" і ВАТ "ТМЗ" головний зразок ГТЭ-25У планувалося запустити в експлуатацію на ТЭЦ-29 м. Москви наприкінці 2003 р.

Газові утилізаційні турбіни типу ГУБТ

Призначені для виробництва електричної енергії за рахунок надлишкового тиску доменного газу на металургійних заводах. Застосування ГУБТ дозволяє практично без витрат палива повертати до 40 % енергії, затраченої на доменне дуття. Вони легко вбудовуються в технологічний цикл як нового, так і діючого доменного устаткування. Потужність, що фактично розвивається турбінами, залежить від режиму роботи доменної печі і визначається витратою та тиском газу, що виходить з турбіни. Залежно від цього розроблено кілька модифікацій утилізаційних турбін: ГУБТ-12М, ГУБТ-8М, ГУБТ-6М потужністю 12, 8 і 6 МВт відповідно (табл. 3.8.3). Турбіни осьові, двоступінчасті, прямотокові. Можуть поставлятися з газопідігрівниками і без них.

У конструкції турбін передбачені поворотний напрямний апарат, який дозволяє здійснювати настроювання турбіни на умови роботи доменної печі в процесі експлуатації, та оригінальний швидкодіючий запірно-регулюючий орган (спеціальні заходи для попередження витоків доменного газу в машинний зал).

Турбіни оснащені дистанційними автоматизованими системами керування, контролю та захисту і гідродинамічною системою регулювання. Їхня експлуатація дозволяє обходитися без обслуговуючого персоналу в машинному залі.

Розробка і створення даних турбін ведуться на підприємстві з кінця 60-х років.

Таблиця 3.8.3. Основні технічні параметри турбін типу ГУБТ

Параметри	Марки турбін					
	ГУБТ-12М		ГУБТ-8М		ГУБТ-6М	
	з газопід- грівником	без газопі- дгрівника	з газопід- грівником	без газопі- дгрівника	з газопід- грівником	без газопі- дгрівника
Потужність на ва- лу турбіни, МВт	12	10	8	7	6	5
Внутрішній відно- сний ККД, %	85	84	85	84	85	84
Витрата доменно- го газу через турбі- ну*, м ³ /год	3,6·10 ⁵	4,1·10 ⁵	2,6·10 ⁵	2,9·10 ⁵	2,4·10 ⁵	2,7·10 ⁵
Тиск доменного газу, Мпа: перед турбіною абсолютний за турбіною	0,32		0,29 0,11		0,26	
Температура до- менного газу перед турбіною, К	413	313	393	313	393	313
Частота обертання ротора, об/хв	3000					
Габарити, м	6,4×2,1×2,8					
Маса, т	58,0	54,3	58,0	54,3	58,0	54,3

* Віднесена до нормальних умов.

З 1974 р. ВАТ "ТМЗ" поставило замовнику 18 турбін ГУБТ-12 загальною потужністю 216 МВт. З них: у Росію – 4, Україну – 4 (усі на Криворізький металургійний завод), Казахстан – 2, Японію – 5, Італію – 1, Індію – 2. З 1968 р. виготовлено три турбіни ГУБТ-8 (у Росію – 1, Україну – 2). У 1969 р. одна турбіна ГУБТ-6 поставлена на Магнітогорський металургійний комбінат.

Газові утилізаційні турбіни типу ТГУ-11

Створюються на основі багаторічного досвіду виготовлення й експлуатації газових турбін типу ГУБТ. Призначені для утилізації надлишкового тиску природного газу, що надходить на теплоелектростанцію, шляхом вироблення електро-

енергії. Дана енергозберігаюча технологія дозволяє додатково одержувати від 0,3 до 15,0 МВт електричної енергії.

Для подачі природного газу до споживачів на газорозширювальних станціях здійснюється дроселювання природного газу з тиску в магістральних газопроводах (7,5...2,5 МПа) до тисків, необхідних споживачу: 1,2 МПа – житлові масиви, 2...4 МПа і менше – ДРЕС і ТЕЦ. При цьому потенційна енергія газу втрачається в дросельних пристроях газорозширювальних станцій і газорегулюючих пунктів. Так, на витраті газу, використовуваного паротурбінним блоком 800 МВт, з перепадом тисків 1,1...0,17 МПа може бути отримана додаткова потужність більше 11 МВт.

Установка розташовується поруч з пунктом редукування, вбудовується в газовий тракт паралельно з групою дросельних пристроїв. Залежно від параметрів природного газу може паралельно встановлюватися одна чи кілька установок.

Підприємство ВАТ "ТМЗ" може виготовити утилізаційні турбіни в діапазоні потужностей 3...15 МВт.

У комплект поставки входять турбодетандер, гідрогенератор, блок регулюючого, стопорного і байпасного клапанів, система автоматичного регулювання і контролю, система змащення, комплект запасних частин та пристрої для ремонту.

За розрахунками фахівців заводу, термін окупності установки складає дещо більше трьох років.

Основні технічні параметри ТГУ-11 на номінальному режимі наведені нижче:

Потужність на муфті генератора	11,5 МВт
Тиск газу абсолютний:	
перед стопорним клапаном	1,1 МПа
за турбіною	0,17 МПа
Температура газу перед турбіною	408 К
Витрата газу	42,5 кг/с
Частота обертання ротора	3000 об/хв
ККД з урахуванням утрат на регулюючих і стопорних клапанах	не менше 85 %
Габарити	5,3×2,9×2,3 м
Маса в об'ємі поставки	65 т

Література до підрозд. 3.8

1. *Акимов Н.К., Колчанов А.П., Курош В.Д.* Освоение производства энергетической газотурбинной установки ГТЭ-25У в ОАО "ТМЗ" // Тяжелое машиностроение. – 1998. – № 9. – С. 15–17.
2. Газотурбинные установки. Конструкции и расчет / Под общ. ред. *Л.В. Арсеньева*. – Л.: Машиностроение, 1978.
3. *Колчанов А.* ГТН-6У – стационарный газоперекачивающий агрегат // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 21–22.

4. Подберезин О.Л., Осипенко В.Н., Проскуряков Г.В. Новый газоперекачивающий агрегат мощностью 16 МВт // Энергомашиностроение. – 1983. – № 2. – С. 2–5.
5. Шаблаков В. ОАО "Турбомоторный завод" // Двигатель. – 2001. – № 6. – С. 16–18.
6. Энергетические ГТУ ОАО "ТМЗ" / Г.Н. Зятковецкий, Ю.П. Зырянов, А.П. Колчанов, Г.В. Проскуряков // Тяжелое машиностроение. – 1998. – № 9. – С. 18–21.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "ТМЗ".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газоперекачувального агрегату ГТН-6У.
4. Поясніть конструкцію і характеристики газоперекачувальних агрегатів ГТН-16М-1 і ГТН-25-1.
5. Охарактеризуйте склад і технічні характеристики розроблюваних на підприємстві енергетичних газотурбінних агрегатів.
6. Поясніть будову й особливості газових утилізаційних турбін, що випускаються ВАТ "ТМЗ".

3.9. ДУП "Завод ім. В.Я. Климова"



Повне найменування: Державне унітарне підприємство "Завод ім. В.Я. Климова" *.

Адреса підприємства: 194100, Росія, м. С.-Петербург, вул. Кантемирівська, 11.

Чисельність працюючих: 2000 чол. (2002 р.).

3.9.1. Відомості про підприємство

Завод ім. В.Я. Климова – одне з найстаріших російських двигунобудівних підприємств – був заснований у 1914 р. У перші роки завод "Русский Рено" здійснював ремонт автомобілів, а також збирання автомобільних та авіаційних двигунів французької фірми "Renault". Авіаційні мотори встановлювалися на найбільші літаки того часу – "Илья Муромец" конструкції І.І. Сикорського, літаючі човни Д.П. Григоровича.

У 1927 р. на базі підприємства створений завод № 234, який виготовляв

* ДУП "Завод ім. В.Я. Климова" є дочірнім підприємством ФДУП "Российский самолетостроительный концерн "МиГ".

електроустаткування, запчастини для тракторів, окремі вузли танків Т-26, Т-28 і БТ. У 30-х роках підприємство здійснює також ремонт авіаційних поршневих двигунів М-5 та переустаткування цих двигунів для встановлення на новітні танки БТ-2 і БТ-5.

У 1940 р. завод переводиться у відання Міністерства авіаційної промисловості. Починається освоєння виробництва поршневого двигуна М-105 (ВК-105) конструкції В.Я. Климова (ДКБ-26 м. Рибінська).

У 1941 р. завод № 234 евакуюється в Уфу, де авіабудівники Рибінська, Ленінграда й Уфи в найкоротший термін освоюють масовий випуск двигунів М-105. Під час війни 60 % вітчизняних бойових літаків працювали на моторах конструкції В.Я. Климова.

У післявоєнний період на площі колишнього заводу № 234 створюється завод № 466*. У червні 1946 р. з ініціативи В.Я. Климова при заводі організовується нове ДКБ під його керівництвом (до 1960 р.), яке займається створенням нових зразків авіаційних моторів, реактивних і газотурбінних двигунів. Уже в 1947 р. конструкторське бюро В.Я. Климова виділяється із заводу в самостійне ДКБ-117.

У новому ДКБ В.Я. Климов продовжує роботи зі створення турбореактивних двигунів, які він почав в Уфі**. У жовтні 1946 р. почалося проектування турбореактивного двигуна ВК-1. Вихідними даними послужили публікації в журналах і фотографії англійського ТРД "Nene-1". Було вирішено створити на його основі конструктивно подібний двигун зі збільшеною на 30 % тягою при незмінних габаритних розмірах і витраті палива.

Наприкінці 1946 р. В.Я. Климов очолює державну комісію, відряджену в Англію для закупівлі у фірми "Rolls-Royce" 60 двигунів типу "Nene" і "Derwent-5", найдосконаліших з тих, які мала світова авіація на той момент.

Була поставлена задача в найкоротший термін, використовуючи придбані екземпляри, налагодити серійне виробництво аналогічних вітчизняних двигунів. Для виконання цього в лютому 1947 р. до робіт залучаються дослідно-конструкторське бюро заводів № 45 і № 500 м. Москви***. Загальне керівництво роботами, а також безпосереднє керівництво створенням двигуна РД-45 (на базі ТРД "Nene") здійснює В.Я. Климов, який за сумісництвом призначається також головним конструктором ДКБ-45 (до червня 1956 р.). Протягом року двигуни РД-45 і РД-500 почали випускатися серійно. Двигун РД-45 широко використовувався на літаках МиГ-15, МиГ-15УТИ, Ла-168, Ла-176, Ту-12 та ін.

Одночасно ведуться розробки більш потужних турбореактивних двигунів РД-45Ф (на основі "Nene-2"), а також ВК-1, ВК-1Ф та ін. З них найбільше застосовувався ВК-1 з тягою 2700 кгс – перший вітчизняний великосерійний ТРД.

* У даний час – ВАТ "Красный Октябрь".

** У 1945–1946 рр. в Уфі В.Я. Климов керував роботами зі створення двигуна РД-10 на базі німецького ЮМО 004.

*** У даний час – МКБ "Гранит" і Тушинське МКБ "Союз".

Цей двигун з 1949 р. встановлювався на серійних літаках МиГ-15бис, МиГ-17, Ил-28, Ту-14, а також на ряді дослідних літаків. Він мав багато модифікацій і випускався не тільки в СРСР, але й у Китаї, Польщі, Чехо-Словаччині. Усього було виготовлено близько 20 тис. двигунів.

Надалі під керівництвом В.Я. Климова були розроблені двигуни ВК-2, ВК-3, ВК-5, ВК-13, ВК-15 та ін. З різних причин вони або серійно не виготовлялися, або випускалися малими серіями. З них можна відзначити один з перших у СРСР турбогвинтових двигунів ВК-2, що створювався для літаків Туполева та Ільюшина. Це був перший газотурбінний двигун ДКБ В.Я. Климова з осьовим компресором*. Двигун ВК-3 був одним з перших у світі турбовентиляторних ТРДД.

З 1959 р. під керівництвом С.П. Ізотова в ДКБ-117 ведуться роботи зі створення турбовальних двигунів і головних редукторів для вертольотів Міля та Камова. Першим з них став двигун ГТД-350 потужністю 400 к.с. для легкого багатоцільового двомоторного вертольота Ми-2. Модифікація ГТД-350П потужністю 450 к.с. застосовувалася на Ми-2М.

Наступною вдалою моделлю був ГТД ТВ2-117 потужністю 1250 к.с. для вертольотів Ми-8. Спеціально для нього був створений новий головний редуктор ВР-8.

У 1965 р. конструкторське бюро Ленінградського машинобудівного заводу ім. В.Я. Климова починає розробку двигуна ТВ3-117 потужністю 2200 к.с.**, який широко використовувався в різних модифікаціях на вертольотах Ми-14, Ми-24, Ми-17, Ми-28, Ка-27, Ка-32, Ка-50, Ка-52 та ін. Ресурс двигунів другої серії у 1976 р. був доведений до 500 год. Серійне виробництво ТВ3-117 здійснювалося Запорізьким моторобудівним заводом (нині – ВАТ "Мотор Січ").

Сучасний винищувач МиГ-29 у значній мірі зобов'язаний своєю популярністю енергетичній установці, що складається з двох турбовентиляторних форсованих двигунів четвертого покоління РД-33 тягою 8300 кгс кожний.

У 1997 р. був сертифікований новий турбогвинтовий двигун ТВ7-117С для пасажирського літака Ил-114 з високою паливною економічністю, призначеного для заміни парку застарілих літаків місцевих повітряних ліній.

З 1999 р. завод поряд з новими розробками приступив до серійного випуску вертолітних двигунів ТВ-3, ТВ-2 і ВК-2500. У 2002 р. підприємство мало замовлення на виробництво більше 100 вертолітних двигунів. Передбачається, що протягом найближчих двох-трьох років випуск вертолітних двигунів на ДУП "Завод ім. В.Я. Климова" буде подвоєний, а через п'ять років потроєний. На частку Росії припадає приблизно п'ята частина замовлень. Основні замовники двигунів – Південно-Східна Азія і Латинська Америка.

З 1962 р. підприємство "Завод ім. В.Я. Климова" разом з Особливим конструк-

* Двигуни РД-45, РД-45Ф, ВК-1, ВК-1А та ВК-1Ф були оснащені відцентровим компресором.

** Державні випробування на ресурс 300 год проведені в серпні 1972 р.

торським бюро танків (ОКБТ)* Кіровського заводу займається розробкою танкових газотурбінних двигунів. Першим з них став двигун ГТД-350Т (згодом ГТД-450) потужністю 350 (450) к.с., створений на базі турбовального двигуна ГТД-350, який серійно випускався для вертольотів Ми-2. Двигун, що став етапним, пройшов детальні дослідження спочатку на тракторі "Кировец" К-700 і плавучому гусеничному транспортері БТР-50, а потім на дослідному танку ("об'єкт 288"). Створені були також модифікації цього двигуна для гоночного автомобіля (разом з Горьківським автозаводом), катера на підводних крилах (з Ленінградським НДІ суднобудівної промисловості), ведучого залізничного вагона (з НДІ залізничного транспорту).

У 1972 р. були успішно проведені випробування двигуна ГТД-1000Т ("виріб 71") потужністю 1000 к.с., при створенні якого були вдало вирішені питання захисту від забруднення проточної частини і гальмування танка. Двигун установлювався на серійних танках Т-80.

За тридцять років у конструкторському бюро Климова на базі "виробу 71" був розроблений цілий ряд модифікацій:

"виріб 38" – ГТД-1000ТФ потужністю 1100 к.с., який встановлювався на серійних танках Т-80Б та Т-80БВ;

"виріб 29" – ГТД-1250 потужністю 1250 к.с., який серійно випускається з 1986 р.;

"виріб 29М" – ГТД-1250Г з гідрооб'ємною передачею, який пройшов увесь комплекс випробувань, рекомендований до серійного виробництва;

"виріб 73" – двигун з осьовим компресором потужністю 1100 к.с., виготовлені чотири дослідних екземпляри;

"виріб 37" – двигун з осевідцентровим компресором потужністю 1250 к.с., виготовлені 44 дослідних екземпляри;

"виріб 77" – двигун ГТД-1000Т з теплообмінником, виготовлені шість дослідних екземплярів;

"виріб 30", "виріб 40" і "виріб 70" – двигуни для тягачів ракет, успішно пройшли випробування;

ГТД-1400 – серійний двигун ГТД-1250 з короткочасним форсуванням потужності до 1400 к.с. шляхом підвищення температури до 1360 К;

"виріб 39" – двигун ГТД-1500 потужністю 1500 к.с., створений із застосуванням новітніх матеріалів, міра підвищення тиску збільшена на 5...6 %, а витрата повітря – на 6...8 % (порівняно з ГТД-1250);

"виріб 39М" – ГТД-1500Г з гідрооб'ємною передачею.

У складі машини "Ладога" модифікований варіант двигуна ГТД-1000ТФ взяв участь у ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. "Ладога", створена на базі спеціальної командно-штабної бронемашини з цілком герметичною кабіною, упритул підходила до зруйнованого вибухом 4-го енергоблока.

* Пізніше – КБ-3, а нині – ВАТ "Спецмаш".

У даний час завод разом з ВАТ "Спецмаш" розробив спеціальну програму модернізації танків Т-64, Т-72 та їхніх модифікацій, яка полягає в заміні дизельних двигунів газотурбінними ГТД-1250. Газотурбінний двигун перевершує дизельні: за ресурсом – у 2...3 рази, за об'ємною потужністю – в 1,6...2,0 рази, за шумо- і тепломаскуванням – у 2...4 рази. Крім того, ГТД мають в 1,3...1,7 разу меншу масу, у 16...20 разів меншу витрату масла та в 4...10 разів менший час запуску при негативних температурах (до -40°C). У результаті знижується стомлюваність екіпажу, з'являється можливість переведення двигуна на газоподібне паливо та ін.

Таким чином, установлення двигуна ГТД-1250 дозволить не тільки "повернути до життя" морально застарілі машини, але і значно знизити витрати на модернізацію танкових парків.

Двигуни ДУП "Завод ім. В.Я. Клімова" (до 90-х років – Ленінградське НВО ім. В.Я. Клімова) відрізняються високим ступенем досконалості параметрів, надійністю і довговічністю. Вони випускаються на багатьох серійних заводах та експлуатуються у 80 країнах світу.

Потреби ринку обумовили новий напрямок роботи фірми – створення на базі авіаційних двигунів промислових газотурбінних приводів для електричних і компресорних станцій.

3.9.2. Продукція підприємства

Завод ім. В.Я. Клімова є одним з провідних російських підприємств, що займаються розробкою, виробництвом і технічним обслуговуванням авіаційних та танкових газотурбінних двигунів, а також мобільних енергоустановок на їхній основі.

Більше 90 % вертолітного парку країн СНД літає на двигунах підприємства. Серійно виготовлені більше 150 тис. виробів розробки ДУП "Завод ім. В.Я. Клімова".

У даний час підприємство пропонує замовникам:

двоконтурні турбореактивні форсовані двигуни РД-33 та їх модифікації;

турбовальні двигуни ГТД-350 (для вертольотів Ми-2), ТВ2-117 (Ми-8), ТВ3-117 (Ми-14, Ми-24, Ми-25, Ка-27, Ка-50 та ін.), ТВ7-117В (Ми-38), ВК-2500, ВК-800;

турбогвинтові двигуни ТВ7-117С (для літаків Ил-114), ТВ7-117С серії 2 (Ил-112, Ил-114, МиГ-110), ТВ3-117ВМА-СБМ1 (Ан-140), ВК-1500 (Ан-3, Ан-38, Бе-132);

танкові газотурбінні двигуни ГТД-1000Т/ТФ і ГТД-1250 (танки Т-80, "Черный орел");

головні вертолітні редуктори ВР-2, ВР-8, ВР-14, ВР-24, ВР-252, ВР-80, коробки літакових агрегатів для МиГ-29;

допоміжні силові установки літальних апаратів ГТДЭ-117 і ВК-100; газотурбінні енергоустановки на базі вертолітних і танкових двигунів*.

Нижче наводяться характеристики наземного газотурбінного устаткування, що випускається підприємством**.

Танкові газотурбінні двигуни ГТД-1000Т/ТФ та ГТД-1250

Розроблені конструкторами ДУП "Завод им. В.Я. Климова" разом з ВАТ "Спецмаш" (м. С.-Петербург). Серійно випускаються також ВАТ "Калужский двигатель" (м. Калуга).

Двигун **ГТД-1000Т** (рис. 3.9.1) став результатом тривалих наукових і дослідно-конструкторських робіт, що проводилися ВАТ "Спецмаш" з 1948 р., а ДУП "Завод им. В.Я. Климова" – з 1962 р. Установлюється на бойовому танку Т-80, який був узятий на озброєння Радянської Армії в 1976 р. і серійно випускався до 1980 р. Танк Т-80 ("об'єкт 219") став першим у світі серійним танком, оснащеним газотурбінним двигуном.



Рис. 3.9.1. Газотурбінний двигун ГТД-1000Т

Роботи зі створення ГТД-1000Т ("виріб 71") почалися в 1967 р. У березні 1972 р. двигун успішно пройшов Державні стендові випробування. Максимальна потужність двигуна складає 735 кВт (1000 к.с.), питома витрата палива – 325 г/(кВт·год), питома витрата палива на половинній потужності – 410 г/(кВт·год), гальмова потужність – 330 кВт.

Для одержання мінімальної довжини двигуна прийнята двокаскадна конструк-

* Енергетичні установки на основі серійних двигунів ДУП "Завод им. В.Я. Климова" випускають також заводи ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя), ВАТ "Калужский двигатель" (м. Калуга), а також ряд авіаремонтних підприємств (наприклад, ВАТ "Уральский завод гражданской авиации", м. Єкатеринбург).

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.klimov.ru.

ція газогенератора: два відцентрових компресори приводяться в обертання двома одноступінчастими осьовими турбінами (рис. 3.9.2). Вибір на користь відцентрового компресора був обумовлений його високою надійністю роботи в умовах запиленості і відносно малим впливом зносу проточної частини на економічність.

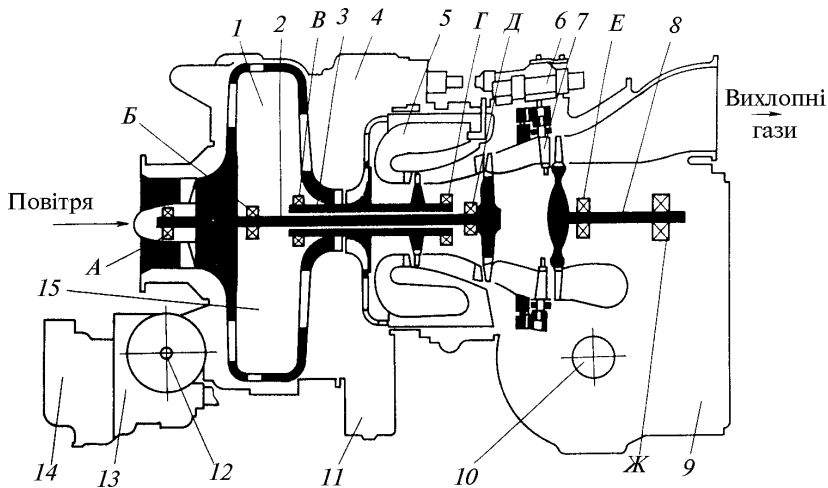


Рис. 3.9.2. Схема двигуна ГТД-1000Т:

1 – центральний привід від турбокомпресора високого тиску; 2, 3 – ротори першого і другого каскадів; 4 – верхня коробка приводів; 5 – камера згоряння; 6, 7 – гідромеханізм і лопатки регульованого соплового апарата; 8 – ротор силової турбіни; 9 – силовий редуктор; 10 – вихідний вал; 11, 13 – коробки приводів; 12 – вісь приводу вентиляторів; 14 – передній вентилятор; 15 – привід турбокомпресора низького тиску; А-Ж – підшипникові опори роторів

Компресор низького тиску має міру підвищення тиску 3,76 і складається з корпусу, входного напрямного апарата, ротора, лопаткового дифузора і випрямного апарата. Ротор компресора литий, складається з відцентрового колеса закритого типу і підшипників, установлених на його передній та задній цапфах. Для запобігання витoku повітря з проточної частини двигуна на покриваючому диску відцентрового колеса передбачене переднє лабіринтове ущільнення, а на задньому диску – заднє лабіринтове ущільнення. Ротор КНТ поєднаний з ротором ТНТ стяжною штангою. Крутний момент від ротора турбіни до ротора компресора передається ресорою. Стяжна штанга і ресора виготовлені зі сталі.

Ротор КВТ складається з відцентрового колеса закритого типу з передньою цапфою, виготовленою зі сплаву і прикріпленою в задній частині колеса перехідного кільця. З'єднання перехідного кільця з відцентровим колесом здійснюється за допомогою штифтів. Передня цапфа ротора спирається на кульковий підшипник В опори ротора двигуна.

Ротор компресора поєднується з диском ТВТ болтами. Крутний момент від ТВТ передається ротору компресора через кільця за допомогою призонних втулок. Цапфа ТВТ, що спирається на підшипник опори Г, є другою опорою для ротора КВТ.

Над турбіною розташована протитокова кільцева камера згоряння, що має завихрювачі повітря при робочих форсунках. Вона складається з жарової труби, відбивача і підвісок жарової труби. У камері згоряння встановлені паливні форсунки і два запалювачі з пусковими форсунками. Зовнішнім корпусом камери згоряння є корпуси компресора і корпус опори Γ роторів двигуна, які утворюють канали підведення повітря до камери згоряння. Вона розташована між корпусом компресора і корпусом опор таким чином, що охоплює зовні ТВТ.

Одноступінчаста ТВТ складається із соплового апарата і ротора. Сопловий апарат являє собою зварену конструкцію, що містить соплову решітку і кільцевий канал. Соплова решітка включає в себе 29 литих лопаток. У робочих лопатках ТВТ не встановлені бандажні полиці з метою запобігання пиловим відкладенням.

Турбіна низького тиску складається із суцільнолитого соплового апарата і ротора. Сопловий апарат має 39 лопаток. Ротор турбіни спирається на два опорні підшипники. Осьова складова сприймається упорним підшипником за допомогою стяжної штанги. Крутний момент турбіни передається компресору через вал. Робочі лопатки втримуються від осьового переміщення кільцем, тобто так само, як і на роторі ТВТ. Робочі лопатки мають бандажні полиці, які утворюють по периферії бандажне розрізне кільце з гребінцями газового лабіринту.

Одноступінчаста силова турбіна складається з ротора і регульованого соплового апарата. Ротор турбіни спирається на опорно-упорний підшипник. Робочі лопатки мають бандажні полиці, як і лопатки ТНТ. Регульований сопловий апарат призначений для здійснення гальмового режиму. При повороті соплових лопаток з робочого положення на 120° потік газу направляється проти обертання ротора, створюючи на турбіні гальмову потужність. Зі зменшенням кута повороту лопаток гальмова потужність зменшується і при повороті лопаток на $70 \dots 80^\circ$ дорівнює нулю. Наявність регульованого соплового апарата дозволяє здійснювати оптимальне настроювання двигуна при його роботі на режимі номінальної потужності.

Силовa турбіна поєднана в спільному корпусі з редуктором, який складається з конічних і циліндричних шестерень. З метою підвищення технологічності і коефіцієнта використання металу основні деталі (корпус, крильчатка і т.п.) виконані литими з механічною обробкою тільки посадкових місць.

Досконалість проточної частини забезпечила необхідну економічність, яка характеризується високими значеннями ККД: компресора низького тиску – 82,5 %, компресора високого тиску – 81,5 %, турбіни високого тиску – 87 %, турбіни низького тиску – 90 %, силової турбіни – 89,7 %. Початкова температура газів складає 1245 К, витрата повітря – 4,1 кг/с, міра підвищення тиску – 9,26.

Для боротьби з відкладеннями пилу в проточній частині застосований циклонний метод очищення повітря, який затримує до 97 % частинок. Для струшування неуловленого і налиплого на лопатки дрібнодисперсного пилу додатково ви-

користовується удар, що завдається по корпусу пневмоударниками, розміщеними по колу корпусу соплового апарата ТВТ. Крім того, перед початком роботи двигуна і після його зупинки здійснюється продувка для видалення залишкових незв'язаних пилових утворень. Процес продувки внесений у циклограму й ініціюється автоматично.

Для очищення лопаток турбін від пилових відкладень пневмоударники застосовані вперше у світовій практиці. За рахунок цього "климовські" танкові двигуни можуть пропустити за свій ресурс біля півтонни пилу, причому без обслуговування повітроочисника*.

Гальмування танка здійснюється оригінальною комбінованою системою, що одночасно використовує газотурбінний двигун і звичайні гідравлічні гальмівні пристрої. Процес відбувається в два етапи: при натисканні на гальмову педаль спочатку здійснюється розворот лопаток соплового апарата і починається гальмування за допомогою двигуна, подальше просування педалі включає в роботу механічні гальмівні пристрої. Такий метод також застосований вперше у світі.

Однією з важливих властивостей двигуна є його багатопаливність: ГТД здатний однаково надійно працювати як на дизельному паливі, так і на бензині і гасі, а також на їхніх сумішах у будь-якій пропорції.

Газотурбінний двигун **ГТД-1000ТФ** являє собою форсовану модифікацію двигуна ГТД-1000Т. Шляхом підвищення початкової температури газу до 1270 К максимальна потужність була збільшена до 810 кВт (1100 к.с.). Установлювався на танки Т-80Б та Т-80БВ, що серійно випускалися з 1980 по 1986 р. Двигун також установлювався на танках Т-80У раннього випуску.

У 1990 р. на озброєння був узятий танк Т-80У з новим варіантом "климовського" танкового двигуна – **ГТД-1250** (рис. 23Д) потужністю 920 кВт (1250 к.с.). Збільшення потужності досягнуте шляхом подальшого підвищення температури газів (до 1340 К).

Завдяки двигуну ГТД-1250 "літаючий танк" Т-80У має високу маневреність, швидкість руху до 80 км/год, питому потужність 20 кВт/т. Практично за всіма технічними показниками енергетичної установки Т-80У перевершує своїх західних конкурентів, а за сукупністю параметрів бойової ефективності є кращим у світі.

У даний час крім танків серії Т-80У (Т-80УЕ, Т-80У-М1 "Барс", Т-80УК) двигуни ГТД-1250 встановлюються на дослідні зразки танка нового покоління "Черный орел" і ремонтно-евакуаційну машину БРЭМ-80У.

* Показник припустимого коефіцієнта пропуску пилу повітроочисником порівняно з дизельним двигуном вищий в 7,5...10 разів. Набагато нижчий він у газотурбінного двигуна АГТ-1500, застосовуваного на американському танку М1 "Abrams". Крім того, для очищення повітря на американському двигуні застосовані бар'єрні фільтри (касети), що являють собою малоефективні громіздкі агрегати об'ємом близько 2 м³. При русі в колоні екіпажі цих танків змушені змінювати касети кожні 15 хв.

Танкові двигуни розробки ДУП "Завод им. В.Я. Климова" відповідають усім основним вимогам, пропонованим до танкових ГТД, включаючи забезпечення багатопаливності двигунів та їхній швидкий пуск, високу оперативну готовність до руху в умовах низьких температур, багаторежимність роботи турбокомпресора й особливо силової турбіни, високу технологічність, надійність роботи в умовах підводного водіння.

Модульні енергоустановки на основі газотурбінних двигунів

Модульні енергоустановки ДУП "Завод им. В.Я. Климова" виготовляє з використанням приводів на базі авіаційних і танкових газотурбінних двигунів власної розробки (рис. 3.9.3) та пропонує їх на продаж у повній заводській готовності. Устаткування цих установок може бути використане для приводу електричних генераторів, гідравлічних насосів високого тиску, повітряних компресорів, вентиляторів та ін. Застосування в конструкції електростанцій котлів-утилізаторів забезпечує споживача не тільки електроенергією, але й теплом і гарячим водопостачанням.

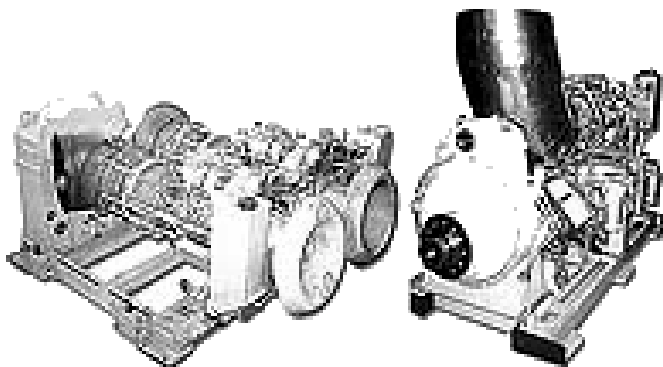


Рис. 3.9.3. Газотурбінні приводи ДУП "Завод им. В.Я. Климова"

Високі параметри термодинамічного циклу ГТД забезпечують високий коефіцієнт корисної дії енергоустановок. Ефективні камери згоряння роблять мінімальними викиди шкідливих речовин. Застосування високоміцних титанових і нікелевих сплавів для виготовлення деталей проточної частини ГТД охороняє від ерозійних та корозійних ушкоджень і забезпечує збереження технічних характеристик протягом усього експлуатаційного періоду.

Енергоустановки оснащені автоматичним керуванням і діагностуванням усіх систем. Передбачається можливість їхньої роботи в автономній, паралельній і спільній мережах.

Енергоустановки виконані у вигляді двох контейнерів стандарту ISO, що монтуються на місці експлуатації один на одного і всередині яких розташовані всі необхідні системи.

Сервісне обслуговування на весь період експлуатації містить у собі гарантійний і капітальний ремонт, постачання запасних частин та устаткування, навчання персоналу замовника.

У ролі базових найчастіше використовуються двигуни ГТД-1250, ТВ2-117, ТВ3-117, ТВ7-117С та ТВ7-117В.

Турбовальний двигун ТВ2-117

Двигун виконаний за двовальною схемою з вільною силовою турбіною. Компресор однокаскадний, осьовий, десятиступінчастий (рис. 3.9.4). Корпус компресора виконаний з поперечним розніманням, складається з трьох частин: переднього, середнього і заднього корпусів. Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати 1–3-го ступенів виготовлені з титанового сплаву та виконані поворотними для поліпшення запуску двигуна, а також забезпечення високого ККД компресора в робочому діапазоні частот обертання ротора. Поворотні лопатки цапфами встановлюються у фторопластові втулки, що запресовані в бобишки корпусів компресора. На кінці цапф закріплені важелі, поєднані пальцями з поворотними кільцями, що приводяться в обертання гідромеханізмами.

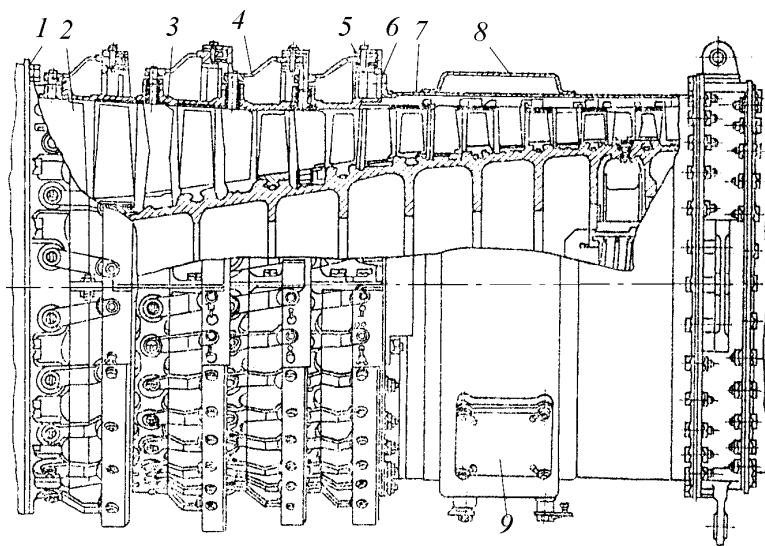


Рис. 3.9.4. Компресор двигуна ТВ2-117:

1 – передній корпус; 2, 3 – поворотні лопатки вхідного напрямного апарата і напрямного апарата 1-го ступеня компресора; 4 – важіль; 5 – поворотне кільце; 6 – середній корпус; 7 – обичайка середнього корпусу; 8, 9 – коробка і фланець для перепуску повітря

Ротор компресора складається з трьох основних частин: робочого колеса 1-го ступеня, ротора барабанного типу з робочими лопатками 2–9-го ступенів і робочого колеса 10-го ступеня. Диски 1-го і 10-го ступенів виготовлені з легованої сталі,

а ротор 2–9-го ступенів – з титанового сплаву. Усі лопатки виготовлені з нержавіючої сталі і виконані зі змінними за висотою хордою й товщиною.

На компресорі встановлені клапани перепуску повітря через 6-й ступінь.

Камера згоряння двигуна ТВ2-117 прямоотокова, кільцева (рис. 3.9.5). Основним її елементом є жарова труба, що являє собою зварену конструкцію з листової жароміцної сталі і складається з зовнішнього і внутрішнього обтічників, зовнішніх та внутрішніх секцій. У внутрішній обтічник вбудовані завихрювачі, в центрі яких знаходяться отвори для встановлення форсунок. Для охолодження бічних стінок жарової труби між секціями утворені щілинні зазори.

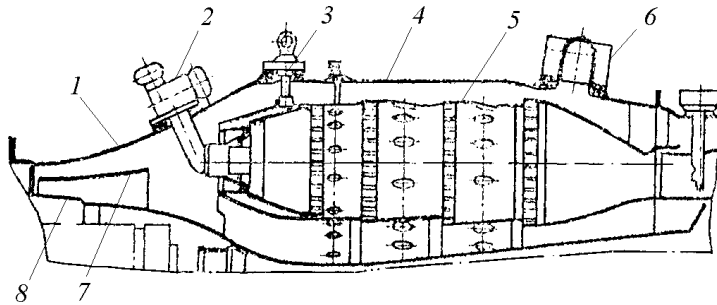


Рис. 3.9.5. Камера згоряння двигуна ТВ2-117:

1 – зовнішній корпус; 2 – паливна робоча форсунка; 3 – підвіски жарової труби; 4 – корпус камери згоряння; 5 – жарова труба; 6 – патрубок відбору гарячого повітря в протиобліднювальну систему; 7 – розсікач; 8 – внутрішній корпус дифузора

У передній частині камери згоряння встановлюється дифузор, що являє собою зварену конструкцію, виконану з титанового сплаву. Він складається з двох корпусів, які утворюють канал, що розширюється. На дифузорі є фланці для кріплення до корпусу компресора і корпусу камери згоряння, а також квадратні фланці для кріплення трубопроводів масляної системи. Корпус камери згоряння виконаний з титанового сплаву і являє собою циліндр із конусною задньою частиною. Він має фланці для кріплення дифузора і соплового апарата турбіни.

Для розпилу палива в камері згоряння двигуна ТВ2-117 використовуються вісім відцентрових двоканальних двосоплових форсунок, оснащених теплозахисними екранами. Запалювання палива здійснюється двома пусковими запалювачами.

Турбіна компресора і силова турбіна осьові, двоступінчасті. Напрямок обертання роторів двигуна лівий (якщо дивитися по польоту).

Турбіна компресора (рис. 3.9.6) містить у собі ротор, соплові апарати й опори ротора. Ротор турбіни складається з вала, двох дисків, задньої цапфи і лабіринту. Для охолодження деталей турбіни через 8-й ступінь компресора відбирається повітря, яке підводиться через порожнину вала. Вал ротора, диски і цапфа зцентровані між собою та стягнуті дванадцятьма подовжніми стяжними болтами.

Робочі лопатки закріплюються в дисках за допомогою замка ялинкового типу.

На їх кінцях виконані полиці, що утворюють кільцевий бандаж, чим збільшується віброміцність робочих лопаток. Полиці із зигзагоподібними вирізами стикуються одна з одною із зазором по колу і деяким натягом в осьовому напрямку. На зовнішній поверхні полиць виконані гребінці, які по периферії робочого колеса утворюють кільцевий газовий лабіринт. Наявність полиць і газового лабіринту зменшує перетікання газу через радіальний зазор, що підвищує ККД турбіни.

Вал турбіни і цапфа виготовлені з корозійностійкої деформованої сталі, диск турбіни і лабіринти – із хромонікелевої сталі, робочі лопатки – з жароміцної деформованої сталі.

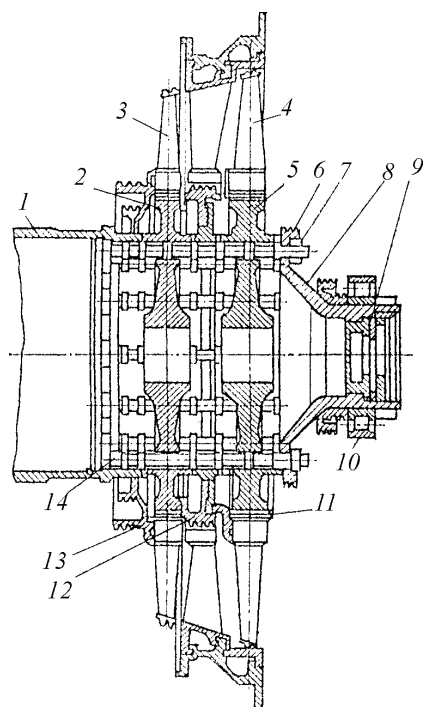


Рис. 3.9.6. Турбіна компресора двигуна
ТВ2-117:

1 – вал ротора; 2 – диск 1-го ступеня; 3 – робочі лопатки 1-го ступеня; 4 – робочі лопатки 2-го ступеня; 5 – диск 2-го ступеня; 6 – замок; 7 – гайка; 8 – задня шийка ротора; 9 – ексцентрикові шайби; 10 – роликовий підшипник; 11 – стопорне кільце; 12 – лабіринт; 13 – покриваючий диск; 14 – стяжний болт

Вихлопна система двигуна виконана нерегульованою. Вихлоп здійснюється через патрубок, розташований під кутом 60° до осі двигуна.

До складу ГТД входить коробка приводів агрегатів, на якій встановлюються: стартер-генератор ГС-18ТП або ГС-18ТО, паливний насос-регулятор НР-40ВР, командний агрегат КА-40, гідронасос ПН-40Р, датчик Д-2 лічильника обертів турбокомпресора, верхній масляний агрегат з фільтром.

Двигун ТВ2-117 оснащений автоматичною протиобліднювальною системою. На вході в двигун може встановлюватися пилозахисний пристрій.

Суха маса двигуна складає не більше 334 кг, довжина (з агрегатами і вихлопним патрубком) – 2,84 м, ширина – 0,55 м, висота – 0,75 м.

З 1985 р. ВАТ "Пермский моторный завод" серійно випускає модифікацію **ТВ2-117АГ**, у якій для підвищення надійності і довговічності роботи двигуна вдосконалена система ущільнення масляних порожнин підшипників турбокомпресора. За даними на 2000 р., вироблено більше 24 тисяч таких ГТД, продовжують експлуатуватися більше 13 тисяч двигунів.

Двигун ТВ2-117АГ має потужність 1100 кВт (1500 к.с.) при питомій витраті палива 0,375 кг/(кВт·год). Витрата повітря складає 8,0 кг/с, міра підвищення тиску – 6,6, частота обертання турбокомпресора – 20900 об/хв, частота обертання силової турбіни – 12000 об/хв.

Створена також унікальна багатопаливна модифікація двигуна **ТВ2-117ТГ**, здатна надійно працювати на зрідженому пропан-бутановому газі і газових конденсатах; моторному паливі наземного застосування (бензині, гасі та їхніх сумішах зі зрідженим газом); паливі водного транспорту (дизельному, флотському мазуті, сирий нафті та їхніх сумішах).

Силова установка вертольота Ми-8 (основне застосування даного двигуна) складається з двох ТВ2-117 (або його модифікацій), що передають потужність через підсумовуючий редуктор ВР-8 несучому і хвостовому повітряним гвинтам. Подібна компоновальна схема (два ГТД на один редуктор) зберігається й у створених на основі даного двигуна енергетичних модулях.

На базі даних двигунів ДУП "Завод ім. В.Я. Клімова" випускає **електростанції типу ГТЭС-1,6 (ГТЭ-1,6Г)***, які забезпечують спільне вироблення електричної і теплової енергії в кількості 1,6 і 3,0 МВт відповідно. Коефіцієнт використання енергії палива в такому режимі досягає 64 % (табл. 3.9.1).

Таблиця 3.9.1. Основні технічні характеристики енергомодулів ДУП "Завод ім. В.Я. Клімова"

Параметри	ГТЭС-1,6	ГТЭ-1,25	ГТЭ-2,5	ГТЭ-1,5
Потужність, МВт	1,6	1,1	2,2	1,2
Ефективний ККД, %	20,0	21,5	21,5	25,0
Витрата повітря**, кг/с	15,2	8,0	16,0	7,6
Міра підвищення тиску	5,6	7,65	7,65	13,6
Температура газу, К: початкова за ГТД	1023 673	1088 680	1088 680	1385 797
Габарити, м	–	–	–	12,0×2,4×2,6

Установлений термін служби устаткування станції складає 100000 год, міжремонтний ресурс двигунів – 25000 год. Усе устаткування газотурбінної електростанції монтується в двох 40-футових контейнерах, транспортувальна вага яких складає 25 і 14 т.

Електростанції ГТЭС-1,6 можуть працювати на природному газі, дизельному

* Постачання приводів ТВ2-117АГ для них здійснює за контрактом ВАТ "Пермский моторный завод".

** Для ГТЭС-1,6 та ГТЭ-2,5 вказана сумарна всього енергомодуля.

паливі та нафтовому попутному газі, виробляти електроенергію і тепло, видавати споживачу електроенергію напругою 380, 6300 і 10500 В. Це робить перспективним їхнє застосування в комунальному господарстві, нафтогазовій промисловості, а також для життєзабезпечення населення на Крайній Півночі і Далекому Сході.

Електростанція ГТЭС-1,6 є першою і єдиною у Росії серійною продукцією, яка має універсальне застосування і доступну ціну для найширшого кола замовників.

Турбовальний двигун ТВ3-117

За схемою аналогічний ГТД ТВ2-117. Газогенератор двигуна включає в себе 12-ступінчастий осьовий компресор, прямотокову кільцеву камеру згоряння і дво-ступінчасту турбіну. Вільна силова турбіна також складається з двох ступенів (рис. 3.9.7).

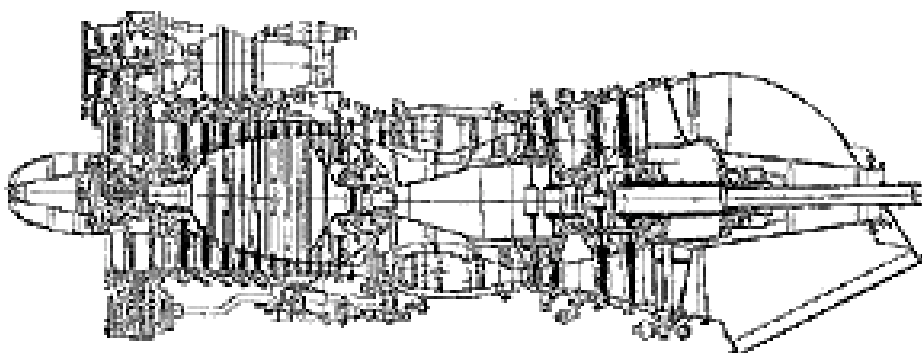


Рис. 3.9.7. Подовжній переріз двигуна ТВ3-117

Двигун (рис. 3.9.8) має відмітні конструктивні особливості. У компресорі ТВ3-117 застосовані регульовані вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших чотирьох ступенів, що дозволяє добре погодити роботу окремих ступенів та одержати високі значення ККД (максимальне значення 86 %) і запасу стійкості компресора (майже 22 %).



Рис. 3.9.8. Турбовальний двигун ТВ3-117

Високі ККД турбіни компресора (91 %, розрахунковий – 90 %) і силової турбіни (93,4 %, розрахунковий – 90 %) забезпечені застосуванням бандажованих робочих лопаток з лабіринтовими гребінцями на полицях і металокерамічних вставок.

Використання в кріпленні робочих лопаток турбін двозубого замка замість звичайно застосовуваних три- і чотиризубих дозволило відмовитися від кріпильних фланців та деталей, підвищити жорсткість конструкції і зменшити її масу.

Високі жорсткість конструкції і коефіцієнт використання металу та мінімальна маса, що скоротилася порівняно з розбірною конструкцією майже на 25 %, забезпечені застосуванням у турбінах суцільнолитих соплових апаратів.

Упровадження камери згоряння кільцевого типу, яка має високе значення теплонапруженості, дозволило скоротити довжину камери і всього двигуна.

Розміщення паливного колектора всередині камери згоряння дало вираш у його масі порівняно з конструкцією двигуна типу ТВ2-117 майже на 40 %.

Застосування контактних графітових ущільнень скоротило витрати робочого тіла майже вдвічі.

Широке використання титану, з якого виконано близько 50 % деталей і вузлів (корпус та барабан компресора, корпуси турбін, корпус і дифузор камери згоряння, передня опора компресора, кронштейни та ін.), дозволило значно зменшити масу двигуна.

Застосування електронно-променевого й автоматичного зварювання також привело до значного зменшення маси, підвищило жорсткість конструкції і надійність з'єднань.

Двигун оснащений гідромеханічною (на перших модифікаціях) та електрогідромеханічною (на новітніх модифікаціях) системою регулювання і керування.

На вході в компресор може встановлюватися пілозахисний пристрій. Вихлопний патрубок забезпечує відведення вихлопних газів з поворотом потоку на 60°.

Перші модифікації двигуна – **ТВ3-117, ТВ3-117МТ, ТВ3-117М та ТВ3-117КМ** – застосовуються відповідно на вертольотах Ми-24, Ми-8МТ (Ми-17), Ми-14 і Ка-27. З 1977 р. було випущено близько 10000 таких двигунів. Їхня потужність на злітному режимі складає 1470...1620 кВт (2000...2200 к.с.), питома витрата палива – 0,315 кг/(кВт·год), міра підвищення тиску – 9,4, максимальна температура газів перед турбіною – 1263 К. Міжремонтний ресурс складає 1500 год, призначений – 3000 год. Габарити дорівнюють 2,06×0,73×0,65 м, маса ГТД – 285 кг.

У новітніх модифікаціях – **ТВ3-117В, ТВ3-117ВК, ТВ3-117ВМ, ТВ3-117ВМА, ТВ3-117ВМ-02, ТВ3-117ВМА-02** – основні характеристики залишилися тими ж. Питома витрата палива на злітному режимі знизилася до 0,290 кг/(кВт·год), призначений ресурс зріс до 6000 год.

На базі сертифікованого турбовального двигуна ТВ3-117ВМА розроблені модифікації турбогвинтового двигуна, призначеного для встановлення на пасажирсь-

кі і транспортні літаки місцевих повітряних ліній, а також на літаки спеціального призначення. На літаках Ан-38 передбачається використання двигунів типу **ТВ3-117ВМА-С**, на Ан-140 – **ТВ3-117ВМА-СБ2**. Ці ГТД мають потужність на злітному режимі 1400 і 1580 кВт, питому витрату палива 0,305 і 0,310 кг/(кВт·год). Максимальна температура газів складає 1263 К, міра підвищення тиску – 9,4, міжремонтний ресурс – 3000 год, призначений ресурс – 6000 год.

На основі двигуна ТВ3-117 ДУП "Завод им. В.Я. Климова" розробило **енергетичні газотурбінні агрегати ГТЭ-1,25 та ГТЭ-2,5** (два двигуни на один редуктор) потужністю 1,1 і 2,2 МВт відповідно. Технічні характеристики агрегатів наведені в табл. 3.9.1. Частоти обертання силової турбіни і вихідного вала редуктора складають 15000 та 1500 об/хв відповідно.

Турбогвинтовий двигун ТВ7-117

Призначений для встановлення на літаки місцевих повітряних ліній (45–65 пасажирів). Двигун ТВ7-117 є одним із кращих у світі за економічністю у своєму класі. Паливна економічність забезпечується високими параметрами термодинамічного циклу (на злітному режимі: міра підвищення тиску – 16, температура газу перед турбіною – 1500 К) і високою ефективністю вузлів (ККД компресора – більше 81 %, ККД турбіни компресора – більше 88 %, ККД силової турбіни – вище 92 %, повнота згоряння палива в камері згоряння – 0,99). Двигун має великі запаси газодинамічної стійкості.

Конструктивно двигун виконаний модульним і складається з дев'яти основних частин. Заміна модулів не вимагає додаткового балансування і може бути виконана в умовах аеропорту. На двигуні застосована двоканальна електронна система регулювання з повною відповідальністю і гідромеханічне керування, що забезпечує завершення польоту при відмовленні електроніки. Розвинута автономна бортова система контролю забезпечує контроль параметрів з видачею екіпажу інформації про несправності і рекомендації щодо їхнього усунення. Система передбачає оперативний наземний післяполітний контроль двигуна.

Двигун має великий ресурс, простоту обслуговування, гарну ремонтоздатність. У даний час розроблені дві модифікації цього двигуна: **ТВ7-117С** та **ТВ7-117СД**, що застосовуються на літаках Ил-114 і Ан-140.

Конструктивні особливості (рис. 3.9.9):

- одновальний осевідцентровий компресор, що складається з п'яти осьових та одного відцентрового ступеня; вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших двох ступенів регульовані;

- кільцева протитокова камера згоряння;

- двоступінчаста осьова турбіна компресора з чотирма охолоджуваними вінцями;

- двоступінчаста осьова вільна силова турбіна;

- вал відбору потужності з виводом уперед;

співвісний редуктор гвинта, розташований безпосередньо перед компресором.

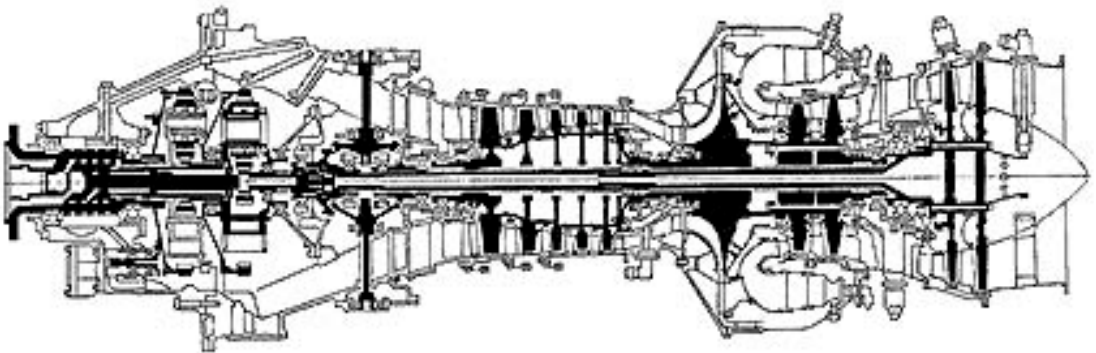


Рис. 3.9.9. Турбогвинтовий двигун ТВ7-117

Двигун ТВ7-117 має потужність та питому витрату палива на злітному режимі 1840 кВт (2500 к.с.) та 0,270 кг/(кВт·год). Маса двигуна складає 530 кг, довжина – 2,14 м, зовнішній діаметр – 0,94 м. Міжремонтний ресурс становить 1500 год (з доведенням до 3000 год), призначений – 3000 год (з доведенням до 6000 год).

На базі серійного сертифікованого двигуна ТВ7-117С створені модифікації **турбовальних двигунів ТВ7-117В** (рис. 24Д) та **ТВ7-117ВК**, які будуть застосовуватися на вертольотах Ми-38, Ка-50 і Ка-52.

У даних ГТД вільна силова турбіна має вивід вала відбору потужності назад (на ТВ7-117ВК) або вперед (на модифікації ТВ7-117В). Двигун ТВ7-117ВК оснащений вихлопним патрубком з поворотом потоку на 60°. На модифікації ТВ7-117В вихлопний патрубок виконаний у вигляді осьового сопла.

На злітному режимі двигуни мають потужність 1840 кВт і питому витрату палива 0,285 кг/(кВт·год). Маса ГТД складає 380 кг, довжина – 1,78 м, ширина – 0,64 м, висота – 0,73 м, міжремонтний ресурс – 1500 год, призначений ресурс – 6000 год (з доведенням до 12000 год).

На базі двигуна ТВ7-117 ДУП "Завод им. В.Я. Климова" з 1995 р. випускає **газотурбінну енергоустановку ГТЭ-1,5** (див. табл. 3.9.1).

Морські газотурбінні приводи ГТПМ

Морські приводи ГТПМ у класі потужностей 0,7...3,7 МВт ДУП "Завод им. В.Я. Климова" розробляє й виготовляє на базі авіаційних і танкових газотурбінних двигунів власної розробки. Газотурбінні приводи призначені для експлуатації у складі енергетичних установок на багатоцільових швидкісних морських і річкових судах водотоннажністю 10...100 т, здатних розвивати максимальну швидкість до 50...100 вуз.

Морський газотурбінний привід являє собою модуль, який розташований на

силовій рамі і складається з власне двигуна, редуктора, вхідного і вихідного пристроїв, агрегатів паливорегулюючої апаратури, агрегатів масляної системи і системи електроустаткування.

Приводи ГТПМ однаково надійно працюють на дизельному паливі, бензині, газі та їхніх сумішах у будь-якій пропорції, а також на природному газі.

Залежно від необхідної потужності енергетичної установки привід містить у собі один чи два двигуни. При встановленні на конкретне судно конструкція приводу модифікується під вимоги замовника.

ДУП "Завод им. В.Я. Климова" здійснює постачання, шефмонтаж і повний комплекс сервісного обслуговування (супровід експлуатації, гарантійний і капітальний ремонт, постачання запчастин) морських газотурбінних приводів.

Література до підрозд. 3.9

1. *Авиационные ГТД в наземных установках* / Под ред. *В.В. Шашкина*. – Л.: Машиностроение, 1984.
2. *Изотов П., Изотов Д.* Самый массовый вертолетный двигатель // *Двигатель*. – 2000. – № 1. – С. 18–20.
3. *Изотов П., Изотов Д.* Семейство ТВ3-117 // *Двигатель*. – 2000. – № 2. – С. 32–35.
4. *Морозов В., Изотов Д.* Двигатели для "летающих танков" // *Двигатель*. – 1999. – № 5. – С. 22–25.
5. *Транспортные машины с ГТД* / Под ред. *Н.С. Попова*. – Л.: Машиностроение, 1987.

Контрольні завдання

1. *Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування в ДУП "Завод им. В.Я. Климова".*
2. *Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.*
3. *Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри танкових газотурбінних двигунів ГТД-1000Т/ТФ і ГТД-1250.*
4. *Проаналізуйте склад і технічні характеристики розроблюваних підприємством модульних енергоустановок на основі газотурбінних двигунів.*
5. *Дайте характеристику конструкції двигуна ТВ2-117.*
6. *Поясніть будову і технічні параметри турбовального двигуна ТВ3-117.*
7. *Розкрийте конструктивні особливості двигуна ТВ7-117.*

3.10. ВАТ "Энергомашкорпорация"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Энергомашиностроительная корпорация". <i>Адреса підприємства:</i> 119034, Росія, м. Москва, Бутиковський пров., 14. <i>Чисельність працюючих:</i> біля 40000 чол. (на більш ніж 30 підприємствах).

3.10.1. Відомості про підприємство

Акціонерне товариство утворене в 1993 р. Головною задачею довгострокового розвитку ставить створення міжнародної корпорації, яка буде втілювати в собі новітні досягнення в галузі наукових досліджень і розробок, передових технологій, матеріалів, інжинірингу й інновацій у виробництві енергетичного устаткування. Важливими елементами діяльності вважає підвищення продуктивності праці, поглиблення спеціалізації і відновлення верстатного парку підприємств, упровадження уніфікованої системи автоматизованого проектування.

Заводи корпорації розташовані в основних економічних регіонах Росії: у Центральному регіоні, у Сибіру, на Уралі, на Північному Заході, Далекому Сході. Найбільші з них: "ЭМК-Атоммаш" (м. Волгодонськ, Ростовська обл.), "Урал-гидромаш" та "Уралэлектротяжмаш" (м. Єкатеринбург), "Белэнергомаш" (м. Белгород), "Сибэнергомаш" (м. Барнаул).

Основний напрямок діяльності ВАТ "Энергомашкорпорация" – здача енергетичного об'єкта "під ключ" з виконанням усього комплексу робіт: передпроектних пророблень, інжинірингу, виготовлення устаткування, організації фінансування, шефмонтажу і пусконаладження, сервісного обслуговування та ремонту. Поряд з цим корпорація забезпечує розробку, виготовлення і постачання широкої номенклатури устаткування для нафтогазовидобувної та нафтопереробної, нафтохімічної, хімічної, металургійної промисловості, транспорту, будіндустрії. Продукція цілком відповідає вимогам світових стандартів, є конкурентоспроможною за технічними характеристиками і ціною.

Устаткування корпорації добре відоме в Росії, державах СНД і далекого зарубіжжя, йому нерідко віддають перевагу замовники в Індії, Ірану, Бангладеш, Колумбії, В'єтнамі, Фінляндії, Угорщині, Канаді, Болгарії, Румунії, Йорданії й інших країнах.

Головним виробничим напрямком є виготовлення котельного устаткування, парових, газових, гідравлічних турбін і насосів, електричних машин та електротехнічного устаткування, трубопроводів, арматури, труб та їхніх елементів, металоконструкцій для об'єктів енергетики, посудин для хімічно активних і токсичних речовин.

Орієнтуючись на зростаючі вимоги споживачів енергетичного і промислово-

го устаткування, ВАТ "Енергомашкорпорация" активно взаємодіє з науково-дослідними і проектними інститутами, працює в тісній виробничій кооперації з підприємствами, що мають наукомісткі технології, вкладає інвестиції в технічне переозброєння і реконструкцію підприємств із метою розробки та впровадження передових технологій і виробництва новітніх видів устаткування.

До складу корпорації входять шість інженерних центрів. Чотири з них у С.-Петербурзі: центр сервісних технологій, інженерні центри департаменту турбін*, департаментів гідромеханічного устаткування й інжинірингових робіт. В Єкатеринбурзі розташований інженерний центр департаменту електротехнічного устаткування, у Волгодонську – інженерний центр департаменту теплообмінного устаткування.

Дані центри являють собою єдині науково-технічні комплекси, що забезпечують на високому професійному рівні широкий спектр виконуваних робіт. Це досягається, з одного боку, завдяки висококваліфікованому персоналу, з іншого – внаслідок залучення провідних російських науково-дослідних інститутів (ВАТ "ВТИ", ВАТ "НПО ЦКТИ" та ін.) і вітчизняних фірм, що займаються розробками в галузі енергетики.

3.10.2. Продукція підприємства

Основними напрямками діяльності департаменту турбін ВАТ "Енергомашкорпорация" у даний час є:

- розробка конструкторсько-технологічної документації на виготовлення газотурбінних установок, турбогенераторів, котельного устаткування;

- проектування парових турбін, електричних станцій "під ключ";

- організація і здійснення складального виробництва газотурбінних установок;

- контроль за своєчасним запуском у виробництво, виготовленням і відвантаженням устаткування згідно з укладеними й оплаченими договорами та контрактами;

- координація робіт з розробки й освоєння виробництва конкурентоспроможних видів устаткування;

- аналіз кон'юнктури ринку промислової продукції.

Починаючи із середини 2000 р. ВАТ "Енергомашкорпорация" приступило до реалізації в регіонах Росії програми будівництва ГТУ-ТЕЦ на базі газотурбінних блоків 9 МВт, розроблених інженерним центром департаменту турбін у кооперації з іншими організаціями і фірмами. До 2008 р. планується ввести в дію більше трьохсот станцій по два-чотири блоки в кожній. Вартість проекту оцінюється в 6 млрд дол. **

* Адреса центру: 195009, м. С.-Петербург, вул. Відродження, 20а, керівник – Ю.М. Ануров, чисельність працюючих біля 300 чол. (2003 р.).

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.energomash.ru.

Перспективним напрямком подальшого розвитку корпорація вважає організацію масового виробництва парогазових установок потужністю 60 МВт. У цих установках пара, отримана за рахунок утилізації тепла газів, спочатку направляється в протитискову парову турбіну, а потім – у проточну частину ГТД (варіант STIG*).

Газотурбінна електростанція з агрегатами ГТ-009 (ГТ-009М)

ВАТ "Энергомашкорпорация" забезпечує спорудження на умовах "під ключ" газотурбінних ТЕЦ (ГТУ-ТЕЦ) у модульному виконанні з високоекономічними і простими в експлуатації газотурбінними агрегатами потужністю 9 МВт власної оригінальної розробки.

Усе основне устаткування станції виготовляється на підприємствах корпорації: на "ЭМК-Атоммаш"*** (м. Волгодонськ, Ростовська обл.) здійснюється загальне збирання газотурбінних установок і виготовлення регенераторів***, ВАТ "Урал-електротяжмаш" займається виробництвом генераторів, ВАТ "Сибэнергомаш" – котлів-утилізаторів, ВАТ "Белэнергомаш" – трубопроводів, усі металоконструкції поставляє белгородський Виробничий комплекс – Завод металоконструкцій.

Основні характеристики енергоблока ГТ-009 наведені нижче:

Температура повітря:	
за компресором	519 К
за регенератором	779 К
Температура газів:	
початкова	1223 К
за турбіною	833 К
за регенератором	593 К
перед котлом-утилізатором	553 (813) К
за котлом-утилізатором	363 (593) К
Частота обертання:	
турбокомпресора	6000 об/хв
ротора генератора	3000 об/хв
Напруга струму	6300/10500 В
Максимальна паропроductивність котла	35 т/год
Температура генерованої пари	523 К
Тиск генерованої пари	1,37 МПа

Проектування під реальний об'єкт виконується за стандартами, нормами, правилами і технічними умовами, прийнятими у Російській Федерації, та вихідними даними, отриманими від замовника. Залежно від особливостей споживачів можливі

* Див. також опис продукції ММПП "Салют".

** Раніше – Волгодонський завод важкого машинобудування.

*** Частини газотурбінної установки виготовляються більш ніж на 20 підприємствах. Наприклад, роторна частина виробляється ВАТ "КМПО" (м. Казань), яке не входить до складу корпорації.

наступні рішення:

- видача електричної потужності в систему на генераторній (6,3 чи 10 кВ) або підвищеній напрузі;

- видача теплової потужності через центральний тепловий пункт, розміщений у безпосередній близькості від ТЕЦ або в центрі теплових навантажень, з повною гідравлічною розв'язкою мереж ТЕЦ і споживчих мереж;

- робота ТЕЦ на спільні з іншими енергоджерелами теплові мережі або використання ТЕЦ як автономного джерела;

- використання ТЕЦ як у закритих, так і у відкритих системах теплопостачання;

- забезпечення резервування відпуску тепла від існуючих енергоджерел і (або) від водогрійних котлів при наявності другого підводу газу від міського газопроводу низького чи середнього тиску.

Конструкція ГТУ-ТЕЦ відрізняється від широко розповсюджених у Росії рішень. Устаткування і каркас будинків спираються не на фундамент, а на плитну основу (ростверк), яка, у свою чергу, спирається на палі. Кожна із шести основних паль станції несе 300 т навантаження, інші 20 – по 100 т*. З метою підвищення сейсмічної стійкості простір між палями може заповнюватися дрібним щебенем. Конструкція пальнової основи дозволяє уникнути виконання земляних робіт і значно скоротити терміни будівництва.

Високий ступінь автоматизації станції обумовив невелику кількість її обслуговуючого персоналу – 8 чоловік (кожна зміна складається з двох чоловік).

До складу кожного енергоблока входить газотурбінний агрегат типу ГТ-009 та електрогенератор ТФЭ-10-2ГУЗ.

Газотурбінний агрегат виконаний за складною тепловою схемою з регенерацією й утилізацією тепла вихлопних газів (регенератор типу РВП-2200-01, котел-утилізатор КУВ-23,2(20)170). Двигун одновальний із двохопорним ротором (рис. 3.10.1). Двоступінчаста осьова турбіна приводить в обертання 13-ступінчастий осьовий компресор. Камера згоряння секційного типу. Для зниження частоти обертання між двигуном та електрогенератором установлений редуктор.



Рис. 3.10.1. Ротор двигуна ГТ-009

* Цифри наведені для двоблокової станції з агрегатами ГТ-009М.

Основні технічні характеристики ГТУ-ТЕЦ наведені нижче:

	ГТУ-ТЕЦ з ГТ-009	ГТУ-ТЕЦ з ГТ-009М
Кількість енергоблоків		2
Установлена потужність, МВт:		
електрична		18
теплова		46,5
Використання установленної потужності, год/р.		7500
Річний відпуск:		
електроенергії, млн Вт·год		130
тепла від ТЕЦ, 10 ³ ГДж		1045...1100
Річна витрата умовного палива, 10 ³ т		69
ККД газотурбінного агрегату (в умовах ISO), %		35
Коефіцієнт корисного використання палива, %	до 85	75,0...77,5
Габарити головного корпусу, м	24×48	24×36
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах, мг/нм ³		50 (120)
Рівень шуму (на відстані 100 м), дБ	60	50

Найповніше енергія палива в установці використовується при безпосередньому поєднанні котла-утилізатора і газотурбінного агрегату (без регенератора).

Як додаткове устаткування для покриття двох видів теплового навантаження схема ГТУ-ТЕЦ містить у собі установку пароводяних підігрівників для утилізації надлишку пари.

Перший енергоблок ГТУ-ТЕЦ з ГТ-009 введений у дослідно-промислову експлуатацію в грудні 2002 р. на електростанції м. Вельськ (Архангельська обл.). Ведуться роботи з будівництва і налагодження устаткування на подібних станціях у Кримську (Краснодарський край), Орлі, Режі (Свердловська обл.), Барнаулі, Белгороді, Саранську (Мордовія), Всеволожську (Ленінградська обл.), Новгороді. У найближчий період на цих станціях планується ввести в експлуатацію 24 блоки з ГТ-009.

У розвиток існуючого проекту ГТУ-ТЕЦ ВАТ "Енергомашкорпорация" починає серійний випуск наступного покоління станцій – серію з агрегатами **ГТ-009М** ("модернізовані").

Новий енергоблок принципово відрізняється від попереднього насамперед габаритними розмірами (він менший майже в 1,5 разу), що зумовлюється головним чином зміненою конструкцією регенератора (тип РВП-2200-02) і котла-утилізатора. До складу установки включений також водогрійний котел КВ-Г-23,2(20)170, використовуваний до введення енергоблоків для набору навантажень і після введення ТЕЦ для покриття пікових навантажень та резервування. Котел має номінальну теплопродуктивність 23,2 МВт (20 Гкал/год), забезпечує підігрів води від 80 до 170 °С, працює з постійною витратою води 220 т/год на всіх навантаженнях.

Важливою особливістю ТЕЦ з агрегатами ГТ-009М є відмова від редуктора і використання частотного перетворювача, який забезпечує відпуск електроенергії частотою 50 Гц при роботі генератора ТФЭ-10-2УЗ/6000 з частотою обертання ротора близько 6000 об/хв.

Принципово новим технічним рішенням стало застосування магнітних опор у газотурбінному двигуні й електрогенераторі, що дозволило відмовитися від дуже складної масляної системи. Дане нововведення реалізоване за допомогою інженерів французької фірми "S2M". Необхідно відзначити, що аналогів застосування таких опор у ГТД поки не існує.

У магнітних підшипниках використані не електромеханічні діагностичні системи, які за непрямыми даними видають інформацію про стан вузла, а електронні цифрові системи керування режимами роботи. При цьому підшипник стає "активно керованим": про режим його роботи можна судити за прямими показниками введених в агрегат датчиків, що вимірюють величину зазору між роторною і статорною частиною та є більш інформативними системами, ніж ті, котрі застосовувалися колись.

На думку французьких фахівців, система електронного цифрового керування магнітними підшипниками зможе забезпечити практично 100%-ну гарантію надійності двигуна і генератора.

Для ГТУ-ТЕЦ була також розроблена принципово нова конструкція комплексного повітроочисного пристрою, сполученого з повітряними маслоохолоджувачами.

Протягом найближчих двох років 22 енергоблоки ГТ-009М планується встановити на 11 станціях ГТУ-ТЕЦ.

Контрольні завдання

- 1. Охарактеризуйте склад і основні напрямки діяльності ВАТ "Энерго-машкорпорация".*
- 2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається корпорацією.*
- 3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри енергоблоків з агрегатами ГТ-009(М).*
- 4. Проаналізуйте склад і технічні характеристики газотурбінних електростанцій ГТУ-ТЕЦ на основі агрегатів ГТ-009(М).*



3.11. ВАТ "Пролетарский завод"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Пролетарский завод".

Адреса підприємства: 193029, Росія, м. С.-Петербург, вул. Дудко, 3.

Чисельність працюючих: 1000 чол. (2002 р.).

3.11.1. Відомості про підприємство

Днем народження ВАТ "Пролетарский завод" вважається 7 вересня 1826 р., коли з вагранок печі підприємства "Александровский литейный завод" була отримана перша продукція. До 1844 р. основною продукцією були парові машини, пароплави, вироби будівельного і художнього лиття. За цей період на заводі було побудовано 17 пароплавів загальною потужністю 1000 к.с., а в 1834 р. був виготовлений перший суцільнометалевий підводний човен за проектом К.А. Шильдера.

У 1844 р. з початком будівництва першої російської залізничної магістралі С.-Петербург–Москва завод переводиться у відомство шляхів сполучення. До 1848 р. на заводі побудовано 43 пасажирських і близько 129 вантажних паровозів.

У радянський час Пролетарський вагонобудівний завод стає одним з головних постачальників паровозів, а потім тепловозів для залізниць СРСР. Тривалий період експлуатувалися і непогано зарекомендували себе тепловози типу ТГ-102 (з гідропередачею).

У 1963 р. у розпал будівництва в Радянському Союзі великого океанського флоту завод перепрофілюється на випуск продукції суднового машинобудування – рульових машин, лебідок, гвинтів регульованого кроку, кранів та ін. Масово виробляється продукція за ліцензійними угодами. Так, наприкінці 60-х років на підприємстві був організований випуск суднових палубних гідравлічних кранів шведської фірми "Haglund and Soner AB". Пізніше за ліцензіями японської фірми "Chuetzu Vaukesha" і німецької "Howaldswerke Deutsche Werft" виготовлялися дейдвудні ущільнення валопроводів, за ліцензією фірми "Rexrot" – гідравлічні машини і насоси.

У 1975 р. на базі підприємства створене Науково-виробниче об'єднання "Пролетарский завод", до складу якого був також включений розташований рядом завод "Экономайзер", що спеціалізувався на випуску продукції суднової енергетики.

Основним напрямком діяльності заводу "Экономайзер" було виробництво парових і газових турбоагрегатів невеликої потужності, а також насосів різного призначення.

Турбобудування на заводі почало розвиватися з 1945 р., коли відповідно до наказу Народного комісаріату важкого машинобудування від 8 грудня 1944 р. було організоване проектування і виробництво турбонасосів для суден та електро-

станцій. До даного часу випущені сотні турбонасосних агрегатів, причому всі турбоприводи протитискові.

З 1953 р. підприємством ведеться випуск конденсатних електронасосних агрегатів для різного типу енергетичних установок. Вироблено більше 20 типів насосів загальною кількістю до 5 тис. шт. Освоєне також виробництво живильних і циркуляційних насосів різної продуктивності та призначення.

З другої половини 50-х років на заводі "Економайзер" був організований новий для нього напрямок – створення газотурбогенераторів (ГТГ) для електроенергетичних систем кораблів військово-морського флоту середньої і великої водотоннажності.

Перший газотурбогенератор ГТУ-3 потужністю 300 кВт був установлений для перевірки в натурних умовах на кораблі проекту 41. Результати випробувань дозволили рекомендувати газотурбогенератори для встановлення на надводні кораблі. У 1966 р. початий серійний випуск ГТУ-6А. Надалі в результаті великого обсягу дослідно-конструкторських робіт з урахуванням досвіду експлуатації на підприємстві були створені уніфіковані ГТГ потужністю 1250, 1500, 1600 кВт. Газотурбогенератори виробництва заводу "Економайзер" відрізняються простою конструкції (виконані за одновальною схемою) і високим ресурсом (до капітального ремонту – 50000 год). Якість електроенергії відповідає найбільш жорстким вимогам корабельного озброєння. Уніфікованими ГТГ оснащені кораблі проектів 61, 1134Б, 1155, 1144, 1164.

З 80-х років НВО "Пролетарский завод" (у даний час – акціонерне товариство) серійно виготовляє також вироби загального машинобудування: прохідницькі щити для метрополітену, палевдавлювальні машини, залізничні гідравлічні крани і т.д. Виконуються замовлення ВАТ "Газпром" з випуску автономних енергетичних установок, що працюють на природному газі. Перші такі установки проходять випробування в Уренгої.

У 1992 р. для реалізації своєї продукції за рубежом підприємством була створена Зовнішньоторгова фірма "Судмаш".

3.11.2. Продукція підприємства

У даний час для суднового машинобудування ВАТ "Пролетарский завод" виготовляє посадкові комплекси авіаносних кораблів, суднові рушії, вантажопідйомні механізми, рульові машини та ін.

Двома основними напрямками діяльності підприємства в галузі енергетики є насособудування і турбобудування. У рамках першого напрямку замовнику пропонуються електронасосні агрегати різного конструктивного виконання, призначені для суднового і теплоенергетичного використання, у рамках другого – корабельні і промислові газотурбогенератори потужністю 1,5 МВт, транспортабельні автоматизовані газотурбінні електростанції ПГТЭС-1500, паротурбогенератори потужністю 600...1800 кВт, парові турбоприводи.

На базі газотурбогенераторів планується розробка когенераційних газотурбінних електростанцій*.

Газотурбогенератор ГТГ-1500-2(Г)

Являє собою автоматизований агрегат – джерело електричного струму, всі основні елементи і допоміжні системи якого змонтовані на єдиній рамі (рис. 3.11.1). Газотурбогенератор містить у собі газотурбінний двигун, що працює за відкритим циклом, планетарний редуктор з навішаними агрегатами, електрогенератор, систему регулювання, керування і захисту, масляну, повітряну та дренажну системи, систему промивання проточної частини ГТД.

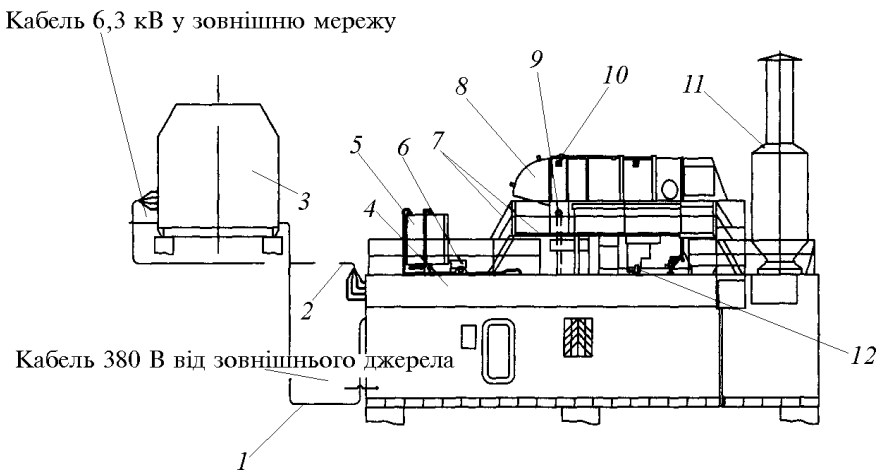


Рис. 3.11.1. Газотурбогенератор ГТГ-1500-2Г:

1 – міжблоковий кабель 6,3 кВ; 2 – міжблокові кабельні зв'язки систем керування, сигналізації і живлення; 3 – блок керування; 4 – силовий блок; 5 – маслоохолоджувальна установка; 6 – система вентиляції; 7 – площадки, леєри і трапи для обслуговування; 8 – комплексний повітроочисний пристрій; 9 – протиоблідувальна система; 10 – система освітлення; 11 – газовихлопний пристрій; 12 – паливна система силового блока

Газотурбінний привід (рис. 3.11.2) одновальний, являє собою єдиний блок турбіни і компресора. Компресор осьовий, 13-ступінчастий. Турбіна осьова, триступінчаста. Камера згоряння індивідуальна, протитокова. Ротор турбокомпресора пов'язаний торсіоном з головною зубчастою передачею редуктора і складається з ротора компресора барабанного типу, у який запресовані лівий вал і втулка-компенсатор, та ротора турбіни, що містить три диски, стягнуті між собою і втулкою-компенсатором центральним стяжним болтом.

Основна особливість ротора – наявність втулки-компенсатора в системі стяжки дисків. Маючи відносно малу жорсткість порівняно з жорсткістю стяжного болта,

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – webcom.spb.ru/prj/proletarsky.

втулка-компенсатор забезпечує необхідну стабільність зусилля стяжки дисків при теплових розширеннях елементів турбіни. Така схема стяжки дисків відрізняється простотою і надійністю, забезпечує швидкість та зручність збирання і розбирання ротора.

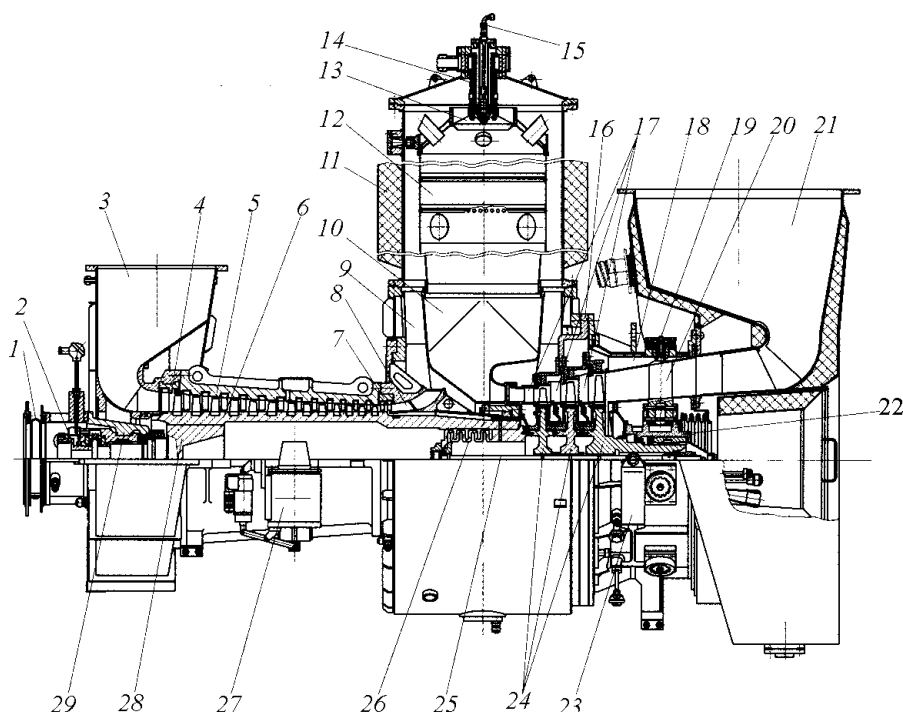


Рис. 3.11.2. Газотурбінний привід турбогенератора ГТГ-1500-2Г:

1 – компенсатор; 2 – втулка торсіона; 3 – всмоктувальний патрубков; 4 – вхідний ступінь компресора; 5 – статор компресора; 6 – ротор компресора; 7 – випрямний апарат; 8 – дифузор компресора; 9 – напірний патрубков; 10 – газозбірник; 11 – корпус камери згоряння; 12 – парова порожнина; 13 – завихрювач; 14 – пальник; 15 – запалювач; 16 – діафрагма; 17 – статори турбіни; 18 – турбінна опора; 19 – демпфувальний пристрій; 20 – стояк; 21 – вихлопний патрубков; 22 – підшипник турбіни; 23 – опора; 24 – диски турбіни; 25 – стяжний болт; 26 – втулка-компенсатор; 27 – антипомпажний клапан; 28 – лівий вал; 29 – підшипник компресора

На ободах дисків у чотиризубих ялинкових пазах установлені робочі лопатки.

Для створення надійної системи охолодження дисків турбіни і замків робочих лопаток повітрям, яке надходить від компресора, у конструкції ротора застосовані дефлектори і покриваючі диски. Кількість охолодного повітря дозується прорізами на стяжному болті і на розрізних кільцях під дефлекторами та покриваючими дисками.

Замкові частини робочих лопаток турбіни виконані з полицями і подовженими ніжками, між якими проходить охолодне повітря, що перешкоджає поширенню тепла від лопаток до ободів дисків. На кінці пера лопаток 1-го і 2-го ступенів є бандажні полиці. При роботі ГТД під впливом відцентрових сил лопатки прагнуть розгорнутися, що приводить до закриття осьових зазорів у вирізах бандажів,

унаслідок чого утворюється кільцевий бандаж, який різко знижує рівень вібраційних напружень у лопатках. На зовнішній поверхні полиць нарізані зуби лабіринтового ущільнення.

Компресорна частина ротора складається з барабана, лівого вала, тринадцяти ступенів робочих лопаток, імпелера і втулки торсіона.

На напірному патрубку встановлена протитокова камера згоряння, яка складається з корпусу із кришкою, двоконтурного пальника, запалювача, жарової труби і завихрювача.

Гнучкий зв'язок статора турбокомпресора з корпусом редуктора здійснюється за допомогою компенсатора з гумовим сильфоном.

Редуктор планетарний, трипотоківий, одноступінчастий, з передаточним відношенням 8,357, забезпечує зниження частоти обертання ротора з 12536 до 1500 об/хв. Редуктор жорстко встановлений на фланці рами і має з нею спільну масляну порожнину. Він складається з корпусу, головної зубчастої передачі, головного торсіона, зубчастої муфти, стартерного механізму, приводів головного масляного насоса і регулятора швидкості, регулятора граничної частоти обертання і валоповоротного пристрою.

Конструкція торсіона і зубчастої муфти дозволяє компенсувати деяку неспіввісність двигуна та генератора стосовно редуктора. Муфта має 15-кратний запас міцності на випадок короткого замикання чи переходу генератора в режим двигуна.

У комплект газотурбогенератора можуть входити синхронні електрогенератори типу МСК із напругою 400 В з водяним охолодженням (витрата охолодної води 20...30 т/год) або електрогенератори типу ГСБ-1800-6,3-1500-УХЛ2 з напругою 6,3 кВ із повітряним охолодженням (можлива комплектація генератором на 10,5 кВ).

Для газотурбогенератора характерна стійка робота у всьому діапазоні робочих навантажень (від холостого ходу до номінальної потужності) при температурі зовнішнього повітря $-55...+40$ °С, атмосферному тиску 720...780 мм рт. ст. і відносній вологості повітря до 98 %.

Для газотурбінного приводу може бути використане дизельне паливо Л-0,2-61 за ГОСТ 305–82 або природний газ з тиском 1,2 МПа (для модифікації ГТГ-1500-2Г).

Газотурбогенератори можуть працювати як в автономному режимі, так і паралельно з енергосистемою чи з іншими аналогічними джерелами електричного струму. Габаритні розміри дозволяють установлювати їх на невеликих площах і низькому фундаменті.

Ресурс газотурбогенераторів до капітального ремонту складає 50000 год, повний ресурс – 100000 год, термін служби – 25 років.

Газотурбогенератор запускається автоматично, за командою оператора з місцевого чи дистанційного пульта керування. Система пуску забезпечує запуск від двох електростартерів, які працюють від мережі змінного струму 380 В через випрямний агрегат ВАКЭП-140-70ПВ або, коли потрібно, від групи акумулятор-

них батарей. Час запуску з набором 100%-го номінального навантаження складає 2,5 хв, час роботи стартерів – 70 с.

Система регулювання забезпечує автоматичне і дистанційне керування при одиночній та паралельній роботі на електричну мережу у всьому діапазоні навантажень – від холостого ходу до 110%-ї номінальної потужності. Максимальне відхилення частоти від номінальної при скиданні і наборі 100 % навантаження складає не більше 2 %.

Газотурбогенератори можуть бути застосовані у схемах з комбінованим виробленням електроенергії і тепла. У цьому випадку за двигуном може бути встановлений котел-утилізатор для вироблення пари чи гарячої води. При номінальних параметрах двигуна крім електричної потужності 1,5 МВт може бути утилізовано більше 4 МВт теплової енергії. Економічність такої комбінованої установки може перевищувати 60 %.

Газотурбінна електростанція ПГТЭС-1500

ПГТЭС-1500 призначена для використання в ролі основного і резервно-пікового джерела змінного трифазного струму частотою 50 Гц, напругою 6,3 кВ (можливі варіанти виконання на 0,4 і 10,5 кВ) для стаціонарних та швидкокомтованих систем постійного і тимчасового електропостачання окремих селищ, підприємств, лікарняних і готельних комплексів у районах з різними кліматичними умовами. Вона може застосовуватися на компресорних станціях магістральних газопроводів і нафтових промислів, для забезпечення електроенергією районів видобутку і транспортування газу.

Основні технічні характеристики ПГТЭС-1500 наведені нижче:

Потужність:	
номінальна	1500 кВт
максимальна	1800 кВт*
Витрата повітря через компресор	11,0 кг/с
Міра підвищення тиску	6,1
Температура газу:	
перед турбіною	1113 К
за турбіною	753 К
Витрата газу через турбіну	11,2 кг/с
Частота обертання:	
ротора ГТД	12600 об/хв
вихідного вала редуктора	1500 об/хв
Номінальна напруга	0,4/6,3/10,5 кВ
Частота струму	50 Гц
Ефективний ККД	21 %**

* При зниженні температури зовнішнього повітря нижче 15 °С потужність може бути підвищена понад номінальну з розрахунку 15 кВт на 1 °С зниження температури, але не більш ніж до 1800 кВт.

** З урахуванням усіх утрат в агрегаті і гідравлічному опорі в повітрязбірному та газовихлопному пристроях по 1,47 кПа.

Паливо	природний газ за ГОСТ 21199–89
Тиск паливного газу на вході в ГТД	1,2±0,1 МПа
Витрата:	
паливного газу (при $H_u = 50056$ кДж/кг)	523,5 кг/год
масла (безповоротні втрати)	не більше 0,01 кг/год*
Концентрація NO _x (CO) у вихлопних газах	60 (80) мг/нм ³
Рівень звукової потужності (на відстані 1 м від контейнера)	80 дБ

* 8...10 тис. год без дозаправлення.

Ресурс електростанції до капітального ремонту складає 50000 год, повний ресурс – 100000 год, термін служби до капітального ремонту – 10 років, до списання – 20 років.

Електростанція розміщена в двох контейнерах: контейнері силового блока і контейнері блока керування електростанцією. У силовий блок входять: газотурбогенератор ГТГ-1500-2Г, місцевий пульт керування, комплект устаткування для автономного живлення системи керування, комплект устаткування для пуску ГТД, комплект електроустаткування системи автоматичного збудження генератора, допоміжне устаткування, робоче місце оператора.

У блок керування входять: комплектний розподільний пристрій, трансформатор власних потреб, дистанційний пульт керування, допоміжне устаткування, робоче місце оператора.

На даху силового блока розташовані комплексний повітроочисний і газовихлопний пристрої. Для їхнього монтажу й обслуговування встановлені трапи, площадки і леєрне огороження.

Головний зразок ПГТЭС-1500 виготовлений і встановлений на площадці Р-440 Ново-Уренгойського комбінату "Уренгойбурэнерго", де в 1999 р. відбулися приймальні міжвідомчі випробування. У 2000 р. були виготовлені три електростанції ПГТЭС-1500 для ВАТ "Таймыргаз".

У 2002 р. підприємством був виготовлений другий головний зразок ПГТЭС-1500 на напругу 10,5 кВ, удосконалений відповідно до рекомендацій міжвідомчої комісії.

Література до підрозд. 3.11

Газотурбинная электростанция ПГЭС-1500 / В. Волчек, Е. Ефремов, В. Лезнов, С. Рахов // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 1. – С. 7–9.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "Пролетарский завод".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством.
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбогенератора ГТГ-1500-2(Г).
4. Проаналізуйте склад і технічні характеристики газотурбінної електростанції ПГТЭС-1500.

3.12. ВАТ "УМПО" та ФДУП "НПП "Мотор"

	<i>Повне найменування:</i> Відкрите акціонерне товариство "Уфимское моторостроительное производственное объединение". <i>Адреса підприємства:</i> 450039, Росія, Башкортостан, м. Уфа, вул. М. Феріна, 2. <i>Чисельність працюючих:</i> 17250 чол. (2001 р.).
	<i>Повне найменування:</i> Федеральне державне унітарне підприємство "Научно-производственное предприятие "Мотор". <i>Адреса підприємства:</i> 450039, Росія, Башкортостан, м. Уфа, вул. Сільська Богородська, 2.

3.12.1. Відомості про підприємства

ВАТ "Уфимское моторостроительное производственное объединение" було засновано в 1925 р. як завод з виробництва комбайнових моторів. Наприкінці 30-х років підприємство переорієнтується на випуск авіаційних поршневих двигунів. У 1940 р. воно одержало найменування "завод № 384".

У 1941 р. в Уфу евакуюються моторний завод № 26 з м. Рибінська, заводи № 234 і № 451 з Ленінграда, частина підмосковного заводу № 219, проектне бюро московського Центрального інституту авіаційного моторобудування, конструкторське бюро В.А. Добриніна з Воронежа. За роки Великої Вітчизняної війни на об'єднаному підприємстві було випущено близько 97 тис. авіаційних двигунів. Перехідний Червоний прапор Державного комітету оборони був завойований 23 рази і залишений підприємству на вічне зберігання. На кожному третьому бойовому літаку Червоної армії стояв уфимський двигун.

У 1945 р. на базі виробничих потужностей евакуйованих підприємств, мо-

торного заводу № 384 і дизельного заводу № 336 був створений Уфімський моторобудівний завод.

Завод першим у галузі (1946 р.) освоїв виробництво турбореактивних двигунів. Під керівництвом В.Я. Климова був розроблений двигун РД-10 на основі німецького ЮМО 004 тягою 900 кгс, який встановлювався на винищувачах Як-15. Надалі двигунами уфімського виробництва оснащувалися літаки МиГ-15, МиГ-19, МиГ-21, МиГ-21ВІС, МиГ-23Б, Іл-28, Су-15, Су-22 та ін.

З 1954 р. підприємство випускає короткоресурсні двигуни для крилатих ракет, літаків-мішеней, безпілотних літаків-розвідників. У 1958 р. освоюється виробництво рідинно-ракетних двигунів для різного типу ракет.

У 1978 р. на основі заводу створюється підприємство "Уфимское моторостроительное производственное объединение". У 1993 р. шляхом акціонування воно перетворюється у ВАТ "УМПО". У даний час до складу об'єднання входять: Авіадвигунове виробництво, Уфімський завод автомобільних моторів, Уфімський інструментальний завод, Башкирський машинобудівний завод.

У 80-х роках ВАТ "УМПО" освоює випуск авіаційних двигунів четвертого покоління АЛ-31Ф конструкції А.М. Люльки для винищувача Су-27 і його модифікацій. У 2000 р. об'єднання приступило до виробництва двигуна АЛ-31ФП із регульованим вектором тяги для літаків Су-30 і Су-37. Разом з ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя) і ММПП "Салют" (м. Москва) виготовляється двигун для цивільної авіації Д-436Т1 розробки ЗМКБ "Прогрес".

У 90-х роках освоюється випуск газотурбінних двигунів АЛ-31СТ і АЛ-31СТЭ для газоперекачувальних агрегатів та електростанцій, а також випуск снігоходів, мотоблоків, токарських верстатів.

За час свого існування ВАТ "УМПО" випустило більше 50 моделей авіаційних двигунів, що встановлювалися на 170 типах і модифікаціях літаків, серед яких усевітньо відомі марки – МиГ, Су, Ту. На них здійснений ряд видатних тривалих перельотів і поставлено більше 80 світових рекордів. До 1992 року 25...30 % авіаційної продукції підприємства поставлялося в соціалістичні країни і країни третього світу.

У даний час ВАТ "УМПО" є одним з визнаних лідерів Росії в галузі авіаційного двигунобудування, займає незмінно високі позиції в рейтингу найбільших підприємств країни. Вироби марки УМПО експлуатуються в 49 країнах світу.

За роки діяльності об'єднанням виготовлено також понад 7,5 млн автомобільних двигунів М-412, 140 тис. комбайнових моторів У-5 та У-5МА, 2,5 млн малолітражних бензинових двигунів сімейства ЗИД-4,5, УМЗ-5А, УМЗ-5Б, безліч різних вузлів до вертольотів Ми-6, Ми-26, Ка-27.

Науково-виробниче підприємство "Мотор" було утворено постановою уряду СРСР у вересні 1955 р. Основний напрямок діяльності – проектування і створення турбореактивних двигунів, в основному для винищувальної і штурмової авіації та безпілотних літальних апаратів. За цей період підприємством було створено близько 70 типів двигунів та їхніх модифікацій, 21 з яких випускався серійно.

У рамках конверсії підприємство з початку 90-х років проводить роботи з використання технологій авіадвигунобудування для створення ефективних наземних енергетичних установок. Широко впроваджуються авіаційні технології також у ремонт і модернізацію устаткування паливно-енергетичного комплексу.

3.12.2. Продукція підприємств

Розробка і виробництво авіаційних двигунів залишаються профільним напрямком діяльності уфімських підприємств. Для літаків Су-27 і Су-30 ВАТ "УМПО" виготовляє і ремонтує ТРДД АЛ-31Ф, почате освоєння виробництва двигунів: Д-436Т1 – для середньомагістрального літака Ту-334, Д-436ТП – для літака-амфібії Бе-200, Р-95Ш – для винищувача Су-25, Р-29Б-300 – для МиГ-27.

Серійно випускаються двигуни: Р-25-300 – для винищувачів Су-15бис і МиГ-21бис, Р-11Ф-300, Р-11Ф2-300 і Р-11Ф2С-300 – для МиГ-21, Р-13-300 – для МиГ-21МФ і Су-15, Р-29Б-300 і Р-29БС-300. Виготовляються також трансмісії вертольотів Ка-27, Ка-32, Ка-26, Ми-10, Ми-6 і Ми-26, втулки повітряних гвинтів, редуктори, трансмісії передач.

Усе більша увага приділяється випуску газотурбінних двигунів та установок для промислового застосування. У другій половині 90-х років об'єднанням успішно освоєне серійне виробництво двигунів АЛ-31СТ і АЛ-31СТЭ потужністю 16 МВт, розроблених Науково-технічним центром ім. А.М. Люльки*. На основі АЛ-31СТ створений газоперекачувальний агрегат ГПА-16Р "Уфа". Крім цього НПП "Мотор" розробило, а ВАТ "УМПО" виготовляє газотурбінну установку ГТЭ-10/95 потужністю 8 МВт, яка знайшла застосування на ряді підприємств Республіки Башкортостан.

За договором з ВАТ "Мотор Січ" на підприємстві з 2000 р. налагоджується виробництво двигунів Д-336-2Т потужністю 6,3 МВт для компресорних станцій. Перші такі двигуни були зібрані в 2001 р.

Також ВАТ "УМПО" масово випускає двигуни внутрішнього згоряння для автомобілів, снігоходи, водні мотоцикли, мотоблоки, токарські верстати, товари повсякденного попиту. На замовлення ВАТ "Башкирэнерго" у рамках "Програми розвитку малої гідроенергетики" НПП "Мотор" веде розробку гідротурбін, займається ремонтом і модернізацією вітроенергетичних установок**.

Газотурбінна установка ГТЭ-10/95

Установка ГТЭ-10/95 є автономним, екологічно чистим джерелом електро- і теплопостачання з утилізацією тепла вихлопних газів для потреб віддалених жит-

* Див. також опис продукції ВАТ "НПО "Сатурн".

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.umpro.ru.

лових та виробничих районів, а також мікрорайонів міст при спільній роботі з діючою єдиною енергосистемою.

Розробником ГТЭ-10/95 є НПП "Мотор", виробником газотурбінного приводу – ВАТ "УМПО", турбогенератора типу ТГ2-2ЭУЗ – ВАТ "Привод" (м. Лисьва), котла-утилізатора – АТ "Белэнергомаш" (м. Белгород).

Газотурбінний двигун, що входить в установку, являє собою сукупність кон-версійного варіанта газогенератора турбореактивного двигуна Р-95Ш (рис. 3.12.1) і вільної силової турбіни.

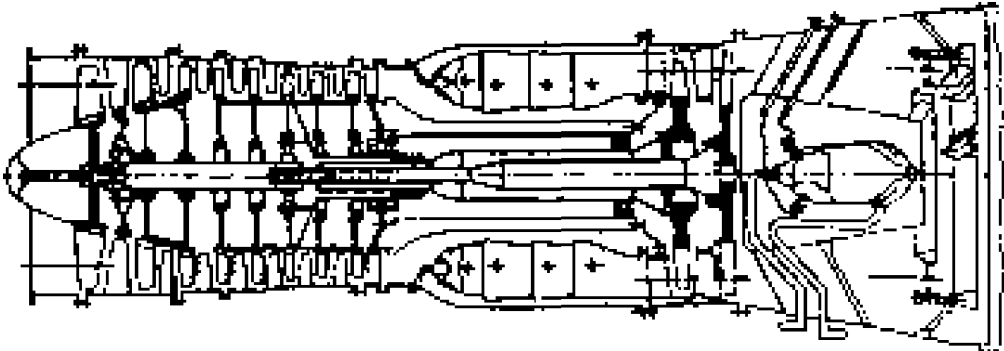


Рис. 3.12.1. Газогенератор двигуна Р-95Ш

Двигун Р-95Ш є модифікацією турбореактивного форсажного двигуна Р-13Ф-300 конструкції АМНТК "Союз" (м. Москва), який встановлювався на літаках сімейства МиГ-21. Двигун Р-95Ш був розроблений НПП "Мотор", з 1980 р. серійно випускається ВАТ "УМПО" і встановлюється на літаках Су-25 та їх модифікаціях.

Газогенератор двигуна виконаний двовальним. Компресори низького і високого тисків осьові, мають три і п'ять ступенів відповідно. Значну частину конструкції компресора складають деталі, виготовлені з титану.

Камера згоряння трубчасто-кільцева. У базовому двигуні міра підвищення тиску повітря складає 8,9, початкова температура газів – 1278 К.

Турбіни осьові. ТВТ і ТНТ одноступінчасті, силова турбіна триступінчаста.

Двигун обладнаний системою електричного автономного запуску, яка забезпечує запуск двигуна натисканням однієї кнопки, системою електрозапалювання, автономною маслосистемою і коробкою приводів.

Енергоустановка ГТЭ-10/95 поставляється в двох варіантах: у вигляді автономної блочно-модульної електростанції та у вигляді енергоблока для реконструкції котельних і теплових станцій. Проста конструкція двигуна з невеликим числом ступенів компресора і турбіни забезпечує малі габарити газотурбінного приводу та відносно низьку вартість.

Для даної установки НПП "Мотор" розроблена низькоемісійна камера згоряння, яка дозволяє одержати концентрацію оксидів азоту у вихлопних газах не більше 50 мг/м³ і тим самим забезпечити відповідність вимогам світового стандарту

з екологічних характеристик при роботі на обох видах палива (рідкому і газоподібному).

За вимогою замовника може бути реалізована схема газотурбінного приводу з керованим співвідношенням електричної і теплової потужності, при цьому на дросельних режимах для збереження потужності на валу приводу може бути збільшена теплова потужність на 10...20 %.

Основні технічні характеристики ГТЭ-10/95 наведені нижче:

Потужність:	
електрична	8,0 МВт
теплова	17,5 МВт
ККД приводу	24 %
Витрата повітря	50 кг/с
Міра підвищення тиску	7,7
Температура газів:	
початкова	1130 К
за ГТД	751 К
Частота обертання силової турбіни	3000 об/хв
Коефіцієнт використання енергії палива (з утилізацією)	82 %
Витрата паливного газу	0,40 м ³ /(кВт·год)
Ресурс	75000 год
Напруга	10500 В
Частота струму	50 Гц
Маса електростанції	68 т
Габарити електростанції	3,5×16,0×6,0 м

Дослідно-експериментальний зразок установки був уведений в експлуатацію наприкінці 1998 р. у котельному цеху № 5 філії ВАТ "Башкирэнерго" у м. Ішимбаї. Досвід експлуатації підтвердив високу ефективність, паливну економічність і гарні екологічні показники установки. У 2002 р. почате будівництво ГТУ-ТЕЦ на базі ГТЭ-10/95 у мікрорайоні Шакша м. Уфі.

Література до підрозд. 3.12

1. Лесунов В. Надежность и качество – визитная карточка ОАО "УМПО" // Двигатель. – 2000. – № 3. – С. 20–22.
2. Лесунов В. ОАО "УМПО": от авиационных двигателей – к установкам для энергетики и транспорта газа // Газотурбинные технологии. – 2000. – № 3. – С. 7–8.
3. Лесунов В. УМПО расширяет сферу применения своих двигателей // Двигатель. – 2000. – № 4. – С. 24–26.
4. Лесунов В. Энергия УМПО // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 26–27.
5. Экологические показатели газотурбинной энергетической установки ГТЭ-10/95 на базе конвертированного авиационного двигателя / А.А. Салихов, Р.М. Фаткуллин, Г.П. Гребенюк, В.Г. Габбасов // Теплоэнергетика. – 1999. – № 1. – С. 60–63.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасний стан газотурбобудування у ВАТ "УМПО" і НПП "Мотор".
2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами ВАТ "УМПО" і НПП "Мотор".
3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінної установки ГТЭ-10/95.

3.13. ФДУП "ЦИАМ"

	Повне найменування: Федеральне державне унітарне підприємство "Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова". Адреса підприємства: 111116, Росія, м. Москва, вул. Авиамоторна, 2.

3.13.1. Відомості про підприємство

Інститут створений 3 грудня 1930 р. в результаті об'єднання гвинтомоторного відділу ЦАГИ, авіаційного відділу Автомобільного й автомоторного науково-дослідного інституту і відділу дослідного моторобудування авіаційного заводу ім. М.В. Фрунзе в єдиний Інститут авіаційних моторів. З 1932 р. зветься "Центральный институт авиационного моторостроения" (ЦИАМ). У 1933 р. йому присвоєне ім'я П.І. Баранова – керівника авіаційної промисловості СРСР. У 1994 р. ЦИАМ набув статусу Державного наукового центру Російської Федерації.

До Великої Вітчизняної війни в інституті досліджувалися і розроблялися поршневі авіаційні двигуни (М-34, АЧ-30 та ін.). Створені в ЦИАМ двигуни АМ-34 О.О. Микуліна і АН-1 А.Д. Чаромського випускалися серійно та застосовувалися на багатьох рекордних і бойових літаках.

У січні 1935 р. усі роботи з дослідного двигунобудування, що проводилися в інституті, були передані на серійні моторобудівні заводи, при яких почали створюватися дослідно-конструкторські бюро. Майже весь науково-технічний склад цих ДКБ комплектувався з провідних спеціалістів ЦИАМ, серед яких були видатні конструктори: В.Я. Климов, В.А. Добринін, О.О. Микулін, К.І. Жданов, Є.В. Урмін, А.Д. Чаромський.

Зі створенням ДКБ ЦИАМ спеціалізувався на теоретичних та експериментальних дослідженнях робочого процесу і характеристик енергетичних установок, агрегатів наддування і паливостачання, міцності і надійності двигунів, а також наданні науково-технічної допомоги ДКБ при створенні дослідних двигунів.

У післявоєнні роки ЦИАМ практично цілком переключився на повітряно-реак-

тивну тематику. У цей період, як і на всіх переломних етапах розвитку авіаційної техніки, ЦІАМ виступав ініціатором і головним розроблювачем концептуальних документів, що визначали пріоритетні напрямки національної технічної політики в галузі авіаційного двигунобудування.

В останні роки в ЦІАМ істотно розширені фундаментальні дослідження з газової динаміки, горіння, теплопередачі й охолодження, міцності, електронних систем регулювання та їхнього програмного забезпечення. На основі цих досліджень розроблені методи розрахунку просторових течій в елементах реактивних двигунів, що істотно підвищують ефективність двигунів.

Як Державний науковий центр Російської Федерації та головна організація авіаційного двигунобудування Росії ЦІАМ здійснює функції забезпечення світового рівня фундаментальних і прикладних досліджень, формування технічного вигляду перспективних двигунів, створення науково-технічного заділу з розробки нових технологій, сертифікації двигунів, підготовки інженерів і молодих учених.

Неоціненний внесок у формування наукового потенціалу ЦІАМ зробили видатні вчені, які працювали в різний час у ньому: академіки Б.С. Стечкін, Л.І. Седов, Г.Г. Чорний, Г.І. Свіщев, С.В. Серенсен, професори Г.Н. Абрамович, Р.С. Кінасашвілі, І.А. Біргер, В.М. Акімов, І.Ф. Флоров та ін. Усесвітньо відомі їхні праці в галузі гіперзвукових технологій, теорії пограничного шару, турбулентності, горіння і теплообміну, течії електропровідного газу, динаміки лопаткових машин, динаміки і міцності, теорії двигунів, математичного моделювання високого рівня, фізико-технічних проблем енергетики.

3.13.2. Продукція підприємства

Одним з пріоритетних напрямків діяльності ЦІАМ в останні роки є розробка конкурентоспроможних на світовому ринку газотурбінних силових установок для наземного і морського транспорту, а також енергоустановок для паливно-енергетичного комплексу.

Для реалізації цього на базі Науково-випробного центру ЦІАМ у м. Литкаріно (Московська обл.) разом з Тушинським МКБ "Союз" і рядом інших організацій створене ЗАТ "Энергоавиа". Першим практичним кроком даного підприємства стало створення енергетичної установки ГТЭ-20/55СТ*.

Енергетична газотурбінна установка ГТЭ-20/55СТ

Промислова газотурбінна установка для виробництва електроенергії і тепла потужністю 15...20 і 35 МВт відповідно. Спільна розробка і виробництво ЗАТ

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.sonbi.ru.

"Энергоавиа", ЦИАМ, ТМКБ "Союз", ВАТ "ММП им. В.В. Чернышева", ЗАТ "Газ-энерго", ТОВ "Автонит".

Газотурбінний двигун, що входить до складу установки, виконаний двовальним, з вільною силовою турбіною. Компресор осьовий, 11-ступінчастий. Турбіни осьові, дво- і чотириступінчасті.

Установка ГТЭ-20/55СТ застосовується в міських умовах і у віддалених районах з різними кліматичними умовами. Модульна компактна установка, що складається з п'яти блоків-контейнерів, забезпечує швидкість монтажу, простоту обслуговування і ремонту шляхом заміни окремих блоків чи цілком блоків-контейнерів. Вона відповідає сучасним стандартам енергетичної, нафтової і газової промисловості в будь-яких умовах її використання.

Основні характеристики ГТЭ-20/55СТ (в умовах ISO 2314) наведені нижче:

Потужність:	
електрична	20 МВт
теплова	35 МВт
Напруга	6300 (10500) В
Частота струму	50 Гц
Ефективний ККД	31,7 %
Коефіцієнт використання енергії палива	82 %
Витрата повітря	86,5 кг/с
Міра підвищення тиску	10,2
Температура газів:	
початкова	1253 К
за ГТД	730 К
Частота обертання силової турбіни	3000 об/хв
Загальнотехнічний ресурс*	80000 год
Концентрація NO _x у вихлопних газах	50 мг/нм ³
Рівень шуму (на відстані 1 м від модуля)	80 дБ
Маса ГТД	6,7 т
Габарити	не більше 20,5×13,5×13,5 м

* При сервісному обслуговуванні за узгодженням із замовником.

Установка ГТЭ-20/55СТ може застосовуватися для одночасного вироблення електроенергії й опріснення морської і мінералізованої води. Газотурбінний привід ГТП-20/55СТ може бути використаний для газоперекачувальних установок або повітряних компресорів.

Склад комплекту устаткування для електростанції, яке поставляється ЗАТ "Энергоавиа": блок-контейнер газотурбінного приводу; блок електрогенератора із системами збудження, охолодження і змащення; блок-контейнер маслосистеми газотурбінного приводу; блок-контейнер системи автоматичного керування й електричного устаткування для власних потреб; блок вхідного повітроочисного пристрою із шумоглушінням.

Як паливо можуть використовуватися природний газ, гас, дизельне паливо та інші види за узгодженням із замовником.

Охолодження масла водяне (можливе використання води з оборотної системи),

охолодження генератора повітряне, замкнутого типу з водоповітряними охолоджувачами.

Напруга допоміжного електроустаткування складає: постійного струму – 27 В, сила струму 25 А; змінного – 220 В, сила струму 10 А; трифазного – 380 В (50 Гц).

Система керування – мультимікропроцесорний програмно-технічний комплекс "Автонит".

Енергоустановка може експлуатуватися в повітрі з помірною концентрацією пилу, при температурі $-45...+55$ °С, відносній вологості 0...100 %, швидкості вітру до 40 м/с.

Дві виготовлені установки ГТЭ-20/55СТ змонтовані на теплової електростанції Новополицького нафтопереробного заводу в Білорусії.

Контрольні завдання

1. Охарактеризуйте основні етапи розвитку і сучасні напрямки діяльності ФДУП "ЦИАМ".

2. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємством ЗАТ "Энергоавиа".

3. Розкрийте конструктивні особливості та технічні параметри газотурбінної установки ГТЭ-20/55СТ.

3.14. ВАТ "НПО "Искра"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Научно-производственное объединение "Искра".

Адреса підприємства: 614038, Росія, м. Перм, вул. Академіка Веденєєва, 28.

3.14.1. Відомості про підприємство

Підприємство було засновано в грудні 1955 р. як СКБ-172. У 1966 р. перетворюється в Конструкторське бюро машинобудування. У 1975 р. на базі КБ машинобудування і Пермського заводу хімічного обладнання утворюється Виробниче об'єднання "Искра" (надалі – Науково-виробниче об'єднання "Искра").

У липні 1996 р. НПО "Искра" було перетворено у ВАТ "НПО "Искра" зі змішаною формою власності. Розпорядженням уряду Російської Федерації в липні 1998 р. підприємству присвоєний статус Федерального науково-виробничого центру.

Підприємство має майже 50-річний досвід розробки і виробництва ракетних двигунів, установок та газогенераторів на твердому паливі для різних систем

ракетно-космічної техніки. Світова новизна й ефективність створених технічних рішень підтверджена майже 1600 авторськими свідоцтвами і патентами на винаходи.

У 1996 р. ВАТ "НПО "Искра" разом з компанією "Turbo Power & Marine Systems"* створило російсько-американське підприємство ЗАТ "Искра-Энергетика". У це підприємство було виділено виробництво і сервісне обслуговування газотурбінних електростанцій потужністю 2,5...25,0 МВт, яке проводилося виробничими потужностями об'єднання.

У 1998 р. на базі ЗАТ "ПМ-Авигаз" (існувало з 1994 р.) разом з ВАТ "Пермские моторы" створюється ЗАТ "Объединенные газопромышленные технологии "Искра-Авигаз" як інжинірингове підприємство і головний постачальник газотурбінних установок для реконструкції електростанцій потужністю 2,5 МВт та газоперекачувальних агрегатів для реконструкції компресорних станцій.

3.14.2. Продукція підприємства

У даний час ВАТ "НПО "Искра" розробляє і виготовляє:

ракетні двигуни на твердому паливі для ракетно-космічних систем;

твердопаливні газогенератори різного призначення і широкої гами можливостей;

газодинамічні труби й устаткування для відпрацювання і досліджень ракетних двигунів;

нагнітачі відцентрові НЦ-12 "Урал" і НЦ-16 "Урал" потужністю 12 та 16 МВт;

газоперекачувальні агрегати серії "Урал" потужністю 4, 10, 12, 16 і 18 МВт для лінійних, дотискних станцій та станцій підземних сховищ газу;

устаткування агропромислового комплексу, насоси різного призначення, крани, домкрати, повітроочисні пристрої та ін.

ЗАТ "Искра-Энергетика" пропонує наступні види послуг:

поставку газотурбінних електростанцій потужністю 2,5; 4, 5, 6, 12, 16 і 25 МВт у блочно-модульному й ангарному виконанні;

поставку електростанцій на базі двох-семи газотурбінних енергоблоків зазначених вище потужностей у спільному укрітті;

реконструкцію існуючих виробничих площ під установлення на них газотурбінних електростанцій;

повний обсяг проектних, будівельно-монтажних і пусконаладжувальних робіт з установлення електростанцій "під ключ";

інжинірингове забезпечення і супровід електростанцій в експлуатації**.

* Дочірнє підприємство американської компанії "Pratt & Whitney", яке займається розробкою і виробництвом промислових газотурбінних установок, газотурбінних електростанцій та силових установок для морських суден.

** Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційному сайті підприємства – www.iskra-energy.ru.

Газоперекачувальні агрегати серії "Урал"

Газоперекачувальні агрегати "Урал" потужністю 4, 10, 12, 16 і 18 МВт (табл. 3.14.1) призначені для транспортування природного газу по магістральних газопроводах, використовуються на дотискних компресорних станціях і станціях підземних сховищ газу. Як приводи нагнітачів використовуються газотурбінні двигуни ГТУ-4П, ГТУ-10П, ГТУ-12П та ГТУ-16П відповідної потужності, розроблені ВАТ "Авиадвигатель" (м. Перм) на базі авіаційного двигуна ПС-90А, а також двигун НК-16-18СТ розробки ВАТ "КПП "Авиамотор" (м. Казань)*.

Таблиця 3.14.1. Основні технічні характеристики агрегатів серії "Урал"

Параметри	Марки агрегатів										
	ГПА-4	ГПА ПХГ-10	ГПА ПХГ-10-01	ГПА-10 ДКС	ГПА-10 ДКС-01	ГПА-12	ГПА-12М	ГПА-16	ГПА-16М	ГПА-16ДКС	ГПА-16В
Номінальна потужність, МВт	4	10	10	10	10	12	12	16	16	16	18
ККД при- воду**, %	24,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	36,5	36,5	36,5	31,0
Тип нагні- тача	K38-61-1, K38-62-1	ГЦ-2-52/66, 5-160М2	RC7-6В	108-51-1, 108-71-1	108-51-1	295, НЦ-12/56-1,44	НЦ-12/56-1,44	398-24-1Л, НЦ-16	НЦ-16/76- 1,44М	498-31-1Л, 16ГЦ-2-450/45	НЦ-16/76-1,44
Продук- тивність, тис.нм³/год	75...104	167...472	167...472	208...1000	208...1000	850...1358	850...1358	917...1458	917...1458	833...1208	917...1458
Витрата, кг/год: палив- ного газу масла (безпово- ротна)	1250 0,9	2135 0,7	2135 0,21	2135 0,7	2135 0,7	2571 0,7	2571 0,4	3201 0,9	3201 0,4	3201 0,9	4450 1,5

* Див. також опис продукції ВАТ "Авиадвигатель" та ВАТ "КПП "Авиамотор".

** У станційних умовах.

Як паливо двигунів використовується природний газ. Агрегати виконані в блочно-комплектному варіанті, що дозволяє використовувати їх як для оснащення нових компресорних станцій, так і для реконструкції існуючих станцій з використанням усіх їхніх блоків. Можливе використання окремих блоків газоперекачувальних агрегатів для модернізації чи ремонту компресорних станцій.

Блоки агрегатів виконані в повній заводській готовності, що дозволяє перевозити їх до місця використання будь-яким видом транспорту на будь-які відстані і монтувати на місці з застосуванням універсальних вантажопідйомних засобів та інструменту.

Агрегат може додатково оснащуватися утилізаційним теплообмінником потужністю 1,5...10,0 МВт, змінною проточною частиною нагнітача чи автономним джерелом електроенергії.

Газотурбінні електростанції типу "Урал"

Газотурбінні електростанції "Урал" призначені для експлуатації в будь-яких кліматичних умовах у ролі основного чи резервного джерела електроенергії і тепла на об'єктах виробничого й побутового призначення.

В основу їхнього створення покладена концепція блочно-модульної побудови. Електростанції складаються з уніфікованих блоків і модулів, що дозволяє в стислий термін створювати нові модифікації агрегатів, а також удосконалювати і модернізувати застарілі об'єкти з мінімальними витратами.

Блочно-модульне виконання забезпечує високий рівень заводської готовності газотурбінних електростанцій. Блоки монтуються на місці експлуатації з застосуванням універсальних вантажопідйомних і монтажних засобів. Розміри блоків не перевищують транспортні залізничні габарити.

Крім електричної енергії газотурбінні електростанції "Урал" можуть виробляти теплову енергію. У цьому випадку вони комплектуються утилізаційними теплообмінниками для виробництва гарячої води чи котлами-утилізаторами для генерації пари в промислових цілях.

Ступінь автоматизації дозволяє відмовитися від постійної присутності обслуговуючого персоналу в блоці керування. Управління станцією може здійснюватися з головного щита керування, який поставляється в комплекті устаткування. У період експлуатації електростанції її роботу забезпечують три чоловіки: оператор, чергові електрик і механік. У випадку виникнення аварійних ситуацій для забезпечення безпеки персоналу і схоронності систем та агрегатів передбачена надійна система захистів.

За технічним завданням ВАТ "Газпром" була розроблена, пройшла міжвідомчі випробування в 1999 р. і серійно виготовляється в даний час перша з потужнісного ряду – станція ГТЭС-4. У стадії завершення розробки знаходяться газотурбінні електростанції ГТЭС-12 для ВАТ "Уренгойгазпром", ГТЭС-16 і ГТЭС-25 потужністю 16 та 25 МВт для ВАТ "Пермэнерго". Ведуться роботи зі створення

двопаливних варіантів станцій, що працюють на газоподібному і рідкому паливі, а також їхніх модифікацій для експлуатації на морських нафтогазовидобувних платформах.

Блочно-контейнерна газотурбінна електростанція ГТЭС-4

Електростанція ГТЭС-4 використовується як основне чи резервне джерело електроенергії потужністю до 4,0 МВт і тепла – до 4,5 МВт. Може експлуатуватися в умовах Крайньої Півночі.

Складові частини ГТЭС-4: газотурбінний агрегат ГТУ-4П розробки ВАТ "Авиадвигатель" з редуктором і всіма необхідними системами; двополюсний синхронний генератор ТК-4-2-РУЗ трифазного струму розробки ВАТ "Привод" (м. Лисьва, Пермська обл.) з повітряним охолодженням по розімкнутому циклу, безщітковою системою збудження і вбудованими трансформаторами струму; вхідний і вихлопний тракти (шумоглушник, вихлопна труба); автоматизований теплообмінник; високовольний розподільний пристрій; автономний теплогенератор, що здійснює передпусковий обігрів холодного електроагрегату при відсутності зовнішнього джерела тепла; системи автоматичного керування, електроживлення власних потреб станції, освітлення, обігріву, контролю загазованості, вентиляції і пожежогашіння; комплект запчастин.

Електростанція може додатково комплектуватися утилізаційним теплообмінником, паровим утилізатором чи паровим турбогенераторним блоком, дизельною електростанцією потужністю 200 кВт, блоком підготовки паливного газу з дотискним компресором (при невідповідності параметрів природного чи попутного нафтового газу необхідним). Теплопродуктивність утилізаційного теплообмінника складе 4,5 МВт при температурі води 10...150 °С в діапазоні витрати 40...155 т/год. Тиск води в теплообміннику дорівнює 1,2 МПа. Коефіцієнт використання енергії палива при застосуванні теплообмінника складає 48...60 %, при застосуванні парового котла – 72...87 %.

Двигун запускається турбодетандером, який працює на природному газі. Тиск пускового газу складає 0,5...0,6 МПа, витрата – не більше 1,5 кг/с, температурний діапазон пускового газу – від +5 до +50 °С, споживана потужність при пуску – 70 кВт.

Конструкція електростанції дозволяє використовувати її для комплектації багатоагрегатних електростанцій районного значення як комерційне джерело електро- і теплопостачання або у складі енергетичної системи району з єдиним диспетчерським пультом керування.

Електростанція ГТЭС-4 виготовляється в кліматичному виконанні УХЛ (ХЛ) категорії розміщення 1 за ГОСТ 15150–69 і може експлуатуватися при температурі навколишнього середовища від –60 до +45 °С. Проводяться роботи з модернізації станції для експлуатації в умовах морського базування, у тому числі для морських нафтогазовидобувних платформ.

Безповоротні втрати масла електростанції складають не більше 0,9 кг/год, з них ГТД – 0,5, редуктора і генератора – по 0,2 кг/год. Максимальна температура масла на виході з маслоохолоджувача ГТД дорівнює 70, редуктора – 65, генератора – 40 °С.

Основні технічні характеристики ГТЭС-4 наведені нижче:

Електрична потужність	4 МВт
Лінійна напруга	6300/10500 В
Частота струму	50 Гц
Витрата:	
продуктів згоряння	28 кг/с
паливного газу на режимі 4 МВт	1250 кг/год
Тиск паливного газу	1,2...1,6 МПа
Температурний діапазон паливного газу	+5...+50 °С
ККД:	
ГТД	не менше 24 %
генератора	не менше 97 %
Рівень звукової потужності	не більше 80 дБ
Ресурс:	
до першого капітального ремонту	25000 год
призначений	100000 год
Зниження потужності за міжремонтний період	не більше 4 %
Відносне зниження ККД двигуна за міжремонтний період	не більше 2 %

Література до підрозд. 3.14

1. Агрегат ГПА-16 "Урал" / *М. Соколовский, В. Мельничук, Г. Кислицын, С. Тихонов* // Газотурбинные технологии. – 2001. – № 6. – С. 12–14.
2. *Васильев А.* Масштабные проблемы малой энергетики // Двигатель. – 2001. – № 2. – С. 24–25.
3. Российские ГПА на газопроводе "Голубой поток" / *А. Шайхутдинов, Г. Кислицын, Ю. Саков, М. Соколовский* // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 4. – С. 5–7.
4. *Салихов А., Сулимов Д.* Приемочные испытания газотурбинной теплоэлектростанции "Урал-4000" // Двигатель. – 2002. – № 3. – С. 18–21.
5. *Соколовский М.И.* Газотурбинные электростанции и газоперекачивающие агрегаты нового поколения серии "Урал" на базе конвертированных авиационных двигателей // Электрические станции. – 2000. – № 10. – С. 17–19.
6. *Соколовский М.И., Кислицын Г.Ф., Митин Е.М.* О внедрении газотурбинных электростанций // Промышленная энергетика. – 2001. – № 1. – С. 19–21.

Контрольні завдання

1. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається ВАТ "НПО "Искра" і його дочірніми підприємствами.
2. Охарактеризуйте номенклатурний ряд і технічні параметри газоперекачувальних агрегатів серії "Урал".

3. Проаналізуйте конструктивне виконання газотурбінних електростанцій, що випускаються підприємством.

4. Розкрийте особливості конструкції і технічні параметри блочно-контейнерної електростанції ГТЭС-4.

3.15. ВАТ "Калужский двигатель" та ВАТ "КОБМ"



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Калужский двигатель".

Адреса підприємства: 248633, Росія, м. Калуга, вул. Московська, 247.

Чисельність працюючих: 4400 чол. (2003 р.).



Повне найменування: Відкрите акціонерне товариство "Калужское опытное бюро моторостроения".

Адреса підприємства: 248633, Росія, м. Калуга, вул. Московська, 247.

3.15.1. Відомості про підприємства

Основною сферою діяльності **ВАТ "Калужский двигатель"** є виробництво, ремонт і гарантійне обслуговування газотурбінних двигунів, мотоблоків та газотурбінних засобів електропостачання.

Підприємство, засноване як Калужський дослідний моторобудівний завод, з другої половини 60-х років є головним серійним виробником газотурбінних двигунів для бронетанкової техніки СРСР. Двигунами ГТД-1000Т, ГТД-1000ТФ, ГТД-1250 та їхніми модифікаціями протягом 30 років оснащуються бойові танки Т-80, Т-80Б, Т-80БВ, Т-80У, Т-80У-М1 "Барс", Т-80УК, "Черный орел" та ін. Даними двигунами оснащені також зенітні комплекси С-300, ремонтно-евакуаційні машини БРЭМ-80У, бронемашини "Ладога". У процесі виробництва ВАТ "Калужский двигатель" тісно співробітничав з петербурзькими ДУП "Завод им. В.Я. Климова" (розробник двигунів) і ВАТ "Спецмаш" (розробник бронетанкової техніки).

З 1973 р. підприємство зветься Калужський моторобудівний завод, у квітні 1997 р. шляхом акціонування воно перетворено у ВАТ "Калужский двигатель". Планується його входження в науково-виробничий холдинг "Бронетехника".

Калужське дослідне бюро моторобудування було створено в 1980 р. на базі ДКБ, що існувало з 1966 р. при підприємстві Калужський дослідний моторобудівний завод. У 1994 р. на його основі було створено ВАТ "КОБМ".

Протягом усього періоду свого існування підприємство спеціалізувалося на розробці і виготовленні дослідних зразків, доведенні та передачі в серійне ви-

робництво на ВАТ "Калужский двигатель" газотурбінних виробів різного призначення.

3.15.2. Продукція підприємств

Частка газотурбінної тематики в структурі товарного виробництва підприємств продовжує займати в даний час провідне місце, хоча і знизилася до 40 %. Крім оборонних замовлень широко реалізуються проекти конверсійного застосування ГТД. Розвинуто виробництво товарів народного споживання.

Підприємствами серійно випускаються:

транспортні газотурбінні двигуни у вигляді агрегатованого моноблока потужністю 1000...2000 к.с. для гусеничних або колісних засобів;

турбогвинтовий ТВД-20 розробки ВАТ "Омское МКБ" потужністю 1400 к.с. для літаків місцевих авіаліній Бе-30 і Бе-32;

авіаційні допоміжні силові установки еквівалентною повітряною потужністю до 330 к.с. для запуску маршових двигунів літака, живлення системи кондиціонування і забезпечення електроенергією змінного струму при відмовленні одного чи більше основних джерел;

турбоventильаторні агрегати для створення повітряної подушки на малих засобах авіаційної і наземної техніки на витрату повітря до 24 кг/с з напором 3,0...3,5 кПа;

автономні газотурбінні засоби електропостачання потужністю 60...500 кВт для наземних транспортних засобів, екранопланів, річкових і морських суден;

засоби теплоелектропостачання з коефіцієнтом корисного використання палива до 75 %;

мотоблоки, бензинові двигуни та електроагрегати, роторні косарки і подібна конверсійна продукція.

Усі газотурбінні вироби мають сучасний рівень параметрів, малу масу і габарити, оснащені електронно-гідромеханічними системами запуску, керування, контролю, захисту і діагностики.

Вироби багатопаливні, експлуатуються на різних видах рідкого палива (дизельне, гас, бензин та їхні суміші), а за бажанням споживача – на природному газі з тиском 0,4...1,2 МПа.

Надійно запускаються за 60 с і працюють в умовах температур навколишнього повітря від –50 до +50 °С, незамінні в умовах Крайньої Півночі, пустель і напівпустель*.

Вироби мають у своєму складі системи пилоочищення і працюють в умовах запиленості від 1,5 до 2,5 г/м³.

* Про поточні зміни в асортименті продукції можна довідатися на офіційних сайтах підприємств – www.admobl.kaluga.ru/kadvi та users.kaluga.ru/kobm.

Нижче наводяться характеристики наземного газотурбінного устаткування, яке випускається підприємствами*.

Газотурбінні електростанції ГТЭС-75 та ГТЭС-640

Призначені для використання як аварійні або стаціонарні автономні джерела електропостачання житлових комплексів, лікарень, малих підприємств, поселень геологічних партій і бурових, як резервне джерело для вітро-, електро- і сонячних станцій. Найкращі для експлуатації в умовах Крайньої Півночі. Поставляються в контейнерному виконанні. Двигуни можуть працювати на дизельному паливі, гасі, природному газі з тиском 0,4...0,6 і 1,2 МПа відповідно.

Характеристики електростанцій наведені нижче:

	ГТЭС-75	ГТЭС-640
Електрична потужність, кВт	75	640
ККД двигуна, %	14	—
Номинальна напруга, В	380/220	380/220
Частота струму, Гц	50/60	50/60
Час запуску, с	60	90
Коливання частоти струму, %	1	1
Габарити, м	2,5×1,3×1,4	5,8×1,5×1,8
Маса, кг	1400	5800

Стадія розробки: ГТЭС-75 – виготовлені й експлуатуються дослідні зразки, ГТЭС-640 – випуск робочої документації.

Теплоелектростанції ТЭС-75/700 та ТЭС-640/1600

Використовуються як основне або резервне джерело електропостачання житлових комплексів, лікарень, малих підприємств, поселень геологічних партій. Можливе застосування при аваріях, стихійних лихах і надзвичайних ситуаціях. Поставляються в контейнерному виконанні. Двигуни можуть працювати на дизельному паливі, гасі, природному газі з тиском 0,4...0,6 і 1,2 МПа відповідно.

Характеристики теплоелектростанцій наведені нижче:

	ТЭС-75/700	ТЭС-640/1600
Потужність, кВт:		
електрична	75	640
теплова	700	1600
Номинальна напруга, В	380/220	380/220
Частота струму, Гц	50/60	50/60
Час запуску, с	60	90
Коливання частоти струму, %	1	1
Коефіцієнт корисного використання палива, %	78...80	80

* Див. також опис продукції ДУП "Завод им. В.Я. Климova".

Сучасні газотурбінні агрегати

	ТЭС-75/700	ТЭС-640/1600
Габарити, м	3,9×1,3×2,7	5,8×5,3×2,8
Маса, кг	2500	—

Стадія розробки: ТЭС-75/700 – виготовлені й експлуатуються дослідні зразки, ТЭС-640/1600 – випуск робочої документації.

Газотурбінні електростанції СЭС-75М та СЭС-9И113М2

Електростанції СЭС-75М та СЭС-9И113М2 – автономні засоби постачання електроенергією змінного і постійного струму високої якості з автоматизованою системою керування, контролю і діагностики, що застосовуються у складі наземних пересувних засобів різного призначення. Поставляються в контейнерному виконанні. Двигуни можуть працювати на дизельному паливі чи гасі.

Характеристики електростанцій наведені нижче:

	СЭС-75М	СЭС-9И113М2
Електрична потужність, кВт	75	130
У тому числі постійного струму, кВт	3	12
ККД приводу, %	12	—
Витрата повітря, кг/с	1,46	—
Міра підвищення тиску	3,28	—
Температура газів, К:		
початкова	1010	—
за ГТД	817	—
Частота обертання силової турбіни, об/хв	38000	—
Напруга струму, В:		
змінного	220	220
постійного	28,5	28,5
Частота змінного струму, Гц	400	400
Час запуску, с	45	45
Коливання напруги і частоти струму, %	1	1
Габарити, м	2,1×0,7×0,9	2,7×1,1×0,8
Маса, кг	660	880

Стадія розробки: СЭС-75М – серійне виробництво, СЭС-9И113М2 – виготовлені дослідні зразки.

Судновий газотурбінний агрегат СГТА-2500

Маршовий газотурбінний агрегат для швидкісних суден, який складається з двох ГТД, що працюють на один гвинт. Додатково забезпечує судно електроенергією, вентиляцією, опаленням.

Номінальна потужність СГТА-2500 складає 1500 кВт, частота обертання вихідного вала редуктора – 1800 об/хв, маса – 2500 кг, габарити – 3,6×1,1×1,5 м.

Використовуване паливо: дизельне, гас.

Стадія розробки – випуск робочої документації.

Контрольні завдання

1. Дайте характеристику газотурбінного устаткування, що випускається підприємствами ВАТ "Калужский двигатель" і ВАТ "КОБМ".
 2. Проаналізуйте технічні параметри газотурбінних електростанцій ГТЭС-75 і ГТЭС-640, а також теплових ТЭС-75/700 і ТЭС-640/1600.
 3. Проаналізуйте технічні параметри електростанцій СЭС-9И113М2 та СЭС-75М.
-

ПРАВИЛА РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОТУРБІННИХ АГРЕГАТІВ

1. Умови ISO 2314 (ГОСТ 20440) дозволяють визначити технічний рівень газотурбінного агрегату без урахування опорів вхідного і вихідного трактив. Згідно з даними умовами параметри повітря на вході в ГТА (у площині вхідного патрубку компресора) приймаються: повний тиск 101325 Па, повна температура 288 К, відносна вологість 60 %.

Статичний тиск на виході з агрегату (у площині вихлопного патрубку турбіни чи на виході з регенератора, якщо використовується регенеративний цикл) складає 101325 Па.

2. При оцінці продуктивності газоперекачувальних агрегатів і концентрації шкідливих речовин у вихлопних газах у розмірності використовується так званий *нормальний кубічний метр газу* (нм³). Під цим параметром розуміється 1 м³ газу, розглянутий при температурі 273,15 К і тискові 101325 Па.

3. Основні параметри газотурбінного агрегату при необхідності можуть бути приведені до атмосферних умов конкретного місця експлуатації.

Ефективна приведена потужність

$$N_{\text{епр}} = N_e \frac{p_{a0}}{p_a} \sqrt{\frac{T_a}{T_{a0}}},$$

де N_e – ефективна номінальна потужність; p_{a0} та T_{a0} – номінальні значення атмосферного тиску і температури; p_a та T_a – значення атмосферного тиску і температури, до яких здійснюється приведення.

Приведена витрата повітря (газу)

$$G_{\text{пр}} = G \frac{p_{a0}}{p_a} \sqrt{\frac{T_a}{T_{a0}}},$$

де G – номінальна витрата повітря (газу).

Приведена температура робочого тіла (у довільній точці тракту ГТА)

$$T_{\text{пр}} = T \frac{T_a}{T_{a0}},$$

де T – номінальна температура робочого тіла.

При складанні цих розрахункових залежностей зроблені допущення про незмінність ефективного ККД агрегату і міри підвищення тиску повітря в компресорі протягом приведення.

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ГАЗОТУРБОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА ОРГАНІЗАЦІЙ*

ВАТ "Кировский завод" (м. С.-Петербург). Засновано в 1801 р. як ливарний завод. У 1868 р. після його придбання інженером Путиловим став називатися "Путиловский завод". До революції основною продукцією було устаткування для залізниць: паровози, вагони, рейки і т.д. У 1901 р. "Путиловский завод" виготовив свій 1000-й паровоз.

Підприємством випускалися також морські судна для військового і торгового флоту Росії. Найбільш відомим з них був мінний крейсер "Москвитянин", спущений зі стапелів у 1906 р.

Завод "Красный путиловец" зробив великий внесок у розвиток народного господарства країни в роки перших п'ятирічок, масово випускаючи трактори і мотори для зернозбиральних комбайнів. У 1931 р. підприємство виготовило першу в СРСР парову турбіну для електростанції. Надалі турбобудування стає одним із профільних напрямків діяльності заводу, причому значна частина цієї продукції має суднове призначення.

У післявоєнні роки підприємство здійснює масове виробництво тракторів "Кировец" (К700, К701), випуск модифікацій яких продовжується дотепер.

У 1992 р. підприємство було перетворено в акціонерне товариство "Кировский завод". У ході наступної реструктуризації товариство перетворилося в холдинг, до складу якого входить більше 30 дочірніх і залежних структур.

Випуском продукції енергетичного машинобудування займається підприємство **ЗАТ "Завод "Киров-Энергомаш"**, засноване в 1995 р. Завод виготовляє паротурбогенераторні установки потужністю від 1 до 4 МВт, турбонаддувальні агрегати, насосне устаткування і т.п.

У галузі газотурбінної техніки підприємством створений газоперекачувальний агрегат ГПА-16 "Нева", що складається з газотурбінного двигуна АЛ-31СТ і нагнітача 395-24-1 ВАТ "Невский завод". Перший зразок агрегату з 1999 р. знаходиться в дослідно-промисловій експлуатації в цеху № 1 Ржевської компресорної станції газопроводу Торжок–Мінськ–Івацевичі.

"Нева-16" належить до нового покоління агрегатів, розроблюваних ЗАТ "Завод "Киров-Энергомаш" за завданням ВАТ "Газпром". Вони призначені для заміни застарілого парку газоперекачувальних агрегатів на лінійних компресорних станціях і для встановлення на новоспоруджувані станції. У Ржеві "Нева-16" замінила два морально і фізично застарілих ГПА-Ц-6,3.

* Наводяться короткі відомості про підприємства й організації, які не були розглянуті в попередніх частинах даного навчального посібника.

"Нева-16" оснащена спеціально адаптованою системою автоматичного керування і регулювання виробництва "Compressor Controls Corp." (США), а також дослідними зразками повітроочисного пристрою, апаратами повітряного охолодження масла, комплексом технічних засобів розподілу електроенергії і системою автоматичного пожежогасіння.

На базі двигунів АЛ-31СТ і НК-37-1 підприємством розроблені проекти автоматизованої парогазової електростанції потужністю 80 МВт і когенераційних газотурбінних енергомодулів з коефіцієнтом використання енергії палива до 80 %. Також розроблені проекти турбодетандерних енергоблоків різної потужності.

ВАТ "Государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности" (м. Москва). Проектний інститут Гипроавиа створений у 1932 р. для проектування підприємств авіаційної промисловості. У 1940 р. з метою наближення проектувальників до об'єктів будівництва були організовані філії в Ленінграді, Харкові та ін. Безпосередньо на багатьох заводах були створені проектні бригади.

На початку 60-х років з метою розробки нових напрямків в інституті були створені науково-дослідні лабораторії. У цьому зв'язку в 1964 р. Гипроавиа був перетворений у "Государственный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт авиационной промышленности" (Гипрониавиапром).

У наступні роки за проектами інституту були побудовані і реконструйовані всі літако-, вертольото-, двигунобудівні, агрегатні і металургійні заводи авіаційної промисловості колишнього СРСР. Численні об'єкти авіаційної промисловості зведені за проектами інституту в Індії, Китаї, В'єтнамі, Єгипті, Угорщині, Болгарії, Туреччині, Ефіопії, Північній Кореї та інших країнах.

Інститут мав вісім філій: шість – на території Російської Федерації і дві – в Україні. У вересні 1991 р. усі філії були перетворені в самостійні проектні організації авіаційної промисловості, які згодом об'єдналися в неформальну громадську організацію "Ассоциация Гипрониавиапром". У 1993 р. інститут був перетворений в акціонерне товариство.

У даний час у рамках конверсійних програм, що ведуться з 80-х років, розробляються газотурбінні електростанції, газоперекачувальні агрегати і компресорні блоки на базі авіаційних двигунів конструкції ДУП "Завод им. В.Я. Климова" (м. С.-Петербург), ВАТ "НПО "Сатурн" (м. Рибінськ), ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" (м. Самара), а також різне промислове устаткування.

На базі газотурбінних двигунів АЛ-31СТ розробки ВАТ "НПО "Сатурн" і НК-36СТ ВАТ "СНТК им. Н.Д. Кузнецова" створені газоперекачувальні агрегати ГПА-16АЛ (ГПА-16/АЛ-31СТ) і ГПА-25НК ("Самара-25НК") потужністю 16 і 25 МВт відповідно.

Конструкція створених підприємством електростанцій ГТЭ-1200 і ГТЭ-1500 відзначена срібною медаллю на міжнародному салоні "Брюссель-Еврика'94".

БАТ "Тюменские моторостроители" (м. Тюмень). Засновано в 1963 р. Спочатку займалося виробництвом компресорних робочих лопаток для ремонту двигунів АМ-5А, що експлуатувалися на літаках Як-25 та ін. Починаючи з 1967 р. освоєє виробництво авіаційних двигунів: РУ19А-300 (допоміжна силова установка літаків Ан-24, Ан-26, Ан-30), Р27В-300 (підйомно-маршовий двигун літаків вертикального злету і посадки Як-38), ВД-100 (допоміжна установка літака Ил-114); займається виготовленням форсажних труб і камер згоряння двигунів АЛ-21Ф-3 (літаки Су-24) і РД-33 (винищувач МиГ-29).

У 1994 р. на базі підприємства Тюменський моторобудівний завод створене акціонерне товариство, перетворене потім у холдинг "Тюменские моторостроители". У даний час містить 25 різних підприємств. Основними напрямками діяльності є: виробництво основних і допоміжних авіаційних двигунів, виготовлення машинобудівної продукції загального призначення, використовуваної в транспортних засобах, а також у нафтовій і газодобувній промисловості, розробка і виготовлення дослідних зразків устаткування.

У листопаді 1996 р. підприємство стало одним зі співзасновників БАТ "Газтурбосервис" (частка в статутному капіталі 37 %). Іншими засновниками є ТОВ "Сургутгазпром" (за дорученням БАТ "Газпром") і НВКГ "Зоря"-Машпроект" (м. Миколаїв) – 37 і 26 % акцій. Підприємство займається ремонтом і сервісним обслуговуванням газотурбінних двигунів миколаївського виробництва, застосовуваних як приводи нагнітачів компресорних станцій – ДР59, ДЖ59, ДГ90, а також агрегатів ГПА-10 і ГПУ-16. Для цієї мети додатково створено близько 1300 нових робочих місць.

БАТ "НПО энергетического машиностроения им. академика В.П. Глушко" (м. Хімки, Московська обл.). Провідне російське підприємство з розробки рідинних ракетних двигунів (РРД) великої потужності для ракет-носіїв, що забезпечують виконання національних космічних програм.

Підприємство почало свою діяльність у 1929 р. у Ленінграді як група з розробки ракетних двигунів при газодинамічній лабораторії. У 1933 р. група ввійшла до складу Реактивного науково-дослідного інституту, а в 1941 р. була евакуйована в Казань і реорганізована в дослідно-конструкторське бюро. З 1946 р. місцем перебування ДКБ є м. Хімки Московської обл. У 1990 р. підприємство перейменоване в НВО "Энергомаш".

Засновником і беззмінним керівником НВО "Энергомаш" до 1974 р. був академік В.П. Глушко – один з основоположників вітчизняного рідинного двигунобудування. Практично всі російські космічні ракети-носії виводяться на орбіту за допомогою двигунів, розроблених на підприємстві. Використовуються двигуни НВО "Энергомаш" і на американських ракетах-носіях "Atlas-3" та "Atlas-5".

Основними напрямками діяльності підприємства в даний час є: теоретичні дослідження щодо створення РРД, розробка і виробництво потужних РРД для перших та других ступенів ракет-носіїв на низько- і висококиплячих компонентах

палива, експериментальне відпрацювання конструкцій та експертиза результатів випробувань РРД, їхніх вузлів і агрегатів, супровід літних випробувань ракет-носіїв, розробка безупинних HF(DF) хімічних лазерів.

У галузі енергетичного машинобудування розроблено проект газотурбінного агрегату універсального призначення ГТУ-2500 потужністю 2,7 МВт. Агрегат призначений переважно для використання у складі автономних блокових транспортбельних теплоелектростанцій. Крім електроенергії потужністю 2,5 МВт з використанням вбудованого котла-утилізатора виробляється теплова потужність 4,5 МВт, яка здатна забезпечити систему гарячого водопостачання теплофікаційного і побутового призначення. ГТУ-2500 може бути також використаний як привід потужних насосних і компресорних станцій.

З метою підвищення економічності і забезпечення екологічної досконалості при одночасному зниженні енергонапруженості основних елементів газотурбінний агрегат виконаний за оригінальною схемою з парогазовим робочим тілом і замкнутим циклом пароводяної компоненти, із глибокою внутріцикловою регенерацією і зовнішньою утилізацією тепла вихлопних газів.

ККД ГТУ-2500 складає не менше 42 %, електричний ККД – не менше 40 %, коефіцієнт використання енергії палива – до 90 %.

Як паливо можуть використовуватися природний газ, дизельне паливо, гас. Витрата паливного газу (дизельного палива) складає 0,141 (0,155) кг/с, питома витрата – 0,191 (0,210) кг/(кВт·год). Витрата повітря через компресор складає 3,48 кг/с, призначений ресурс ГТД – 40000 год. Габаритні розміри: приводу – 5,4×2,3×2,2 м, енергоустановки (з електрогенератором) – 10,0×2,3×2,2 м. Маса: приводу – 7 т, енергоустановки (з електрогенератором) – 21 т.

Термін окупності установки в експлуатації складає менше року.

ВАТ "Авиамоторный научно-технический комплекс "Союз" (м. Москва).

Утворено в 1943 р. як ДКБ-300 для розробки авіаційних двигунів під керівництвом О.О. Микуліна.

За роки роботи в АМНТК "Союз" створено 19 базових турбореактивних двигунів і 44 модифікації для 27 літальних апаратів із широким діапазоном характеристик для цивільної і військової авіації, кілька типів рідинних ракетних двигунів і термоємісійна енергетична установка на ядерній енергії для космічних апаратів, а також турбохолодильна установка нового типу. Літаки з двигунами АМНТК "Союз" експлуатуються в Росії і в 43 країнах Європи, Азії й Америки. На них було встановлено понад 100 світових рекордів висоти польоту, швидкопідйомності та ін.

АМНТК "Союз" став родоначальником ряду нових фірм, які спеціалізувалися у свій час на доведенні, впровадженні в серійне виробництво і подальшому розвитку зразків авіаційної, космічної й іншої спецтехніки. Серед них Тушинське, Турайвське й Уфімське КБ "Союз", КБ ТХМ, НВО "Красная Звезда", Казанське КБ та ін.

У даний час підприємство пропонує замовнику турбореактивні двигуни різного призначення: АМ-3, АМ-5, КР7-300, Р11-300, Р125-300, Р15-300, Р179-300, Р27В-300, Р29В-300, РД9Б, РУ19-300, ВК-21.

Одним з перспективних напрямків діяльності вважається створення на базі двигуна Р179-300 газотурбінних енергетичних агрегатів. Установки, виконані за простою схемою, будуть мати потужність 30 МВт із ККД 38 %. Парогазові установки, які використовують тепло вихлопних газів для одержання пари, будуть мати потужність до 80 МВт із ККД не нижче 50 %.

Отриманий також позитивний висновок ЦІАМ, у якому підтверджується принципова можливість досягнення високої ефективності енергетичних ГТД на базі двигуна ВК-21.

ДУП "Тушинское машиностроительное конструкторское бюро "Союз" (м. Москва). Засновано в липні 1942 р. як дослідно-конструкторське бюро при заводі № 500 (нині – ВАТ "ММП ім. В.В. Чернышева"). Спочатку займалося роботами з доведення в серію авіаційних поршневих двигунів АЧ-30Б конструкції А.Д. Чаромського.

З 1947 р. ДКБ-500 переорієнтується на розробку турбореактивних двигунів: під керівництвом конструктора В.М. Яковлева на базі англійського "Derwent-5" створюється двигун РД-500. Надалі займається розробкою модифікацій і впровадженням у серійне виробництво двигунів, розроблених у ДКБ-300 (нині – АМНТК "Союз"): АМ-5А (для винищувачів Як-25), Р11-300, Р11Ф-300, Р11АФ-300, Р11В-300, Р11Ф2С-300 (для МиГ-21, Як-28, Як-25РВ, Су-15), Р27-300 (для МиГ-23УБ), Р29-300 (МиГ-23), Р29Б-300 (МиГ-27) та ін.

З 1966 р. зветься Тушинське МКБ "Союз".

У даний час разом із ЗАТ "Энергоавиа", науково-дослідним центром ЦІАМ, ВАТ "ММП ім. В.В. Чернышева" і рядом інших підприємств бере участь у створенні газотурбінної енергетичної установки ГТЭ-20/55СТ потужністю 20 МВт.

ВАТ "Московское машиностроительное предприятие им. В.В. Чернышева" (м. Москва). Засновано в 1932 р. на базі ремонтних майстерень Московського авіаційного технікуму. Спочатку завод № 63 займався ремонтом літака У-2 та його двигуна М-11. З 1933 р. – авіамоторний завод № 82.

У 30-х роках підприємство випускає малопотужні поршневі двигуни серії МГ (МГ-11, МГ-21, МГ-31) конструкції А.С. Назарова (Запорізьке КБ) для цивільної авіації. У 1938 р. на заводі організується виробництво двигуна АН-1 розробки ЦІАМ для далеких бомбардувальників. Модифікація двигуна – М-30Б (АЧ-30Б) – у роки війни випускалася серійно (для літаків Пе-8 і Ер-2).

Із серпня 1941 р. по лютий 1942 р. підприємство знаходилося в евакуації в Казані. У 1942 р. на виробничих площах колишнього заводу № 82 організується завод № 500.

У післявоєнний період налагоджується виробництво турбореактивних двигунів. Серійно випускаються двигуни РД-500 (розробки ДКБ заводу) і ВК-1 (ДКБ В.Я. Климова), які встановлювалися на літаках Як-23, МиГ-15бис, МиГ-17, Ил-28, Ту-14, Як-50 та ін.

З 1951 р. починається виробництво ТРД, розроблених у ДКБ О.О. Микуліна (з 1955 р. – С.К. Туманського). Розробкою модифікацій цих двигунів і впровадженням їх у серійне виробництво на заводі займалося ДКБ-500 (з 1966 р. ТМКБ "Союз"). З 1953 по 1960 р. для винищувача-перехоплювача Як-25 випускається двигун АМ-5А тягою 2000 кгс. Наприкінці 50-х років починається випуск сімейства двигунів Р11-300 (Р11Ф-300, Р11АФ-300 та ін.) для літаків МиГ-21, Як-28, Як-25РВ, Су-15. У 70–80-х роках виготовляються ТРД Р27-300 і Р29-300 (МиГ-23УБ, МиГ-23, МиГ-27).

У 1963 р. завод одержує найменування ММЗ "Красный Октябрь", у 1983 р. – "ММП им. В.В. Чернышева" (за ім'ям директора, який очолював підприємство з 1945 по 1983 р.).

У даний час ВАТ "ММП им. В.В. Чернышева" – одне з найбільших підприємств російського авіадвигунобудування. Основну частину продукції складають двигуни РД-33 (МиГ-29) та їхні модифікації (виготовляються з 1984 р.). Іде підготовка до серійного випуску авіадвигуна РД-1700, який планується встановлювати на МиГ-АТ. Одночасно виготовляються турбогвинтові двигуни ТВ7-117С для пасажирського літака Ил-114. Підприємство також здійснює капітальний ремонт авіадвигунів із заходами щодо підвищення надійності і ресурсу.

З кінця 90-х років разом із ЗАТ "Энергоавиа", науково-дослідним центром ЦИАМ, ТМКБ "Союз" та іншими московськими підприємствами бере участь у створенні газотурбінної енергоустановки ГТЭ-20/55СТ.

ВАТ "Омское моторостроительное конструкторское бюро" (м. Омськ). Організовано в 1956 р. для створення малорозмірних газотурбінних двигунів.

Першою розробкою (разом з ЦИАМ) був газотурбінний двигун ГТД-1 потужністю 300 к.с. У 1965 р. створюється двигун ГТД-5, модифікація якого ГТД-5М протягом багатьох років виготовляється на "ОМО им. П.И. Баранова" і використовується в ролі наземних енерговузлів.

Успіхом ОМКБ стало створення в 1964 р. силової установки ГТД-3Ф для палубного вертольота Ка-25, що складалася з двох ГТД-3М потужністю 900 к.с. і силового редуктора несучих гвинтів РВ-3М. Двигун має також модифікації для наземного застосування – ГТД-3ТЛ і ГТД-3ТУ.

Двигуном наступного покоління став турбогвинтовий ТВД-10 потужністю 940 к.с., створений у 1970 р. для літака місцевих авіаліній Бе-30. На його базі створений ряд модифікацій: ТВД-10М – для корабля на повітряній подушці; ТВД-10Б – для пасажирського літака місцевих авіаліній Ан-28; ТВД-20 – для одномоторного літака сільськогосподарської авіації Ан-3, а також модифікація цьо-

го ТВД-20 для літака Ан-38. Для аеробусів Ил-86, Ил-96-300 і Ан-218 створена допоміжна силова установка ВСУ-10.

Одним з досягнень ОМКБ є створення двигуна ТРДД-50 для безпілотних літальних апаратів і турбовального двигуна ТВ-0-100 потужністю 720 к.с. для одномоторного вертольота Ка-126. Були проведені роботи зі створення допоміжного газотурбінного двигуна ВГТД-43 нового покоління, призначеного для середньомагістральних літаків типу Ту-204.

У червні 1993 р. підприємство було перетворено в акціонерне товариство. У даний час ВАТ "ОМКБ" є провідним у галузі зі створення і доведення малорозмірних ГТД. Конструкторська, лабораторна, виробнича й випробна бази забезпечують необхідний технічний рівень створюваної й виготовлюваної продукції.

В останні роки ОМКБ на базі двигунів ТВ-0-100, ТВД-10Б та ВСУ-10 розробило проекти наземних енергоустановок ЭТВ-0-100, ЭТВД-10Б і ЭВСУ-10 потужністю 500, 700 і 60 кВт відповідно.

ДУП "Омское моторостроительное объединение им. П.И. Баранова" (м. Омськ). Веде своє походження з м. Запоріжжя і до 1943 р. має спільну історію з запорізьким підприємством ВАТ "Мотор Січ".

У післявоєнний період Омський моторобудівний завод (надалі – Омське моторобудівне виробниче об'єднання, у даний час – ДУП "ОМО им. П.И. Баранова") освоєє виробництво авіаційних двигунів, створених конструкторськими бюро А.М. Люльки, С.К. Туманського, С.П. Ізотова, серійно випускає також малорозмірні газотурбінні двигуни розробки ОМКБ – ГТД-1, ГТД-5, ГТД-5М, силову установку ГТД-3Ф для палубного вертольота Ка-25, турбогвинтовий двигун ТВД-10 і його модифікації – ТВД-10М, ТВД-10Б та ін.

У даний час підприємство здійснює виготовлення, обслуговування і ремонт двигунів АЛ-21Ф-3А (для літаків Су-17, Су-22, Су-24), РД-33 (МиГ-29), ТВ7-117С (Ил-114), ТВД-20 (Ан-3, Ан-38), ВСУ-10 (Ил-86, Ил-96-300). Виготовляються також коробки передач до автомобілів Москвич-2140 і 2126, вузли трансмісій та ін.

Разом з МКБ "Гранит" (м. Москва) "ОМО им. П.И. Баранова" брало участь у створенні наземної енергетичної установки ГТУ-89СТ-20, разом з ВАТ "Омское МКБ" веде розробку газотурбінних енергоблоків потужністю 50...700 кВт.

ВАТ "Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И.И. Ползунова" (ВАТ "НПО ЦКТИ"), м. С.-Петербург. Створено в 1927 р. як Бюро теплотехнічних випробувань для науково-технічного забезпечення вітчизняної енергетики й енергетичного машинобудування. Надалі носило найменування Ленінградський обласний теплотехнічний інститут, Всесоюзний інститут теплогідроенергетичного обладнання, Центральний науково-дослідний проектно-конструкторський котлотурбінний інститут.

Основними напрямками робіт протягом усього періоду існування були ство-

рення й удосконалення енергетичного устаткування для теплових, атомних і гідравлічних електростанцій, парогазових установок, компресорних та газоперекачувальних агрегатів, об'єктів промислової енергетики, енерготехнологічних та утилізаційних об'єктів різних галузей промисловості, а також комунальної, побутової і сільськогосподарської сфер.

У 1947 р. підприємству присвоєне ім'я відомого російського теплотехніка І.І. Ползунова. Рішенням уряду СРСР у 1960 р. ЦКТИ був визначений головним інститутом у галузі енергомашинобудування. У 1976 р. на базі інституту створене "Научно-производственное объединение по исследованию и проектированию энергетического оборудования" – НПО "ЦКТИ". До складу об'єднання ввійшли також Дослідний завод "ЦКТИ", філії в Барнаулі і Ростові. У 1994 р. підприємство було перетворено в акціонерне товариство.

ВАТ "НПО ЦКТИ" більше 50 років проводить дослідження і розробки в галузі стаціонарних газотурбінних установок та компресорів. З великою часткою участі інституту заводами країни в різний час були створені ГТУ потужністю 4, 5, 6, 10, 16 і 25 МВт для транспорту природного газу, технологічні ГТУ типу ГТТ-3 і ГТТ-12 для циклів виробництва слабкої азотної кислоти, енергетичні ГТУ потужністю 25, 35, 45, 100 і 150 МВт.

Підприємство має більш ніж 40-річний досвід розробки, створення й освоєння стаціонарних енергетичних і транспортних парогазових установок різного типу, включаючи установки і системи внутріциклової газифікації твердого палива, та нестандартного устаткування, що входить до їх складу. Практично всі парогазові установки, що працювали коли-небудь на території Росії і країн СНД, включаючи основне нестандартне устаткування і системи регулювання й автоматизації, були розроблені й освоєні під керівництвом і за участю фахівців ВАТ "НПО ЦКТИ".

Підприємство також має великий досвід із створення, дослідження і відпрацювання проточних частин осьових компресорів газотурбінних установок різного призначення.

ВАТ "Всероссийский теплотехнический институт" (м. Москва). Утворений в липні 1921 р. Тривалий період мав назву Всесоюзний теплотехнічний НДІ ім. Ф.Е. Дзержинського. У даний час є багатогалузевою науково-дослідною організацією, до складу якої входять відділення металів, палива й масел, водно-хімічне, фізико-технічне, парогенераторів і топкових пристроїв, турбінних установок і теплофікації, автоматизації і захисту навколишнього середовища. На експериментальній базі інституту є близько 100 стендових установок, багато з яких дозволяють проводити дослідження в умовах, близьких до натурних.

Основними напрямками діяльності є розробка теоретичних основ експлуатації і конкретних заходів щодо забезпечення надійності й економічності електростанцій, а також створення нових енергетичних технологій і технічних вимог до устаткування в тепловій енергетиці.

Роботи зі створення газотурбінних і парогазових установок ведуться протя-

гом багатьох літ. Ще до Великої Вітчизняної війни в лабораторії газових турбін під керівництвом В.В. Уварова розроблявся газотурбінний двигун потужністю 1500 к.с. У 1950 р. була організована нова лабораторія газових турбін на чолі з Г.І. Шуваловим, робота якої дотепер полягає у вирішенні найближчих (освоєння, дослідження та експлуатація головних ГТУ) і перспективних (охолодження лопаток, малотоксичні камери згоряння і т.п.) завдань газотурбінної енергетики.

Більше 20 років ВАТ "ВТИ" займається розробкою різних типів парогазових установок. Для нових теплових електростанцій і технічного переозброєння старих здійснюються розробки сучасних ПГУ і газотурбінних надбудов. Для них оптимізуються теплові і пускові схеми, вибирається відповідне устаткування. Активну участь брало ВАТ "ВТИ" у розробці і налагодженні першої ПГУ такого типу потужністю 450 МВт, введеної наприкінці 2000 р. на ВАТ "Северо-Западная ТЭЦ" м. С.-Петербурга.

В останні роки інститутом також розробляються поглиблені схеми і створюється устаткування систем газифікації вугілля, що є основою для істотного підвищення надійності й економічності перспективних ПГУ з газифікацією. Ведуться роботи із широкого впровадження технологічних методів зниження утворення оксидів азоту в камерах згоряння ГТД, реалізуються некаталітичні технології відновлення NO_x , відпрацьовуються різні системи сіркоочищення та інші заходи, пов'язані із захистом навколишнього середовища.

ВАТ "Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт "Теплоэлектропроект" (м. Москва). Засновано в 1918 р. як Бюро по проектуванню районних електростанцій, що входило у відділ електротехнічних споруд Електробуду ВРНГ. У 1932 р. було виділено в самостійну виробничо-господарську одиницю – Всесоюзний державний трест з проектування і досліджень теплових електростанцій, електричних та теплових мереж "Теплоэлектропроект". Надалі неодноразово перетворювалося. У 1995 р. на його основі було створено акціонерне товариство. Має філію в м. Нижній Новгород.

За проектами ВАТ "Институт Теплоэлектропроект" було побудовано більше 600 теплових та атомних електростанцій (більше 80 % сумарної потужності всіх електростанцій ЄСР), більше 300 тис. км ліній електропередач з електростанціями і диспетчерськими системами керування та на їхній основі сформовані єдині енергетичні системи ЄСР і європейських країн – членів Ради економічної взаємодопомоги, почате створення найважливіших для країни паливно-енергетичних комплексів, виконані науково-дослідні роботи з розвитку вітчизняної енергетики, розроблена нормативно-технічна база проектування й будівництва і т.д. У 40 країнах далекого зарубіжжя діють побудовані за проектами інституту 260 теплових та атомних станцій загальною потужністю більше 270 МВт.

Основними напрямками діяльності в даний час є проектування нових теплових електростанцій (на всіх видах палива; з паротурбінним, газотурбінним, паро-

газовим і теплофікаційними циклами; на основі геотермальної, сонячної та інших нетрадиційних видів енергії), реконструкція і технічне переозброєння діючих станцій, інжинірингові послуги з конкретних інженерно-технічних проблем.

У період з 1997 по 2003 р. інститутом виконаний ряд нових розробок, які мають важливе значення для російської енергетики. Серед них можна виділити:

проект теплофікаційного парогазового блока ПГУ-325, до складу якого входять два газотурбінних агрегати ГТД 110 ВАТ "НПО "Сатурн" і НВКГ "Зоря"- "Машпроект", два двокорпусних котли-утилізатори П-88 АТ "Подольский машиностроительный завод" та одна паротурбінна установка потужністю 72/110 МВт при роботі в теплофікаційному/конденсаційному режимах;

техніко-економічне обґрунтування будівництва Калінінградської ТЭЦ-2 із двома теплофікаційними парогазовими блоками ПГУ-450 загальною електричною потужністю 900 МВт і тепловою 700 МВт;

розробку пропозицій із спорудження електростанцій потужністю 20 МВт з використанням газотурбінних двигунів ГТЭ-20/55СТ ЗАТ "Энергоавиа" і АЛ-31СТЭ ВАТ "НПО "Сатурн" для енергетичних організацій Індії, Греції, Іраку, Бангладеш, Колумбії, Союзу М'янма, а також для енергоблоків, розміщених у Росії (міста Вельськ, Новоросійськ, Каргасок, Туапсе та ін.).





Рис. 1Д. Газотурбінний двигун UGT 2500

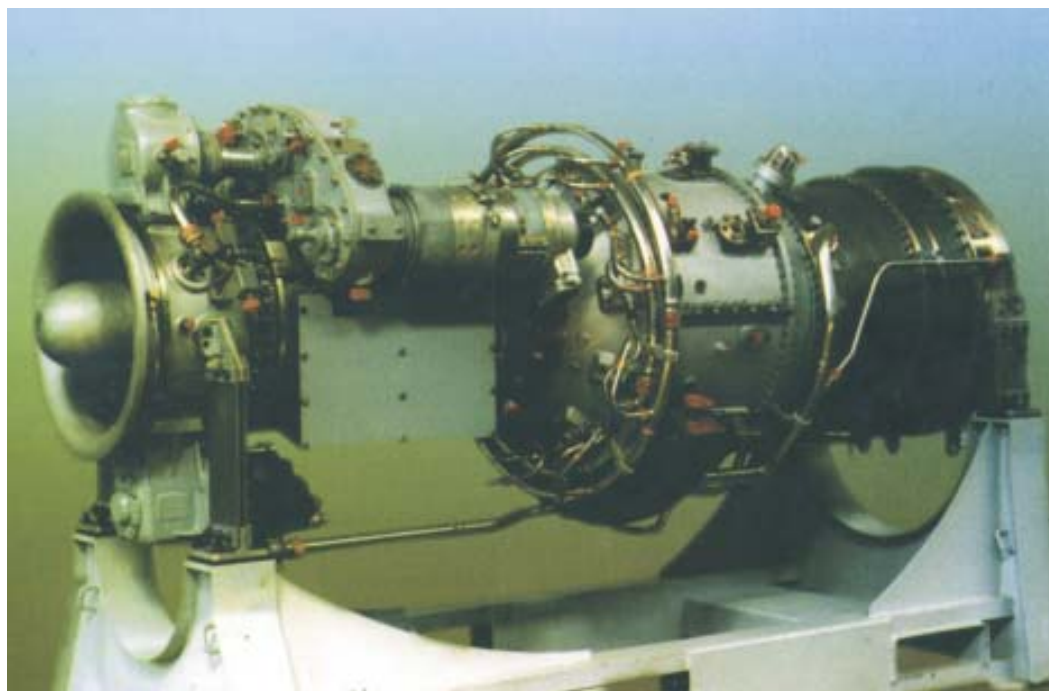


Рис. 2Д. Газотурбінний двигун UGT 3000

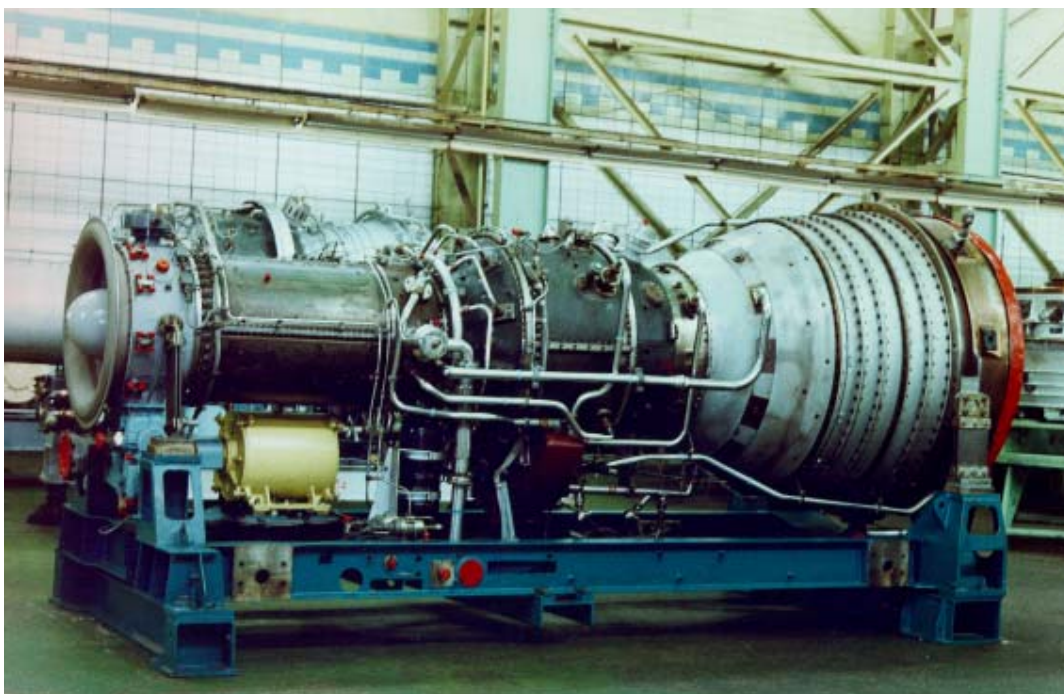


Рис. 3Д. Газотурбінний двигун UGT 6000



Рис. 4Д. Газотурбінний двигун UGT 10000

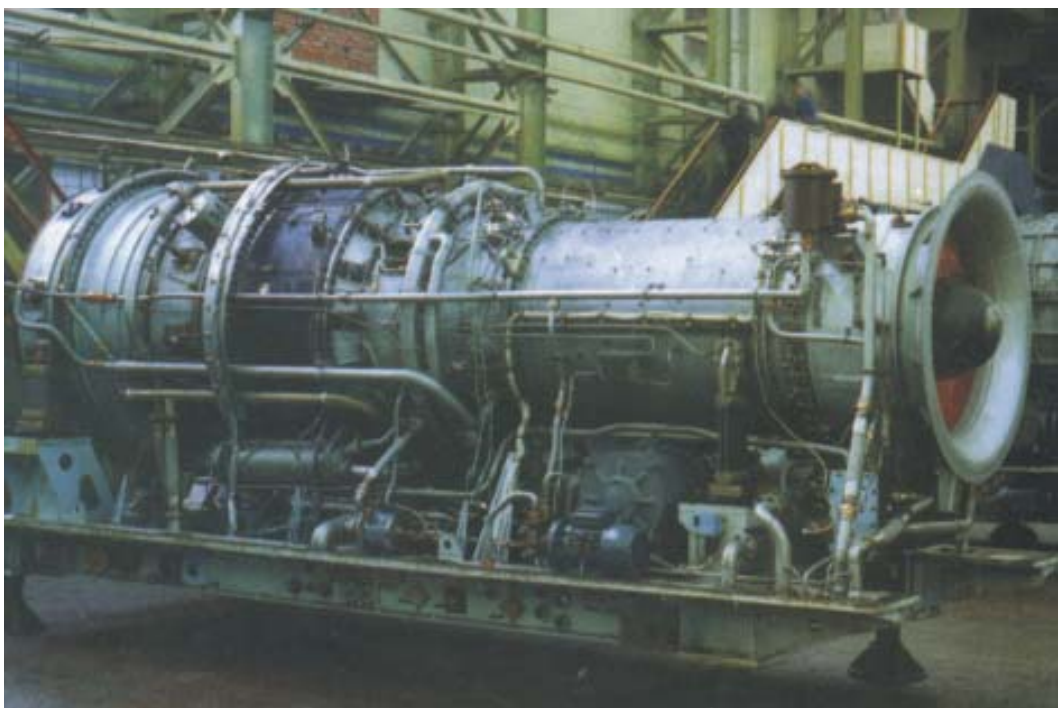


Рис. 5Д. Газотурбінний двигун UGT 15000



Рис. 6Д. Газотурбінний двигун UGT 25000



Рис. 7Д. Газотурбінний двигун ГТД 110

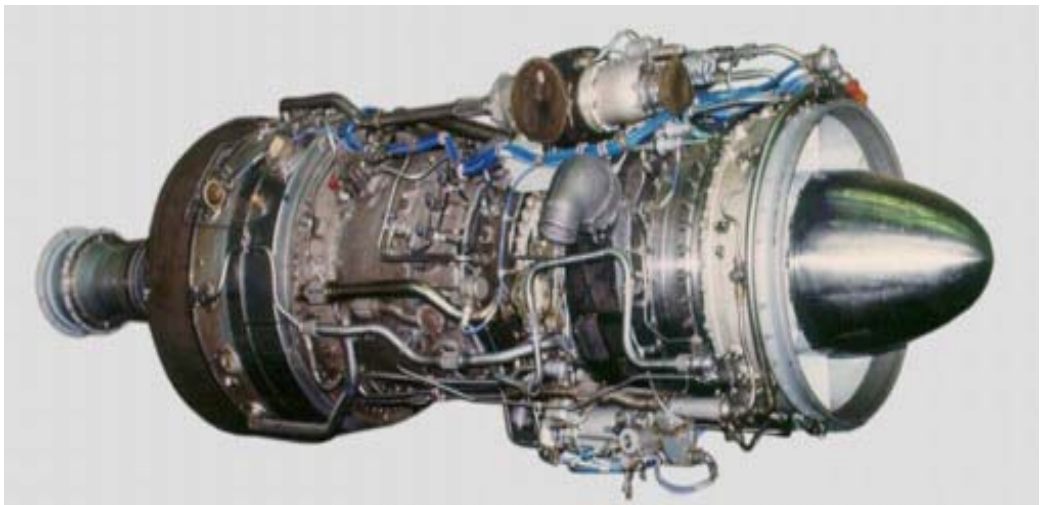


Рис. 8Д. Газотурбінний двигун Д-336-1/2



Рис. 9Д. Газотурбінний двигун АИ-336-1/2-10

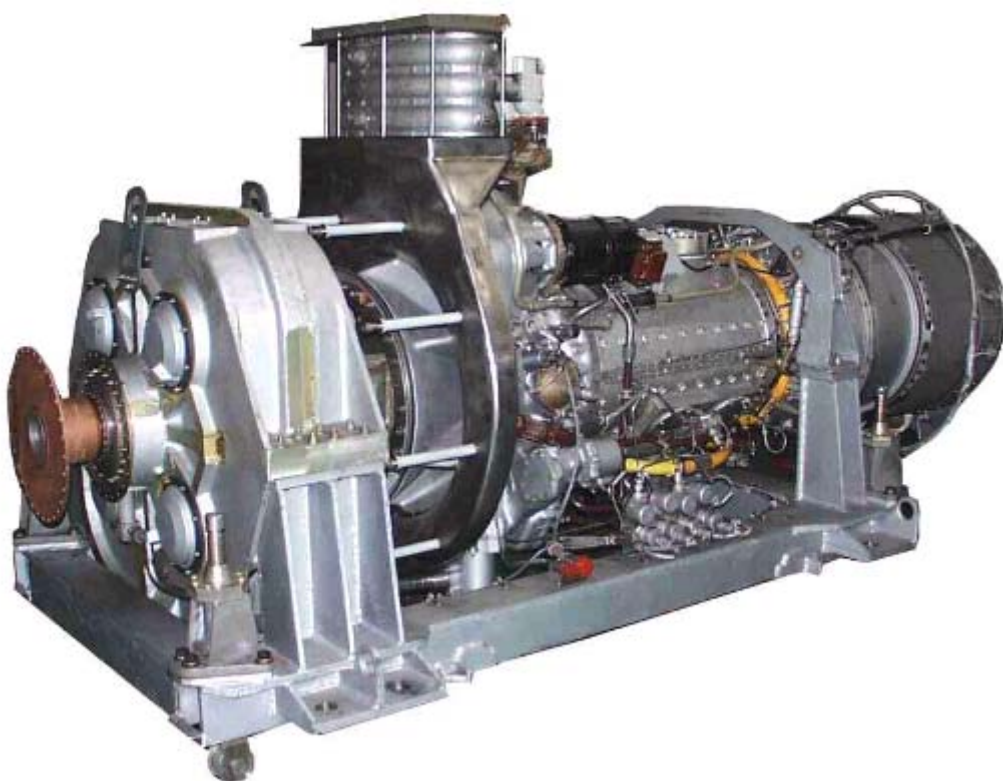


Рис. 10Д. Газотурбінний двигун АИ-20ДКЭ/ДМЭ



Рис. 11Д. Газотурбінний двигун ДР59Л

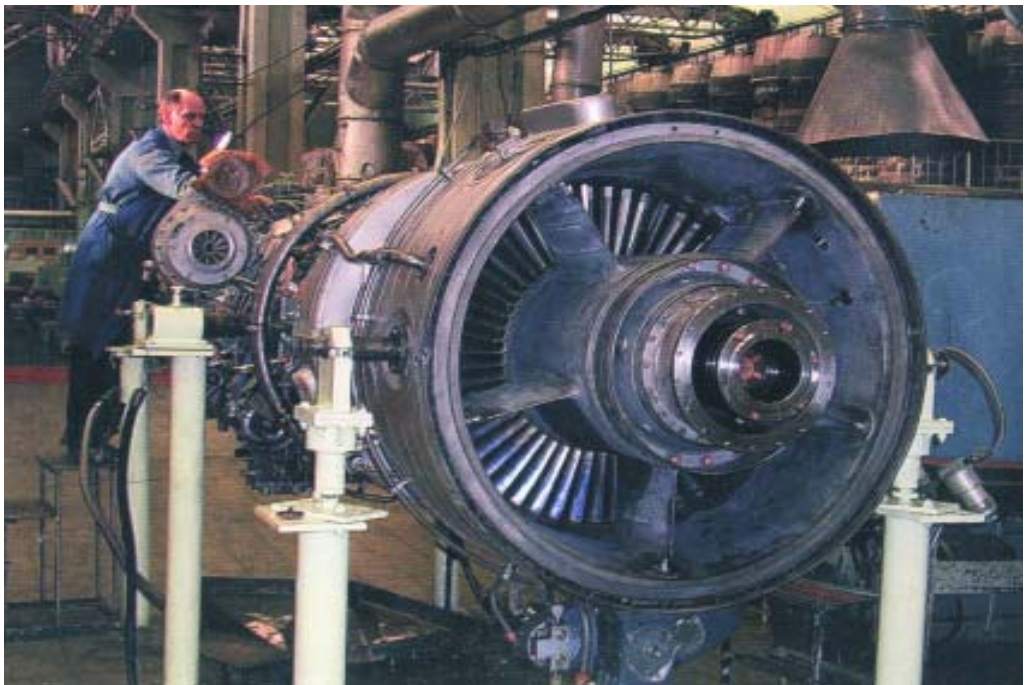


Рис. 12Д. Газотурбінний двигун НК-12СТ



Рис. 13Д. Газотурбінний двигун НК-14СТ

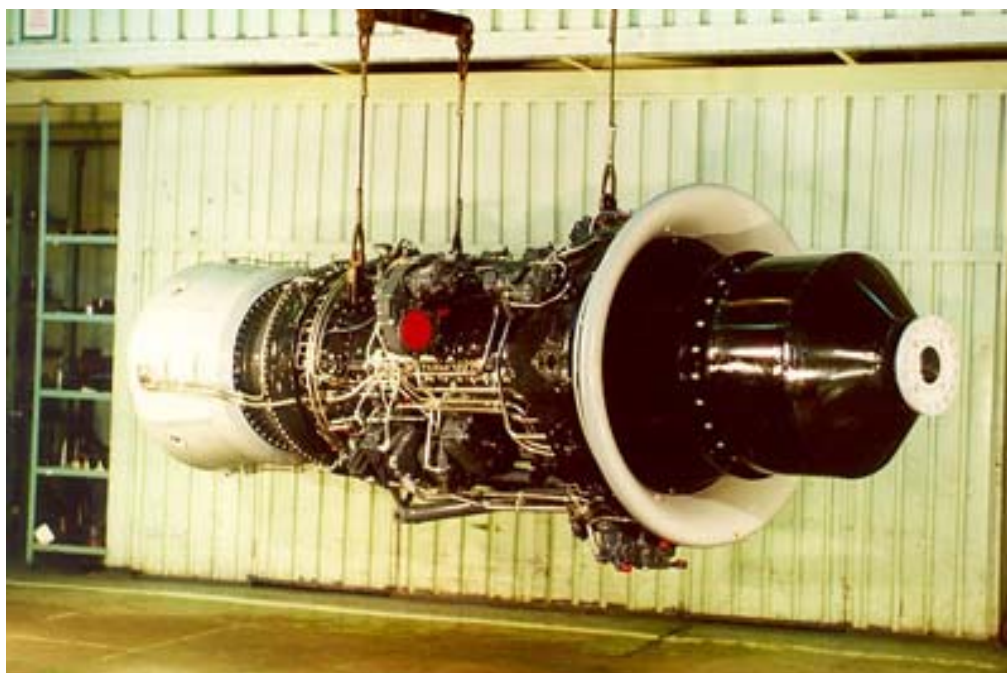


Рис. 14Д. Газотурбінний двигун НК-14Э

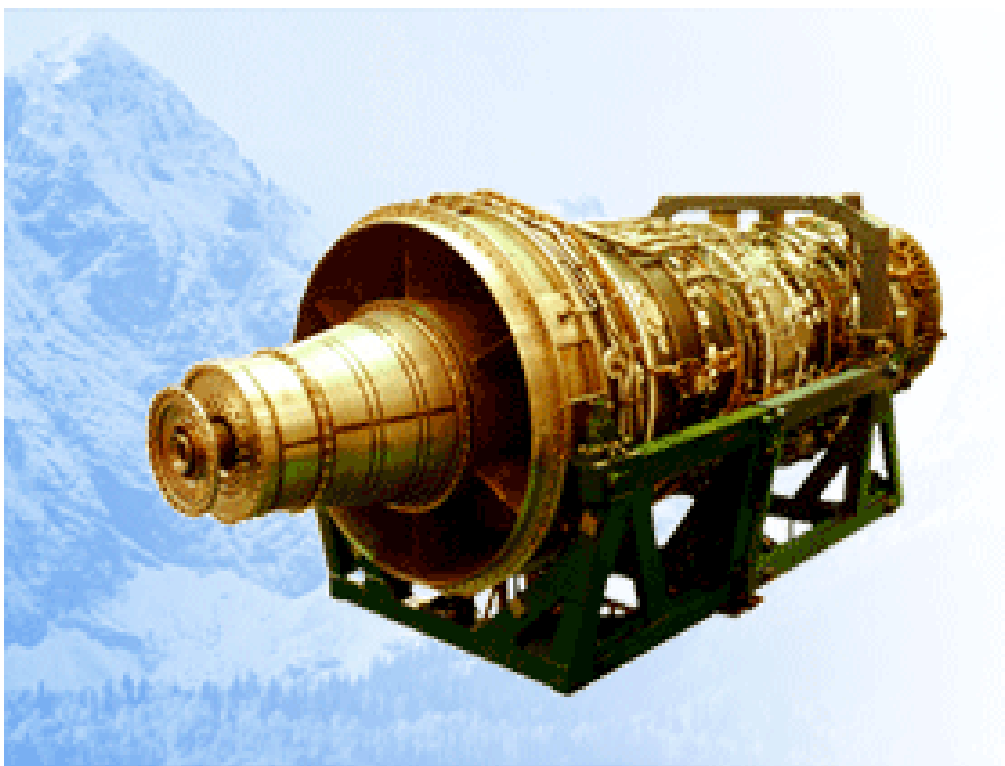


Рис. 15Д. Газотурбінний двигун НК-37



Рис. 16Д. Газотурбінний двигун АЛ-31СТ



Рис. 17Д. Газотурбінний двигун ГТУ-2,5П

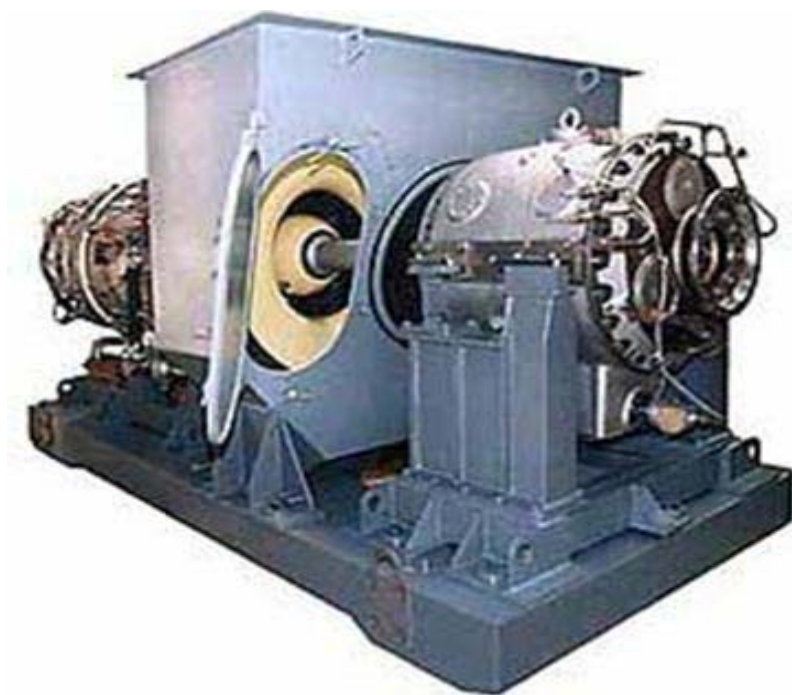


Рис. 18Д. Газотурбінний двигун ГТУ-4П

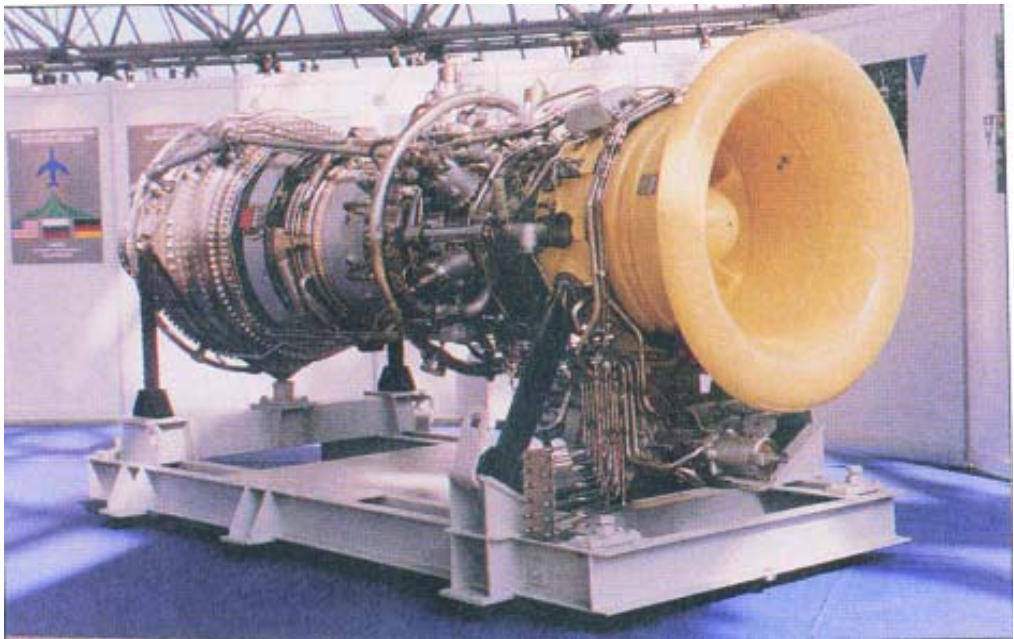


Рис. 19Д. Газотурбінний двигун ГТУ-10П

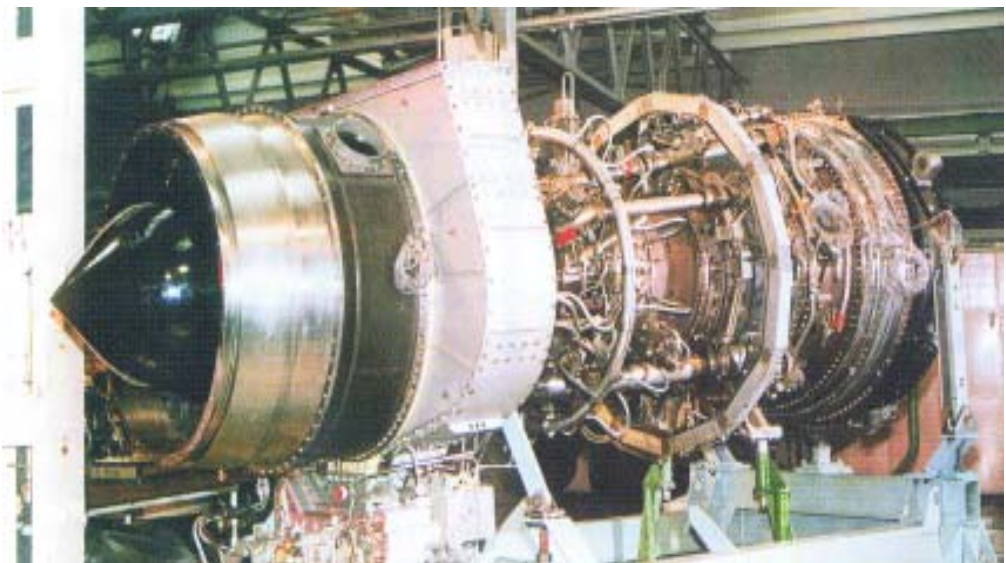


Рис. 20Д. Газотурбінний двигун ГТУ-25П



Рис. 21Д. Газотурбинный агрегат ГТЭ-20С



Рис. 22Д. Газотурбинный агрегат GTН-6У

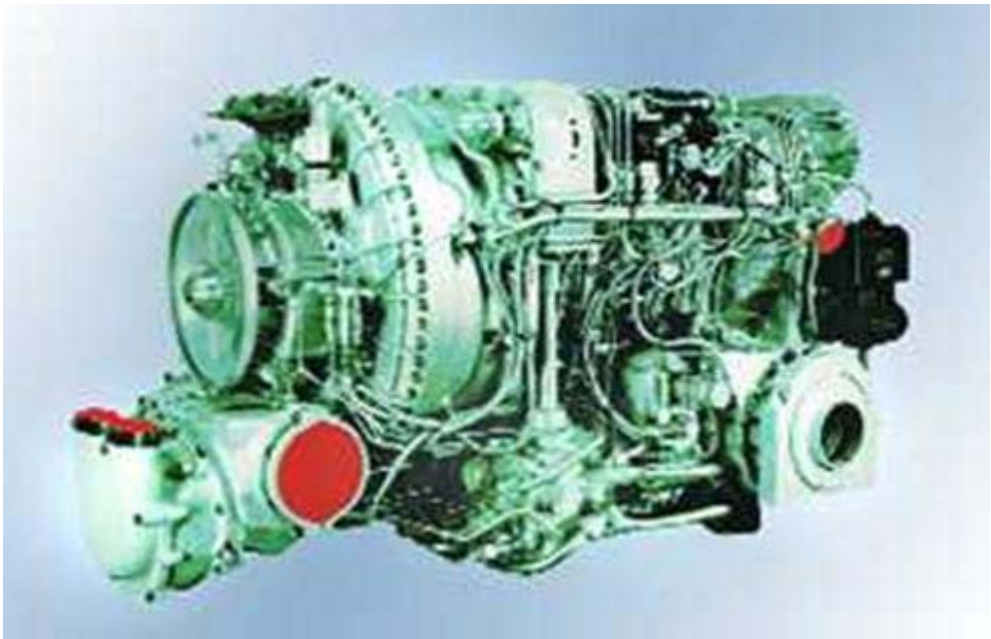


Рис. 23Д. Газотурбінний двигун ГТД-1250



Рис. 24Д. Газотурбінний двигун ТВ7-117В