

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 2

***Агрегати виробництва країн Західної Європи,
Америки та Азії***

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



Миколаїв
НУК
2008

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 № 1.4/18-Г-2080 від 28.11.2007 р.*

Рецензенти: В.І. Романов, доктор технічних наук;
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. 2: Агрегати виробництва країн Західної Європи, Америки та Азії: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2008. – 420 с., 12 с. іл.

ISBN 978–966–321–097–1

ISBN 978–966–321–110–7

Наведено відомості про головні конструктивні типи і характеристики газотурбінних агрегатів енергетичного, привідного та суднового призначення, розроблених і виготовлених у даний час підприємствами Західної Європи, Америки та Азії. Проаналізовано сучасний стан газотурбобудування в цих країнах. Розглянуто загальну будову різноманітних типів як самих агрегатів, так і енергетичних установок, створюваних на їхній основі.

Для студентів технічних університетів, які навчаються за напрямками "Енергомашинобудування", "Теплоенергетика" і "Суднобудування та океанотехніка". Книга може бути корисною для інженерно-технічних працівників, які займаються проектуванням, створенням та експлуатацією газотурбінних агрегатів.

УДК 621.125

ББК 39.455.13: 31.363

ISBN 978–966–321–097–1

ISBN 978–966–321–110–7

© Романовський Г.Ф., Сербін С.І.,
Патлайчук В.М., 2008

© Видавництво НУК, 2008

Навчальне видання

РОМАНОВСЬКИЙ Георгій Федорович
СЕРБІН Сергій Іванович
ПАТЛАЙЧУК Володимир Миколайович

СУЧАСНІ ГАЗОТУРБІННІ АГРЕГАТИ

У двох томах

Том 2

Агрегати виробництва країн Західної Європи, Америки та Азії

Навчальний посібник

(українською мовою)

Редактор *Т.Б. Митрофанова*
Комп'ютерна правка та верстка *О.М. Черевата, Н.В. Ялова*
Коректор *М.О. Паненко*

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 28.10.08. Папір офсетний. Формат 70×100/16. Друк офсетний. Гарнітура "Таймс".

Ум. друк. арк. 34,2. Обл.-вид. арк. 26,3. Тираж 200 прим. Вид. № 14. Зам. № 330. Ціна договірна.

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

ЗМІСТ

Передмова	5
<i>Розділ 1. Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів</i>	<i>6</i>
1.1. Розвиток і сучасний стан газотурбобудування країн Західної Європи, Америки та Азії	6
1.2. Галузі застосування газотурбінних агрегатів	12
1.3. Загальна будова газотурбінних агрегатів	25
<i>Розділ 2. Агрегати виробництва підприємств Західної Європи</i>	<i>35</i>
2.1. "Siemens AG" (Німеччина)	36
2.2. "Rolls-Royce plc" (Великобританія)	101
2.3. "ALSTOM S.A." (Франція)	147
2.4. "MAN Turbo AG" (Німеччина)	177
2.5. "Turbomeca S.A." (Франція)	188
2.6. "Volvo Aero Corp." (Швеція)	195
2.7. "Avio S.p.A." (Італія)	200
2.8. "Ansaldo Energia S.p.A." (Італія)	203
2.9. "MTU Friedrichshafen GmbH" (Німеччина)	205
2.10. "OPRA Technologies B.V." (Нідерланди)	208
2.11. "Centrax Ltd." (Великобританія)	211
2.12. "Turbomach S.A." (Швейцарія)	213
<i>Розділ 3. Агрегати виробництва підприємств США та Канади</i>	<i>215</i>
3.1. "General Electric Company" (США)	216
3.2. "Solar Turbines Inc." (США)	301
3.3. "Pratt & Whitney Corp." (США)	314
3.4. "Vericor Power Systems Inc." (США)	329
3.5. "Honeywell International, Inc." (США)	337
3.6. "Dresser-Rand Company" (США)	345
3.7. "Magellan Aerospace Corp." (Канада)	351
<i>Розділ 4. Агрегати виробництва підприємств Азії</i>	<i>355</i>
4.1. "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." (Японія)	356
4.2. "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." (Японія)	372
4.3. "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." (Японія)	384
4.4. "Hitachi, Ltd." (Японія)	390

Зміст

4.5. "Toshiba Corp." (Японія)	395
4.6. "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd." (Японія)	398
4.7. "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd." (Японія)	402
4.8. "Ebara Corp." (Японія)	407
4.9. "Yanmar Co., Ltd." (Японія)	408
4.10. "Hitachi Zosen Corp." (Японія)	411
4.11. "Xi'an Aero-Engine Corp." (Китай)	413
4.12. "Bharat Heavy Electricals Ltd." (Індія)	414
Список літератури	418
Додаток	419



ПЕРЕДМОВА

Матеріал, поданий у другому томі цього навчального посібника, присвячений розгляду конструктивної будови сучасних газотурбінних агрегатів (ГТА), які виготовляються сьогодні підприємствами Західної Європи, Америки та Азії.

Детально розглянуті технічні й експлуатаційні характеристики різноманітного газотурбінного встаткування*. 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 цієї продукції. У додатку подана інформація про правила перерахунку основних параметрів агрегатів.

Технічні характеристики ГТА подані приведеними до умов ISO 2314, згідно з якими відсутні втрати тиску у вхідному та вихідному трактах агрегату, а параметри атмосферного повітря на вході до нього становлять: повний тиск – 101325 Па, повна температура – 288 К, відносна вологість – 60 %. Для парогазових установок (ПГУ) враховуються втрати повного тиску в тракті котла-утилізатора.

Для ПГУ й енергетичних агрегатів простої теплової схеми значення потужності та ККД (за винятком випадків, які обговорюються окремо) наведені на клеммах генератора, для привідних і суднових агрегатів – на вихідному валу двигуна (в деяких випадках на вихідному валу вбудованого редуктора).

Технічні параметри ГТА енергетичного та привідного призначення визначені при роботі на природному газі з нижчою теплотворною здатністю 50056 кДж/кг, характеристики суднових агрегатів – при роботі на дизельному паливі з теплотворною здатністю 42795 кДж/кг.

Навчальний посібник орієнтований також на самостійну роботу студентів, для чого наприкінці окремих розділів наведено перелік контрольних завдань.

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.

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

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

Розділ 1. ОСНОВНІ КОНСТРУКТИВНІ ТИПИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ АГРЕГАТІВ

1.1. Розвиток і сучасний стан газотурбобудування країн Західної Європи, Америки та Азії

Виникнення газотурбобудування в Європі наприкінці XIX ст. стало закономірним результатом попереднього багатоголикового розвитку науки і техніки та, зокрема, турбобудівного виробництва в цьому регіоні.

Саме слово "turbinis" пов'язане з прядінням. Цей термін у Давньому Римі використовувався для позначення ткацького вовчка*. Історично першою для обертання турбіни стала застосовуватися гідравлічна енергія річок. Із цією метою створювалися так звані "водяні колеса", обертання яких забезпечувалося або енергією падаючої води, або кінетичною енергією потоку. Досить давнім є і використання водяної пари для одержання механічної енергії обертання. Згадка про це зустрічається вже в роботах відомого вченого Герона з Олександрії (Єгипет) (біля 150 р. до н. е.).

Перший патент на газотурбінний двигун (ГТД) був виданий у 1791 р. в Англії Джонові Барберу. У двигуні Барбера паливо одержувалося шляхом переганання з вугілля, нафти і дерева. Пальний газ поршневим компресором подавався в камеру згоряння, в яку таким же компресором нагніталася повітря. Продукти згоряння надходили в осьову активну газову турбіну, яка через механічну передачу з ланцюгів і балансирів приводила у рух згадувані компресори. Двигун Барбера, таким чином, містив у собі всі основні елементи ГТД.

Проте початок промислового виготовлення ГТА став можливим лише у кінці XIX ст., коли було завершено формулювання законів термо- і газодинаміки, знайдені інженерні рішення для генерування механічної роботи з використанням теплофізичних властивостей продуктів згоряння. Величезне значення для цього мало також досягнення певного рівня розвитку металургії та технології роботи з металами, оскільки високі частоти обертання роторів і внаслідок цього значні навантаження, діючі на них, обумовлювали підвищені вимоги до точності виготовлення та міцності елементів.

До числа першовідкривачів у галузі газотурбобудування слід віднести німецького вченого Франца Штольце, який у 1899 р. запатентував, а в 1900–1904 рр. у Берліні побудував і випробував двигун, характерною рисою якого було використання багатоступінчастого осьового компресора. За проектом Шарля Лемаля підприємство французького Рене Арманго у 1905 р. побудувало спільно з "Brown Boveri & Cie" (Швейцарія) ГТД потужністю 62 кВт, стиснення повітря в якому здійснювалося в 25-ступінчастому відцентровому компресорі. У червні 1903 р. у Христианії (Норвегія) Егідіус Еллінг продемонстрував працюючий

* Слово "турбіна" було введено в сучасний технічний лексикон у 1822 р. французьким інженером Клодом Бурдіном.

газотурбінний двигун потужністю 8 кВт. Багаторічні дослідження в напрямку розвитку ГТД з ізохорним підведенням тепла в камері згоряння проводив у перші десятиріччя ХХ ст. німецький учений Ганс Гольцварт.

Тривалий час створення конкурентоздатних конструкцій ГТА стримувалося відсутністю компресорів, які з високою ефективністю могли би підвищувати тиск робочого повітря. Лише у 1936 р., після створення багатоступінчастого осевого компресора з прийнятною для практичного застосування ефективністю 84 %, компанія "Brown Boveri & Cie" розробила, а в 1939 р. ввела в експлуатацію у складі електростанції м. Невшатель (Швейцарія) працездатний агрегат потужністю 4000 кВт, ККД якого становив 17,4 %.

Інтенсивний розвиток газотурбінної техніки розпочався у роки Другої Світової війни у зв'язку з виникненням й успішним використанням авіаційних турбореактивних двигунів (ТРД). Наприкінці 30-х – початку 40-х років плідні роботи зі створення таких ГТД велися кількома групами дослідників у Німеччині й Англії незалежно одна від одної.

У Німеччині провідними виробниками авіаційних ГТД у цей період були компанії "Heinkel AG", "Junkers Flugzeug und Motorenwerke" ("Jumo") і "Bayerische Motorenwerke" ("BMW"), на яких працювали такі видатні німецькі інженери-газотурбобудівники, як Ганс фон Охайн, Макс Хан, Адольф Мюллер, Герберт Вагнер, Ансельм Франц, Герман Ойстріх та ін.

В Англії в цей період найбільш видатних успіхів у створенні авіаційних ГТД домоглася група дослідників, на чолі якої стояв Френк Вітл. Результати її роботи були використані компаніями "Rolls-Royce Ltd." та "The de Havilland Engine Co." для серійного виготовлення перших англійських ТРД. Чималий вклад у цей процес внесли також інженери цих компаній Стенлі Гукер та Френк Гелфорд.

Післявоєнний період був відзначений стрімким розвитком авіаційного газотурбобудування. Чимало сприяли цьому англійські й німецькі інженери, розробки яких інтенсивно використовувалися двигунобудівниками США, Радянського Союзу, Франції, Швеції та деяких інших країн для становлення власного газотурбінного виробництва. Слідом за авіаційним (і головним чином на його основі) наприкінці 40-х років виникає сучасне виробництво стаціонарних ГТА, які знаходять своє застосування в різних галузях промисловості. Газотурбінні двигуни починають використовуватися для приводу локомотивів, автомобілів, бронетанкової техніки, кораблів військово-морського флоту (ВМФ) і комерційних суден.

Переваги ГТА над паротурбінними установками і поршневими двигунами визначили досить широкий діапазон їхнього застосування в стаціонарній практиці. У перші ж післявоєнні роки вони починають використовуватися для приводу генераторів електричного струму, компресорів магістральних газопроводів, насосів нафтопроводів і повітродувки у металургійному виробництві.

Наприкінці 40-х та в 50-х роках провідні виробники промислової газотурбін-

ної техніки ("Brown Boveri Ltd.", "Escher Wyss AG", "General Electric Co.", "Westinghouse Electric Corp.", "Siemens AG", "STAL" та ін.) прагнули створювати потужні енергетичні ГТА для базового навантаження. Головний недолік агрегатів – низька ефективність – часто усувався шляхом ускладнення їхньої теплової схеми: використання регенерації тепла газів, проміжного охолодження повітря між компресорами та/або проміжного підігрівання газу між турбінами. У такий спосіб був створений ряд ГТА потужністю до 20...30 МВт, економічність яких відповідала економічності паротурбінних установок потужністю до 50 МВт.

Проте досвід експлуатації агрегатів складних теплових схем показав, що внаслідок ненадійності окремих елементів і неможливості враховувати деякі втрати економічні переваги подібних ГТА не можуть бути цілком реалізовані. Розвиток теплоенергетики в 50–60-х роках свідчив про те, що зростання економічності та одиничних потужностей парових турбін значно випереджає аналогічні показники ГТА і практично виключає на цьому етапі їхнє використання у великій енергетиці як базових установок.

Кризова ситуація, що склалася в енергетичному газотурбобудуванні на початку 60-х років, докорінно змінилася після 1965 р. У листопаді цього року в США мала місце так звана *північно-східна аварія* ("Northeast Blackout"). Унаслідок збою в електропостачанні північний схід країни (головний промисловий і діловий регіон США з населенням 25 млн чол., включаючи м. Нью-Йорк) протягом кількох днів залишався знеструмленим. Ця аварія відкрила нову еру в промисловому газотурбобудуванні й на якийсь час визначила основний напрямок його розвитку. Спочатку в Північній Америці, а згодом у Європі й Азії різко збільшився попит на пікові та резервні газотурбінні енергетичні модулі. Якщо до 1961 р. сумарна потужність введених у дію в усьому світі промислових ГТА не перевищувала 6 ГВт, то в першій половині 70-х років вона щорічно складала 10...15 ГВт (рис. 1.1). Зростання попиту на ГТА обумовило інтенсифікацію робіт з їхнього вдосконалювання і дало для цього джерело фінансування.

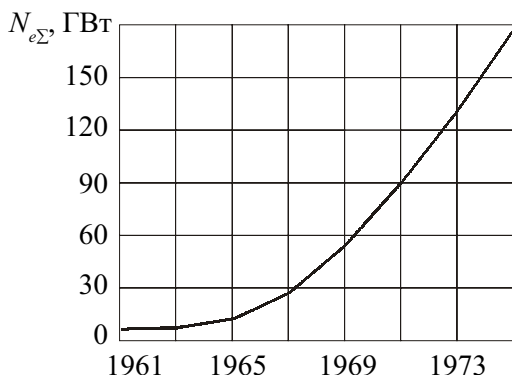


Рис. 1.1. Кумулятивна потужність проданих у всьому світі промислових агрегатів

Використанню ГТА як пікових енергомодулів чимало сприяли придатність газотурбінних двигунів до швидкого пуску і набору навантаження, компактність

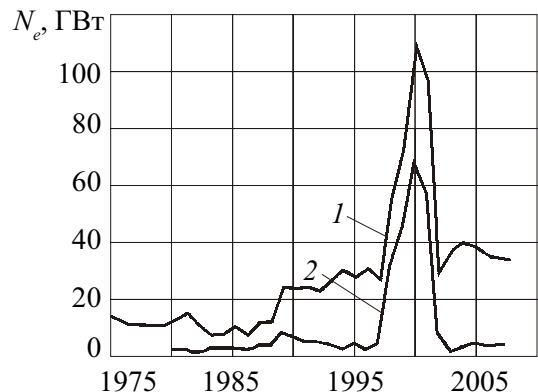
агрегатів та їхня низька металомісткість. Для зменшення капіталовкладень у будівництво електростанції та прискорення введення установок у дію конструкції ГТА стали виконуватися блоковими. Блоки розташовувалися в спеціальних боксах і транспортувалися до місця призначення в зібраному вигляді або великими вузлами.

У цей час відбулося практично повне відмовлення від використання агрегатів складних теплових схем (а разом з ними і від ГТА закритого циклу та ГТА з вільнопоршневими генераторами газу). Домінуючою стала конструкція ГТА простої теплової схеми, яка хоч і мала меншу ефективність, проте більш яскраво виражала основні переваги цього типу двигуна (малі габарити й масу, високу маневреність і т. д.). Уперше на ринок промислових ГТА повною мірою вийшли такі провідні світові виробники авіаційних ГТД, як "Rolls-Royce Ltd.", "Pratt & Whitney Corp.", авіадвигунобудівний підрозділ "General Electric Co.". Промислові ГТА стали створюватися на основі газогенераторів вдалих конструкцій турбореактивних і турбогвинтових двигунів шляхом їхнього конвертування й оснащення додатковою силовою турбіною. Характерною рисою таких агрегатів була низька вартість, що пояснювалося крупносерійним виробництвом базових авіаційних ГТД.

Оскільки виробничі потужності цих фірм не могли справитися зі зростаючим попитом, то широкого поширення набула практика залучення до випуску ГТА додаткових підприємств, які спеціалізувалися на комплектації ("пекіджуванні") агрегатів, використовуючи для цього одержані від базового підприємства двигуни. Такого роду діяльністю не нехтували і провідні виробники стаціонарних ГТА. Так, приміром, "Brown Boveri Ltd." у цей період організувала випуск пікових та резервних електростанцій на основі ТРД "Avon" компанії "Rolls-Royce Ltd.".

Наслідком енергетичних криз 70-х – першої половини 80-х років стало істотне зниження темпів розвитку стаціонарного газотурбобудування. Рівень виробництва промислових ГТА в цей період стабілізувався на відмітці 8...15 ГВт у рік (рис. 1.2)*.

Рис. 1.2. Сумарна річна потужність замовлених промислових агрегатів і парогазових установок:
1 – у всьому світі; 2 – у США



* У період з 1975 по 1989 р. ураховувалися лише ГТА потужністю більше 3 МВт, з 1990 по 2007 р. – більше 10 МВт.

Подальший розвиток енергетичного газотурбобудування був пов'язаний з удосконалюванням установок з утилізацією тепла відпрацьованих газів, тобто так званих *парогазових установок*. Необхідно відзначити, що розвиток останніх ішов паралельно з розвитком промислових ГТА простої теплової схеми. Так, наприклад, уже перший ГТА, установлений "General Electric Co." у 1949 р., був оснащений контуром підігріву живильної води відпрацьованими газами. Ця вода потім використовувалася в циклі парової турбіни.

Значна кількість ГТД, виготовлених у 50–60-х роках, працювала разом з паротурбінними агрегатами. Характерною рисою такої роботи було використання відпрацьованих газів ГТД у традиційному парогенераторі, де в їхньому середовищі відбувався процес спалювання палива. Ефективність циклу паротурбінної установки при цьому підвищувалася на 5...6 %. Крім того, поверхня теплообміну парогенератора могла бути прийнята істотно меншою, що позитивно відбивалося на його масі та вартості. У другій половині 60-х років поступово стає все більш популярним поєднання газотурбінних установок з утилізаційними парогенераторами. Одержувана внаслідок утилізації тепла водяна пара часто використовувалася у виробничих процесах підприємств хімічної та нафтопереробної промисловості.

Істотна зміна в тепловій схемі виготовлюваних ПГУ відбулася на початку 70-х років, коли стали серійно випускатися двигуни, потужність яких перевищувала 50 МВт і які були здатні ефективно та надійно працювати на режимах базового навантаження ("Frame 7" "General Electric Co." й ін.). Уперше стало доцільним використовувати пару, одержану внаслідок утилізації, не тільки для теплофікаційних та виробничих потреб, але і для вироблення додаткової потужності в парових турбінах, якими оснащувалися такі установки (рис. 1.3). У 1986 р. була представлена перша ПГУ з ефективністю більше 50 % (KA13E-1 на основі двигуна GT13E "Brown Boveri Ltd."). Кінець 80-х років відзначений початком широкого застосування таких установок в енергетиці. У перші роки XXI ст. був перевищений рубіж 60 % (S109H із двигуном MS9001H "General Electric Co.").

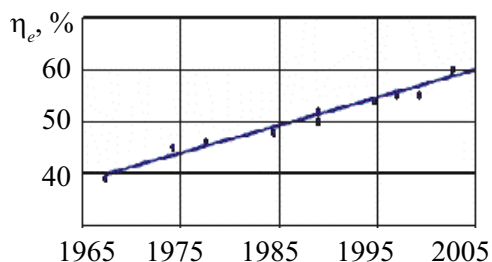


Рис. 1.3. Досягнута ефективність парогазових установок за роками випуску

Значний інтерес до ПГУ виник у всьому світі після аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. Висока ефективність створених на той час конструкцій доповнювалася їх гарними екологічними характеристиками (у порівнянні з паротурбінними й атомними установками). На початку 90-х років сумарна кількість замовлень на стаціонарні ГТА і ПГУ подвоїлася у порівнянні з попереднім періодом та досягла значення 25...30 ГВт у рік (див.

рис. 1.2). Прискорені темпи розвитку ПГУ дуже швидко відбилися і на їхній вартості. Якщо в 1991 р. питома ціна ПГУ складала в середньому 600 дол. за 1 кВт генерованої потужності, то вже в 1996 р. вона знизилася до 350 дол./кВт. Необхідно відзначити, що сьогодні у всьому світі ПГУ розглядаються як єдине ефективне і водночас екологічно чисте джерело електричної енергії, альтернативою якому можуть у найближчому майбутньому стати лише паливні елементи та поновлювані джерела енергії.

Стихійні лиха в США на рубежі XX–XXI ст. викликали паніку на ринку енергогенеруючих технологій (подібно до подій 1965 р.) і різке (але нетривале) зростання попиту в ці роки на газотурбінні енергетичні установки (див. рис. 1.2).

Відомості про промислові ГТА потужністю до 60 МВт, які були продані в усьому світі у другій половині 90-х років, наведені на рис. 1.4 та 1.5. Необхідно відзначити, що 54 % цих агрегатів були призначені для роботи на природному газі, 20 % – на дизельному паливі, 5 % – на важких сортах палива і 21 % – водночас на двох видах палива.

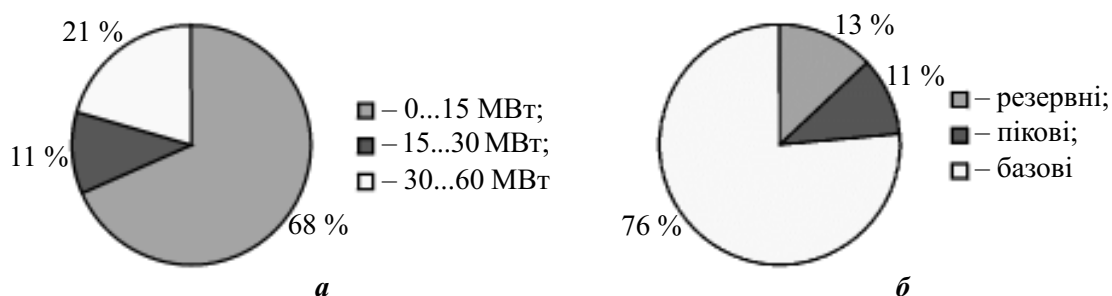
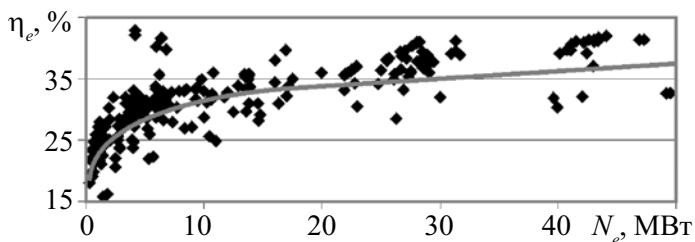


Рис. 1.4. Розподіл промислових агрегатів потужністю до 60 МВт за потужністю (а) і призначенням (б)

Рис. 1.5. Залежність ефективного ККД агрегатів простої схеми від потужності



У даний час провідними світовими фірмами з виробництва промислових і суднових ГТА є компанії "General Electric Co." (США), "Siemens AG" (Німеччина), "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." (Японія), "ALSTOM S.A." (Франція), "Rolls-Royce plc" (Великобританія) і "Solar Turbines Inc." (США). На певний стійкий ринок збуту вийшла газотурбінна продукція підприємств "Pratt & Whitney Corp." (США), "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." (Японія), "Vericor Power Systems Inc." (США), "MAN Turbo AG" (Німеччина), "OPRA Technologies B.V." (Нідерланди), "Honeywell International, Inc." (США), "Hitachi, Ltd." та "Ishikawajima-Harima Heavy Indu-

stries Co., Ltd." (Японія). Крім зазначених, значна кількість компаній спеціалізується на комплектації ГТА різноманітного призначення, використовуючи для цього двигуни інших підприємств. Розподіл ринку в 2002–2004 рр. між виробниками газотурбінної техніки, визначений за замовленою потужністю промислових ГТА і ПГУ, зображено на рис. 1.6. Дана діаграма складена за результатами замовлених потужностей ГТА і ПГУ в період з 2002 по 2004 рр. Необхідно враховувати, що розглянутий період був відзначений значними замовленнями компаніям "General Electric Co." і "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." від підприємств Китаю, тому їхня частка порівняно зі звичайним значенням вийшла трохи завищеною. Одночасно із цим, провальна експлуатація агрегатів GT24/GT26 у перші роки XXI ст. викликала значне зниження попиту на газотурбінну продукцію концерну "ALSTOM S.A.", наслідком чого стало різке зменшення її складової на цій діаграмі.

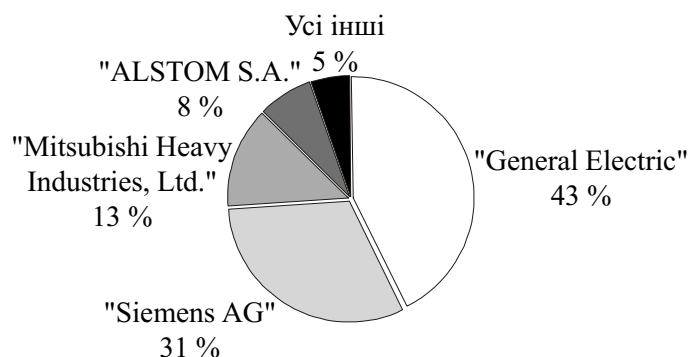


Рис. 1.6. Розподіл ринку між виробниками промислових агрегатів і парових установок

1.2. Галузі застосування газотурбінних агрегатів

На сьогодні підприємствами Західної Європи, Америки й Азії випускаються ГТА енергетичного, привідного і суднового призначення. Окремою специфічною галуззю є виробництво ГТА для приводу автомобілів і бронетанкової техніки.

1. Енергетичні газотурбінні агрегати. Призначені для приводу генераторів електричного струму на стаціонарних і пересувних (мобільних) електростанціях. Можуть використовуватися для базового навантаження, а також як пікові та резервні. Виконуються як за простою тепловою схемою, так і за схемами з утилізацією тепла відпрацьованих газів (ПГУ), регенерацією тепла, проміжним охолодженням повітря між компресорами та/або проміжним підігрівом газу між турбінами.

Характеристики енергетичних ГТА простої теплової схеми, які в даний час серійно виготовляються або готуються до випуску компаніями досліджуваного регіону, в межах потужностей 0,5...400 МВт наведені в табл. 1.1.

Крім зазначених у табл. 1.1, значна кількість фірм комплектує і продає енергетичні ГТА, використовуючи для цього двигуни інших виробників. При цьому часто даним ГТА присвоюються найменування, відмінні від їхніх оригінальних назв. До підприємств, що спеціалізуються на цьому, можна віднести "MAN Turbo AG", "Ansaldo Energia S.p.A.", "MTU Friedrichshafen GmbH", "Centrax Ltd.", "Turbomach S.A.", "Avio S.p.A.", "Dresser-Rand Co.", "Magellan Aerospace Corp.",

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.", "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.", "Hitachi, Ltd.", "Toshiba Corp.", "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.", "Ebara Corp.", "Yanmar Co., Ltd.", "Bharat Heavy Electricals Ltd." та "Hitachi Zosen Corp."

Таблиця 1.1. Характеристики енергетичних агрегатів простої теплової схеми

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 0,5...1,2 МВт						
VPS1 (ASE8)	"Vericor Power Systems Inc."	0,51	21,3	1194	10,4	50/60
"Bastan VI"	"Turbomeca S.A."	0,58	19,7	–	5,5	50
"Bastan VII"		0,83	22,0	–	7,2	50
"Makila TI" (TM1600)		1,05	27,1	1470	9,6	50/60
ST6L-79	"Pratt & Whitney Corp."	0,62	22,8	–	7,0	50/60
ST6L-81		0,78	24,0	–	8,5	50/60
ST6L-90		1,08	25,8	–	10,0	50/60
SB5	"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."	1,01	23,5	–	10,0	50/60
"Saturn 20"	"Solar Turbines Inc."	1,21	24,3	–	6,7	50/60
GPS750 (S2A-01)	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	0,60	19,8	1203	8,5	50/60
GPB06 (S2A-01)		0,61	19,8	1203	8,5	50/60
GPB07D (S7A-01)		0,65	23,1	–	–	50/60
GPS1250 (M1A-01)		1,00	20,9	1173	8,2	50/60
GPS1500 (M1A-03)		1,20	21,9	1233	8,8	50/60
CNT-625ER	"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."	0,50	14,9	–	4,2	50/60
CNT-750ER		0,60	16,6	–	6,7	50/60
CNT-1000ER		0,80	19,4	–	8,6	50/60
CNT-1250E		1,00	18,9	–	7,2	50/60
CNT-1500E		1,20	20,6	–	7,2	50/60
TX625	"Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd."	0,50	15,2	–	8,0	50/60
TX750		0,60	18,2	–	8,0	50/60
TX1000		0,80	17,9	–	8,0	50/60
TX1250		1,00	16,9	–	7,9	50/60
TX1500		1,20	18,2	–	8,0	50/60
AT600S	"Yanmar Co., Ltd."	0,55	–	–	8,1	50/60
AT900S		0,90	–	–	8,2	50/60
AT1200S		1,10	–	–	8,1	50/60

Сучасні газотурбінні агрегати

Продовж. табл. 1.1

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клемах генератора, МВт	ККД на клемах генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 1,2...2,5 МВт						
ST18A	"Pratt & Whitney Corp."	1,81	27,8	–	8,0	50/60
"Eurodyn" (TM2500)*	"Turbomeca S.A."	2,25	28,1	1323	18,0	50/60
OP16-2AL	"OPRA Technologies B.V."	1,64	24,4	–	6,7	50/60
OP16-2AG		1,77	24,9	–	6,7	50/60
OP16-3A		1,81	25,2	–	6,8	50/60
GPB15X (M1A-13X)	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	1,38	23,8	–	9,6	50/60
GPS1750 (M1A-06)		1,40	21,9	1233	9,1	50/60
GPB15D (M1A-13D)		1,43	23,9	1275	9,5	50/60
GPS2000 (M1A-23)		1,60	24,8	1413	11,4	50/60
GPS2500 (M1T-01)		2,00	20,2	1173	8,0	50/60
GPS3000 (M1T-03)		2,40	21,0	1233	8,8	50/60
CNT-2000E	"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."	1,60	20,8	–	9,5	50/60
CNT-2500E		2,00	20,5	–	7,2	50/60
CNT-3000E		2,40	20,7	–	7,2	50/60
TX1750	"Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd."	1,40	18,2	–	8,1	50/60
TX2000		1,60	17,6	–	8,1	50/60
TX2500		2,00	18,6	–	8,2	50/60
TX3000		2,40	18,2	–	8,2	50/60
KG2-3C	"Dresser-Rand Co."	1,43	15,5	–	3,9	50/60
KG2-3E		1,82	16,0	–	4,7	50/60
AT1800S	"Yanmar Co., Ltd."	1,70	–	–	8,2	50/60
Агрегати потужністю 2,5...5,0 МВт						
ST30	"Pratt & Whitney Corp."	3,2	30,4	–	16,9	50/60
ST40		3,8	31,5	–	16,9	50/60
VPS3 (ASE40)	"Vericor Power Systems Inc."	3,1	26,9	1378	8,8	50/60
VPS4 (ASE50)		3,6	29,1	1387	10,2	50/60
501-KB5	"Rolls-Royce plc"	3,9	29,4	1330	10,2	50/60
"Centaur 40"	"Solar Turbines Inc."	3,5	27,9	–	9,7	50/60
"Centaur 50"		4,6	29,3	–	10,6	50/60
"Mercury 50"**		4,6	38,5	1436	9,9	50/60

* Агрегат анонсується також компанією "Volvo Aero Corp." під назвою VT2600.

** Агрегат з регенерацією тепла.

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

Продовж. табл. 1.1

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клемах генератора, МВт	ККД на клемах генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 2,5...5,0 МВт						
VT4400	"Volvo Aero Corp."	4,2	28,1	1355	12,4	50/60
VT4400DLE		4,3	28,9	–	12,4	50/60
SB15	"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."	2,6	24,2	–	10,0	50/60
GPB30D (M1T-13D)	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	2,8	23,6	1275	9,5	50/60
GPS3500 (M1T-06)		2,8	21,0	1233	9,1	50/60
GPS4000 (M1T-23)		3,2	24,4	1403	11,4	50/60
GPS4500 (M1T-23S)		3,6	25,0	–	11,4	50/60
GPS5000 (M1T-33A)		4,0	25,5	–	12,0	50/60
GPS6000 (M1T-33)		4,8	25,5	–	12,0	50/60
CNT-3500E	"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."	2,8	20,8	–	9,5	50/60
CNT-4000E		3,2	22,0	–	9,5	50/60
CNT-4500EN		3,6	22,8	–	9,3	50/60
TX3500	"Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd."	2,8	18,2	–	8,1	50/60
TX4000		3,2	16,0	–	8,2	50/60
TX4500		3,6	17,2	–	8,2	50/60
TX5000		4,0	18,6	–	8,2	50/60
AT2700S	"Yanmar Co., Ltd."	2,7	–		8,2	50/60
Агрегати потужністю 5...11 МВт						
"Taurus 60"	"Solar Turbines Inc."	5,5	30,4	–	12,5	50/60
"Taurus 65"		6,3	32,9	–	15,1	50/60
"Taurus 70"		7,5	33,8	–	16,0	50/60
"Mars 90"		9,4	31,8	–	16,3	50/60
"Mars 100"		10,7	32,5	–	17,4	50/60
501-KB7	"Rolls-Royce plc"	5,3	31,6	1330	13,5	50/60
501-KH5*		6,4	39,9	1283	10,2	50/60
601-KB9		6,5	32,7	–	14,8	50/60
601-KB11		7,9	33,0	–	19,4	50/60
SGT-100 ("Typhoon")	"Siemens AG"	5,3	30,5	1392	14,9	50/60
SGT-200 ("Tornado")		6,8	31,5	1269	12,3	50/60
SGT-300 ("Tempest")		7,9	31,2	1412	14,0	50/60

* Із подачею пари в проточну частину.

Сучасні газотурбінні агрегати

Продовж. табл. 1.1

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клемх генератора, МВт	ККД на клемх генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 5...11 МВт						
GE5-1 (PGT5B)	"General Electric Co."	5,5	30,7	1465	14,8	50/60
GE10-1 (PGT10B)		11,3	31,4	—	15,5	50/60
GPB60D (M7A-01D)	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	5,3	29,3	—	12,7	50/60
GPB70D (M7A-02D)		6,5	30,3	—	15,9	50/60
MF-61	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	5,9	28,6	1405	15,0	50/60
SB30E	"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."	7,0	26,9	—	12,5	50/60
THM 1203A	"MAN Turbo AG"	5,8	22,5	1183	7,6	50/60
THM 1304-9		8,6	27,7	1248	10,0	50/60
THM 1304-10		9,3	28,0	1248	10,0	50/60
THM 1304-11		10,8	29,8	1268	11,3	50/60
Агрегати потужністю 12...20 МВт						
"Titan 130"	"Solar Turbines Inc."	14,3	35,0	—	16,0	50/60
SGT-400 ("Cyclone")	"Siemens AG"	12,9	34,8	1533	16,7	50/60
SGT-500 (GT35C)		17,0	32,2	—	12,0	50/60
PGT16	"General Electric Co."	13,7	34,9	—	20,2	50/60
PGT20		17,5	35,1	—	18,0	50/60
LM1600PE		13,7	35,0	—	20,2	50/60
LM1600PD		13,8	34,9	—	20,1	50/60
LM2000PS		17,7	34,9	—	16,0	50
LM2000PS		17,6	35,6	—	15,6	60
LM2000PJ		17,9	34,5	—	15,9	50
LM2000PJ		17,7	35,2	—	15,4	60
GPB180D (L20A)	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	17,1	34,3	—	18,0	50/60
H-15	"Hitachi, Ltd."	14,7	32,2	1533	14,7	50/60
MF-111	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	14,6	31,0	1523	15,0	50/60
SB60-1	"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."	13,1	28,5	—	13,2	50/60
"Avon 2648"	"Rolls-Royce plc"	14,6	28,2	—	8,8	50/60
"Avon 2656"		15,0	29,1	—	8,8	50/60

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

Продовж. табл. 1.1

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 22...35 МВт						
FT8 PowerPac	"Pratt & Whitney Corp."	25,0	37,3	–	19,3	50/60
FT8-3 PowerPac		27,4	37,5	–	20,2	50/60
MFT-8	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	25,7	37,2	–	21,0	50/60
MF-221		30,0	32,0	1523	15,0	50/60
PGT25	"General Electric Co."	22,4	36,3	–	17,9	50/60
PGT25+		30,2	39,6	–	21,5	50/60
PG5371PA		26,1	28,3	–	10,5	50/60
MS5002E		29,7	35,7	–	17,0	50/60
LM2500PE		22,4	35,4	–	19,1	50
LM2500PE		22,7	36,6	–	18,0	60
LM2500PJ		21,7	35,4	–	17,6	50
LM2500PJ		22,6	36,5	–	17,8	60
LM2500PH (STIG)		26,5	39,3	–	19,4	50
LM2500PH (STIG)		27,8	40,7	–	19,4	60
LM2500PK		29,2	35,4	–	22,6	50
LM2500PK		30,7	38,6	–	22,5	60
LM2500PV		30,3	39,8	–	21,5	50
DR61	"Dresser-Rand Co."	22,3	36,2	–	18,1	50/60
DR61P		30,3	39,1	–	22,1	50/60
RB211 6556	"Rolls-Royce plc"	24,1	34,1	–	21,0	50/60
RB211 6562		27,5	36,2	–	20,8	50/60
RB211 6762		29,4	37,8	–	21,5	50/60
RB211 6761		30,9	39,1	–	21,5	50/60
SGT-600 (GT10B)	"Siemens AG"	24,8	34,2	–	14,0	50/60
SGT-700 (GT10C)		29,1	36,0	–	17,6	50/60
H-25	"Hitachi, Ltd."	27,5	33,8	1533	14,7	50/60
SB120	"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."	22,1	29,3	–	11,7	50/60
Агрегати потужністю 40...70 МВт						
"Trent 60 DLE"	"Rolls-Royce plc"	50,8	41,6	–	35,0	50/60
"Trent 60 WLE"		56,8	39,9	–	35,0	50/60

Сучасні газотурбінні агрегати

Продовж. табл. 1.1

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 40...70 МВт						
LM6000PC	"General Electric Co."	42,9	41,7	–	29,2	50
LM6000PC		43,4	42,1	–	29,1	60
LM6000PC SPRINT		46,8	41,9	–	30,5	50
LM6000PC SPRINT		46,8	42,1	–	30,3	60
LM6000PD		41,7	40,7	–	29,3	50
LM6000PD		42,3	41,1	–	29,3	60
LM6000PD SPRINT		46,9	41,2	–	30,9	50
LM6000PD SPRINT		46,8	41,4	–	30,7	60
PG6581B		41,7	31,9	1413	12,2	50/60
PG6591C		42,3	36,3	1600	19,0	50/60
FT8 TwinPac	"Pratt & Whitney Corp."	50,3	37,6	–	19,3	50/60
FT8-3 TwinPac		55,2	37,8	–	20,2	50/60
SGT-800 (GTX100)	"Siemens AG"	45,0	37,0	–	19,5	50/60
SGT-1000F (V64.3A)		66,3	34,4	1463	15,8	50/60
GT8C2	"ALSTOM S.A."	56,3	32,1	1373	17,6	50/60
Агрегати потужністю 75...140 МВт						
LMS100PA*	"General Electric Co."	99,0	45,5	1653	40,0	50/60
LMS100PA (STIG)		110,8	49,5	–	41,0	50/60
LMS100PB (STIG)		99,0	45,4	–	40,0	50/60
PG6111FA		75,9	35,0	1561	15,6	50/60
PG7121EA		85,1	32,7	1386	13,0	60
M501D	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	111,6	34,2	1425	14,0	60
M701D		141,2	34,1	1425	14,0	50
SGT6-3000E (W501D5A)	"Siemens AG"	118,6	34,0	1450	14,2	60
GT11NM	"ALSTOM S.A."	87,9	34,1	–	12,5	60
GT11N2		115,4	33,6	1358	15,5	60
Агрегати потужністю 145...400 МВт						
SGT6-5000F (W501F)	"Siemens AG"	194,0	37,1	1550	17,4	60
SGT6-6000G (W501G)		260,7	38,4	1690	20,1	60
SGT5-2000E (V94.2)		159,7	33,8	1333	11,8	50

*Агрегат із проміжним охолодженням повітря між компресорами.

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

Продовж. табл. 1.1

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску	Частота струму, Гц
Агрегати потужністю 145...400 МВт						
SGT5-3000E (V94.2A)	"Siemens AG"	184,2	35,7	1425	14,0	50
SGT5-4000F (V94.3A)		272,4	38,2	1465	17,2	50
GT13E2	"ALSTOM S.A."	172,2	36,4	—	15,4	50
GT24		187,7	37,0	1528	32,0	60
GT26		280,9	38,3	1528	32,0	50
M501F	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	181,7	36,3	1620	16,0	60
M701F		264,9	37,4	1620	17,0	50
M501G		258,7	38,3	1770	20,0	60
M701G		327,3	38,7	1770	21,0	50
M501H		284,2	40,7	1770	25,0	60
M701H		359,7	40,7	1770	25,0	50
PG7241FA	"General Electric Co."	171,7	36,4	1603	16,0	60
PG7251FB		184,4	37,0	1645	18,0	60
PG9171E		126,1	33,8	1397	12,6	50
PG9231EC		169,1	34,9	1477	14,0	50
PG9351FA		255,6	36,9	1603	17,0	50
PG9001FB		268,0	37,5	1645	18,5	50

2. Привідні газотурбінні агрегати. Призначені для приводу великих механізмів та пристроїв. У даний час використовуються головним чином разом з нагнітачами природного газу компресорних станцій різноманітного призначення: лінійних, дотискних, підземних сховищ. Знаходять також застосування ГТА для приводу насосів нафтопроводів і повітродувки у промисловому виробництві (металургійному та ін.).

Зведені дані щодо пропонованих підприємствами Західної Європи, Америки та Азії привідних ГТА в межах потужностей 0,5...60 МВт наведені в табл. 1.2.

Крім зазначених у табл. 1.2, випускають привідні ГТА на основі двигунів інших виробників такі компанії: "Dresser-Rand Co.", "MTU Friedrichshafen GmbH", "Avio S.p.A.", "Magellan Aerospace Corp.", "Ebara Corp.", "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.", "Bharat Heavy Electricals Ltd." та "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".

Сучасні газотурбінні агрегати

Таблиця 1.2. Характеристики привідних агрегатів

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на вихідному валу двигуна, МВт	ККД на вихідному валу двигуна, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску
Агрегати потужністю 0,5...1,2 МВт					
ST6L-72	"Pratt & Whitney Corp."	0,51	23,4	–	7,0
ST6L-79		0,68	24,7	–	7,4
ST6L-81		0,85	26,0	–	8,5
ST6L-90		1,18	28,0	–	10,0
VPS1 (ASE8)	"Vericor Power Systems Inc."	0,53	21,8	1194	10,5
"Makila TI"	"Turbomeca S.A."	1,16	27,8	1475	9,6
"Saturn 20"	"Solar Turbines Inc."	1,19	24,5	–	6,7
CNT-671MR	"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."	0,50	14,6	–	4,5
CNT-811MR		0,60	16,6	–	7,6
CNT-1081MR		0,80	19,4	–	9,9
CNT-1351M		1,00	18,2	–	8,2
CNT-1621M		1,20	20,0	–	8,2
DF-6	"Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd."	0,55	18,8	–	8,0
DF-10		0,92	18,0	–	8,0
DFL-6		0,55	18,3	–	8,0
DFL-10		0,92	17,5	–	8,0
Агрегати потужністю 1,2...2,5 МВт					
ST18A	"Pratt & Whitney Corp."	1,96	30,2	–	14,0
M1A-11	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	1,30	24,4	1183	9,3
M1A-13		1,54	25,4	1263	9,4
M1A-13CC		1,36	22,8	1283	7,6
M1A-13CC Steam*		2,42	33,6	1283	8,9
M1A-23		2,14	26,1	1413	11,4
M1A-13D		1,55	25,2	1275	9,5
M1A-13X		1,48	25,0	–	9,6
CNT-2002M		1,50	20,1	–	8,1
CNT-2161M	"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."	1,60	20,3	–	9,8
CNT-2701M		2,00	20,0	–	8,2
CNT-3241M		2,40	20,0	–	8,2

* Із подачею пари в проточну частину (цикл Ченга).

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

Продовж. табл. 1.2

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на вихідному валу двигуна, МВт	ККД на вихідному валу двигуна, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску
Агрегати потужністю 2,5...5,0 МВт					
ST30	"Pratt & Whitney Corp."	3,3	32,0	–	16,9
ST40		4,0	33,1	–	16,9
VT4400	"Volvo Aero Corp."	4,4	30,5	1355	12,4
VPS3 (ASE40)	"Vericor Power Systems Inc."	3,3	28,3	1378	8,8
VPS4 (ASE50)		3,8	30,6	1387	10,2
501-KC5	"Rolls-Royce plc"	4,1	29,6	–	9,4
"Centaur 40"	"Solar Turbines Inc."	3,5	27,9	–	10,3
"Centaur 50"		4,6	29,9	–	10,3
M1T-13	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	3,0	25,1	1263	9,4
M1T-13D		3,1	24,8	1275	9,5
M1T-23		4,3	25,7	1403	11,4
CNT-4321M	"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."	3,2	20,3	–	9,8
CNT-4861M		3,6	22,1	–	8,7
Агрегати потужністю 5...11 МВт					
501-KC7	"Rolls-Royce plc"	5,4	31,7	–	13,5
601-KC9		6,7	33,7	–	14,8
601-KC11		8,2	34,0	–	19,4
SGT-200 ("Tornado")	"Siemens AG"	7,7	33,5	1288	12,6
SGT-100 ("Typhoon")		5,0	32,0	1373	13,0
"Taurus 60"	"Solar Turbines Inc."	5,7	31,9	–	12,2
"Taurus 70"		7,7	34,8	–	16,0
"Mars 90"		9,9	33,1	–	16,3
"Mars 100"		11,2	34,0	–	17,4
M7A-01	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	5,6	30,2	1448	12,7
M7A-01D		5,5	29,9	–	12,7
M7A-01ST*		6,7	33,8	1408	12,7
M7A-02		7,1	31,1	1433	15,9
M7A-02D		6,9	30,9	–	15,9

* Із подачею пари в проточну частину.

Сучасні газотурбінні агрегати

Продовж. табл. 1.2

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на вихідному валу двигуна, МВт	ККД на вихідному валу двигуна, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску
Агрегати потужністю 5...11 МВт					
THM 1203A	"MAN Turbo AG"	6,0	23,4	1183	7,6
THM 1304-9		9,0	28,8	1248	10,0
THM 1304-10		9,7	29,2	1248	10,0
THM 1304-11		11,2	31,0	1268	11,3
MS3142J	"General Electric Co."	11,1	26,7	—	7,0
MS3152K		8,8	28,9	—	8,0
GE5-2 (PGT5B)		5,6	31,5	1470	14,6
GE10-2 (PGT10B)		11,7	32,5	—	15,4
Агрегати потужністю 12...20 МВт					
PGT16	"General Electric Co."	14,3	36,3	—	20,2
PGT20		18,1	36,5	—	18,0
LM1600PE		14,3	36,3	—	20,2
LM1600PD		14,3	36,1	—	20,1
LM2000PS		18,0	36,4	—	15,6
LM2000PJ		18,1	36,0	—	15,4
"Titan 130"	"Solar Turbines Inc."	15,3	35,8	—	16,1
SGT-400 ("Cyclone")	"Siemens AG"	13,4	36,2	1533	16,7
SGT-500 (GT35C)		17,1	32,8	—	12,0
L20A	"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."	18,0	35,0	—	18,0
SB60-2	"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."	12,5	29,6	—	12,1
"Coberra 2648"	"Rolls-Royce plc"	15,2	29,4	—	8,8
"Coberra 2656"		15,7	30,3	—	8,8
Агрегати потужністю 22...35 МВт					
FT8	"Pratt & Whitney Corp."	25,9	38,5	—	19,5
FT8-3		28,3	38,7	—	20,2
MFT-8	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	26,8	38,7	—	20,8
FT8 MechPac	"MAN Turbo AG"	26,0	38,6	—	20,3
"Coberra 6556"	"Rolls-Royce plc"	26,0	35,8	—	20,1
"Coberra 6562"		29,5	38,0	—	20,8
"Coberra 6762"		30,2	38,7	—	21,5
"Coberra 6761"		32,6	40,1	—	21,5

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

Продовж. табл. 1.2

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на вихідному валу двигуна, МВт	ККД на вихідному валу двигуна, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску
Агрегати потужністю 22...35 МВт					
PGT25	"General Electric Co."	23,3	37,7	–	17,9
PGT25+		31,4	41,1	–	21,5
MS5382C		28,4	28,9	1240	8,8
MS5432D		32,6	29,4	1260	10,8
MS5002E		30,5	36,0	–	17,0
LM2500PE		23,9	37,6	–	19,5
LM2500PJ		23,2	37,5	–	17,8
LM2500PK		31,4	39,5	–	22,5
LM2500PV		31,4	41,1	–	21,5
DR61	"Dresser-Rand Co."	23,1	37,5	–	18,1
DR61P		31,4	40,5	–	22,1
SGT-600 (GT10B)	"Siemens AG"	25,4	35,1	–	13,9
SGT-700 (GT10C)		30,1	37,3	–	17,4
Агрегати потужністю 40...60 МВт					
"Trent"	"Rolls-Royce plc"	52,5	42,5	–	34,9
LM6000PC	"General Electric Co."	44,3	42,9	–	29,1
LM6000PC SPRINT		47,7	42,9	–	30,3
LM6000PD		43,1	41,8	–	29,3
LM6000PD SPRINT		47,7	42,2	–	30,7
MS6581B		43,5	33,2	1413	12,2

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

Домінуюче положення в галузі корабельного та суднового газотурбобудування займають у цей час компанії "General Electric Co." і "Rolls-Royce plc". Комплектацію та постачання ГТА, створених названими фірмами, здійснює також ряд європейських й азіатських виробників ("Avio S.p.A.", "MTU Friedrichshafen GmbH", "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." і "Kawasaki Heavy Industries, Ltd.").

Певне застосування у суднобудуванні знаходять ГТД, що випускаються "Vericor Power Systems Inc.", "Pratt & Whitney Corp." і "Siemens AG". Також займаються розробкою ГТА цього призначення "Turbomeca S.A." і "Volvo Aero Corp.".

Сучасні газотурбінні агрегати

Характеристики суднових ГТА оригінальних виробників, які в цей час серійно випускаються або готуються до виробництва, наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Характеристики суднових агрегатів

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на вихідному валу двигуна, МВт	ККД на вихідному валу двигуна, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску
Агрегати потужністю 0,5...1,2 МВт					
"Makila TI"	"Turbomeca S.A."	1,20	28,6	1477	9,6
ST6L-72	"Pratt & Whitney Corp."	0,51	23,4	—	7,0
ST6L-79		0,68	24,7	—	7,4
ST6L-81		0,85	26,0	—	8,5
ST6L-90		1,18	28,0	—	10,0
Агрегати потужністю 1,2...2,5 МВт					
ST18A	"Pratt & Whitney Corp."	1,96	30,2	—	14,0
"Eurodyn"	"Turbomeca S.A."	2,39	31,5	1340	18,1
Агрегати потужністю 2,5...5,0 МВт					
ST30	"Pratt & Whitney Corp."	3,3	32,0	—	16,9
ST40		4,0	33,1	—	16,9
LM500	"General Electric Co."	4,5	31,4	—	14,4
TF40	"Vericor Power Systems Inc."	3,0	28,3	1375	8,4
ETF40B		3,7	30,3	—	10,2
TF50A		3,8	30,5	1385	10,2
"Tyne RM1C"	"Rolls-Royce plc"	4,0	30,0	1213	12,5
501-KF5		3,9	27,7	—	10,1
Агрегати потужністю 5...11 МВт					
501-KF7	"Rolls-Royce plc"	5,2	31,9	—	13,4
601-KF9		6,7	33,7	—	14,8
601-KF11		8,2	34,0	—	19,4
Агрегати потужністю 12...20 МВт					
LM1600	"General Electric Co."	14,3	36,6	—	21,4
"Olympus TM3B"	"Rolls-Royce plc"	16,0	27,2	—	10,5
"Spey SM1C"		19,5	37,5	—	21,9
SGT-500 (GT35C)	"Siemens AG"	17,0	32,0	—	12,0

Основні конструктивні типи та характеристики агрегатів

Продовж. табл. 1.3

Назва агрегату або двигуна	Виробник	Потужність на вихідному валу двигуна, МВт	ККД на вихідному валу двигуна, %	Початкова температура газу, К	Міра підвищення тиску
Агрегати потужністю 22...45 МВт					
WR-21*	"Rolls-Royce plc"	25,2	42,3	–	16,2
MT30		36,0	40,9	–	24,0
FT8	"Pratt & Whitney Corp."	24,9	39,0	–	18,8
FT8-3		27,5	39,3	–	19,7
MFT-8	"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."	25,8	38,6	–	20,4
LM2500	"General Electric Co."	24,6	37,4	–	19,3
LM2500+		30,2	39,3	–	22,2
LM6000PC		42,8	41,9	–	28,5
SGT-600 (GT10B)	"Siemens AG"	24,4	34,7	–	14,0
SGT-700 (GT10C)		29,2	36,3	–	17,5

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

У даний час газотурбінним привідним двигуном AGT1500 потужністю 1,1 МВт компанії "Honeywell International, Inc." (до 1999 р. – "AVCO Lycoming Co.") оснащується серійно виготовлюваний американський танк M1 "Abrams". Компаніями "General Electric Co." та "Honeywell International, Inc." спільно (50 на 50 % пайової участі) розробляється танковий двигун нового покоління LV100-5.

1.3. Загальна будова газотурбінних агрегатів

1.3.1. Агрегати простої теплової схеми

Підприємствами Західної Європи, Америки та Азії в цей час випускаються ГТА простого термодинамічного циклу різних конструктивних схем.

Схема на рис. 1.7,*а* – *однокаскадний агрегат із блокованою силовою турбіною* (одновальний ГТА) – порівняно з іншими є конструктивно найпростішою.

* Агрегат із проміжним охолодженням повітря та регенерацією тепла.

Як правило, вона використовується для агрегатів, призначених для експлуатації переважно на одному (номінальному) режимі роботи (наприклад, для приводу генератора електричного струму).

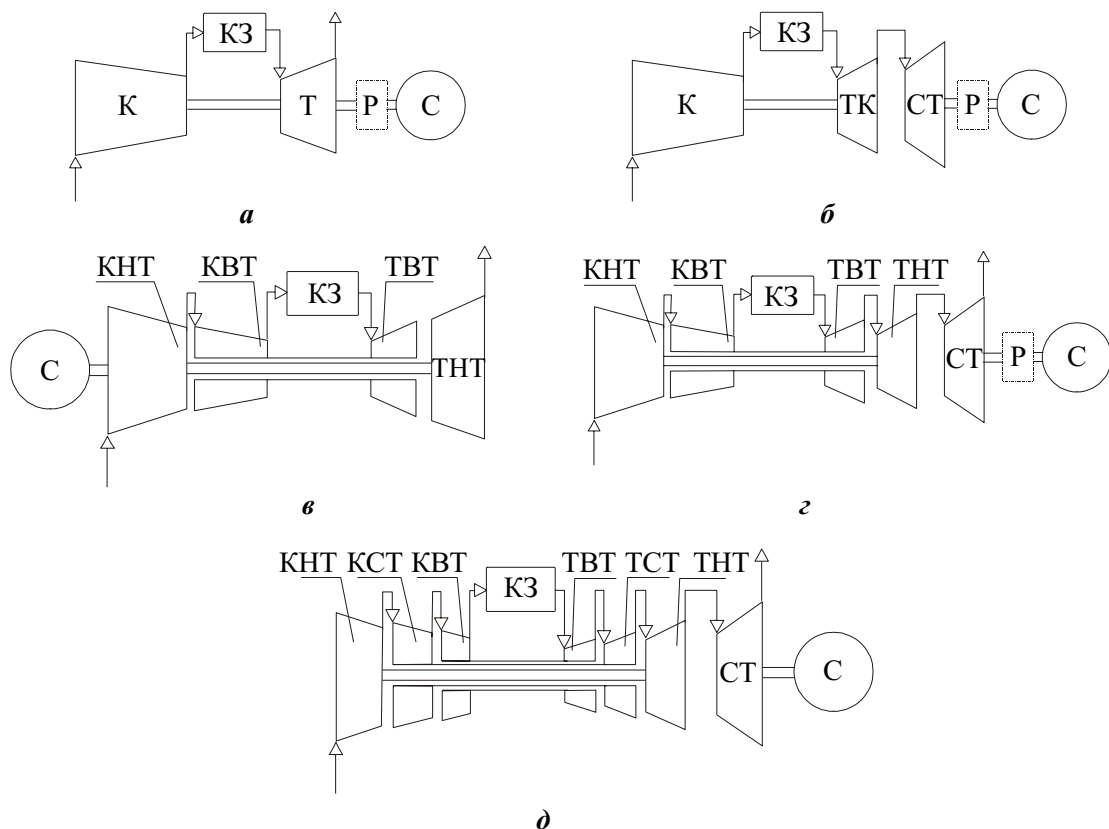


Рис. 1.7. Конструктивні схеми агрегатів простого термодинамічного циклу:

К – компресор; КНТ – компресор низького тиску; КСТ – компресор середнього тиску; КВТ – компресор високого тиску; КЗ – камера згоряння; Т – турбіна; ТК – турбіна компресора; ТВТ – турбіна високого тиску; ТСТ – турбіна середнього тиску; ТНТ – турбіна низького тиску; СТ – силова турбіна; Р – редуктор; С – споживач

Одновальні ГТА потужністю до 80 МВт для зменшення частоти обертання ротора додатково оснащуються редуктором. За такою схемою виконані агрегати GE5-1, GE10-1, PG5371PA та всі "Frame 6" "General Electric Co."; SGT-300 ("Tempest"), SGT-800 (GTX100), SGT-1000F (V64.3A) й енергетичні модифікації SGT-100 ("Typhoon") і SGT-200 ("Tornado") компанії "Siemens AG"; 501-KB5 та 501-KB7 "Rolls-Royce plc"; GT8C і GT8C2 "ALSTOM S.A."; енергетичні версії сімейств "Saturn", "Centaur", "Taurus" та "Titan" виробництва "Solar Turbines Inc."; сімейства "S", M1 і M7, а також ГТА L20A "Kawasaki Heavy Industries, Ltd."; агрегати MF-111, MF-61 та MF-221 "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."; OP16-2AG, OP16-2AL й OP16-3A компанії "OPRA Technologies B.V."; KG2-3C та KG2-3E "Dresser-Rand Co."; H-15 і H-25 "Hitachi, Ltd."; сімейства "DT" та "AT" відповідно компаній "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd." і "Yanmar Co., Ltd.".

Для агрегатів потужністю менше 4 МВт, які мають високі значення частоти обертання ротора, характерним є застосування вбудованого у корпус (здебільшого планетарного) редуктора. Усі інші ГТА оснащуються виносним редуктором.

Одновальні агрегати великої потужності мають частоту обертання ротора, яка відповідає частоті обертання двополюсного електрогенератора, а тому не потребують додаткової зубчастої знижувальної передачі. Для генерації струму **частотою 50 Гц** виготовляються у цей час агрегати SGT5-2000E (V94.2), SGT5-3000E (V94.2A) та SGT5-4000F (V94.3A) компанії "Siemens AG"; GT13E2 і GT26 "ALSTOM S.A."; всі "Frame 9" "General Electric Co."; M701D, M701F, M701G та M701H компанії "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

Для генерації струму **частотою 60 Гц** призначені ГТА SGT6-3000E (W501D5A), SGT6-5000F (W501F) та SGT6-6000G (W501G) компанії "Siemens AG"; усі "Frame 7" "General Electric Co."; GT11N2, GT11NM і GT24 "ALSTOM S.A."; M501D, M501F, M501G та M501H "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

Схема на рис. 1.7,б – *однокаскадний агрегат з вільною силовою турбіною* (двовальний ГТА) – у даний час найбільш розповсюджена. У порівнянні з попередньою схемою конструктивно трохи складніше, проте в ній усунуті властиві їй недоліки. По-перше, відсутність безпосереднього механічного зв'язку між компресором і споживачем сприяє нормалізації роботи компресора на режимах часткового навантаження, а також протягом пуску й зупинки. По-друге, істотно полегшується запуск двигуна, який традиційно здійснюється розкручуванням ротора турбокомпресора стороннім механічним приводом. По-третє, частота обертання вільної силової турбіни в багатьох випадках може бути обрана відповідною частоті обертання ротора споживача, що виключає необхідність використання редуктора.

Крім названих переваг, поширенню цієї схеми також чимало сприяла зручність створення подібних агрегатів на основі авіаційних ТРД, коли до базового однокаскадного газогенератора приєднується додатково розроблена вільна силова турбіна.

Зазначені переваги визначили головну галузь використання таких ГТА – привід різних механізмів і пристроїв (компресорів, насосів та ін.), а також рушіїв кораблів ВМФ і комерційних суден. Певне застосування знайшли ці агрегати й як енергетичні.

За двовальною схемою з вільною силовою турбіною виконані газотурбінні агрегати GE5-2, GE10-2, LM500, LM2000, LM2500, LM2500+, PGT20, PGT25, PGT25+, а також більшість "Frame 3" та "Frame 5" компанії "General Electric Co."; "Mars 90", "Mars 100" і привідні версії сімейств "Saturn", "Centaur", "Taurus" та "Titan" виробництва "Solar Turbines Inc."; агрегати типу "501", "601", "Coberra 2648", "Coberra 2656" й "Avon" компанії "Rolls-Royce plc"; SGT-400 ("Cyclone"), SGT-600 (GT10B), SGT-700 (GT10C) та привідні модифікації ГТА SGT-100 ("Typhoon") і SGT-200 ("Tornado") виробництва "Siemens AG"; сімейство

ST6L канадської філії "Pratt & Whitney Corp."; DR61 та DR61P "Dresser-Rand Co."; THM 1203 і THM 1304 "MAN Turbo AG"; TF40, ETF40B, TF50A, VPS3 (ASE40) та VPS4 (ASE50) компанії "Vericor Power Systems Inc."; "Makila TI" (TM1600) й "Eurodyn" (TM2500) виробництва "Turbomeca S.A.", а також VT4400 "Volvo Aero Corp." і привідні двигуни типу "DF" та "DFL" компанії "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd."

Необхідно відзначити, що незважаючи на наявність вільної силової турбіни деякі фірми-розробники (наприклад, "Rolls-Royce plc", "Siemens AG", "General Electric Co.", "Vericor Power Systems Inc.", "Pratt & Whitney Corp." та ін.) для зниження частоти обертання вихідного вала додатково використовують редуктор. Це доповнення дозволяє без істотних переробок використовувати привідні двигуни як енергетичні. До таких належать, наприклад, агрегати "Avon", SGT-400 ("Cyclone"), SGT-600 (GT10B), SGT-700 (GT10C), VT4400, PGT20, PGT25, PGT25+, сімейство ST6L, "Mars 90", "Mars 100", VPS3 (ASE40), VPS4 (ASE50), сімейства "501" і "601" та ін.

Деякі ГТА виготовляються з виводом привідного вала силової турбіни вбік компресора, що дозволяє забезпечити відвід відпрацьованих газів через осьовий і бічний газовідводи залежно від виконання (наприклад, VPS3, VPS4 та сімейство TF "Vericor Power Systems Inc.").

Схема на рис. 1.7,в – двовальний агрегат із блокованою силовою турбіною – застосовується нечасто, оскільки, маючи більш складну будову порівняно з одновальним ГТА, водночас із цим не усуває його недоліків на часткових режимах роботи. У цей час єдиним серійно виготовлюваним ГТА подібного типу є LM6000 "General Electric Co.". Турбіна низького тиску (ТНТ) агрегату водночас виробляє потужність і для приводу компресора низького тиску (КНТ), і для приводу споживача. Її частота обертання (3600 об/хв) дозволяє використовувати цей ГТА як енергетичний без додаткового редуктора. Необхідно відзначити, що LM6000 знаходить застосування також як привідний та судновий (на судах з електричною передачею потужності) агрегати. Незвичайна ж (за нинішніх часів) конструкція LM6000 пояснюється його походженням від авіаційного турбовентиляторного двигуна CF6-80C2.

За схемою на рис. 1.7,г – двокаскадний агрегат з вільною силовою турбіною (тривальний ГТА) – в даний час створюється більшість транспортних агрегатів (суднових і танкових). Поділ компресора на два окремих, механічно не пов'язаних між собою каскади дозволяє значно підвищити його стійкість та ефективність при роботі на часткових навантаженнях, які для транспортних агрегатів займають більшість експлуатаційного часу.

Ускладнення конструкції (а разом із цим збільшення вартості та зменшення надійності) виправдовує себе лише в тому випадку, якщо прибуток від одержуваних переваг буде досить високим. Тому використання цієї схеми для енергетичних та привідних цілей, у принципі, не є економічно вигідним. Існування ж тривальних

агрегатів цього призначення пояснюється їхньою конвертацією із серійно виготовлюваних (а значить недорогих і надійних) авіаційних або суднових ГТД.

За тривальною схемою в цей час виконуються суднові агрегати "Tyne RM1C", "Olympus TM3B", "Spey SM1C" та MT30 компанії "Rolls-Royce plc"; FT8, FT8-3, ST18A, ST30 і ST40 "Pratt & Whitney Corp."; LM1600 "General Electric Co."; SGT-500 (GT35C) "Siemens AG" та MFT-8 "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

До числа промислових ГТА цього типу можна віднести PGT16 та LM1600 "General Electric Co."; FT8, FT8-3, ST18A, ST30 і ST40 "Pratt & Whitney Corp."; SGT-500 (GT35C) "Siemens AG"; MFT-8 "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.", а також різні енергетичні й привідні версії агрегату RB211 компанії "Rolls-Royce plc".

Необхідно відзначити, що енергетичні модифікації PGT16, LM1600, ST18A, ST30, ST40, MFT-8, а також RB211 додатково оснащуються редуктором.

У даний час єдиними прикладами схеми на рис. 1.7, *д* – *трикаскадний агрегат з вільною силовою турбіною* (чотиривальний ГТА) – є різні модифікації двигуна "Trent" компанії "Rolls-Royce plc". Цей ГТД складається з конвертованого газогенератора авіаційного турбовентиляторного двигуна того ж найменування й вільної силової турбіни. Число ступенів окремих компресорів складає відповідно 2, 8 і 6. Три каскади компресора забезпечують загальну міру підвищення тиску 35. (Більше значення має лише агрегат із проміжним охолодженням повітря LMS100 "General Electric Co.")

Ефективність ГТА, виконаних за простою тепловою схемою, істотно залежить від їхньої потужності, фірми-виробника, а також давності створення та може змінюватися в межах від 15...26 % (як у двигунів потужністю 0,8...1,0 МВт) до 38...42 % (двигуни потужністю 25 МВт і вище).

За конструктивним типом усі енергетичні, привідні та суднові ГТА, що випускаються підприємствами країн Західної Європи, Америки й Азії, можна класифікувати на *авіаційні* та *промислові*.

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

Характерними 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 у 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.

Агрегати промислового типу створювалися підприємствами на базі розвинутого паротурбінного виробництва. Тому характерними їхніми рисами є виконання кожного структурного елемента в окремому корпусі із зовнішніми

газоповітряними комунікаціями, встановлення корпусів турбоагрегатів на окремих опорах, застосування підвального компонування ГТА тощо.

Слід відзначити, що переважна більшість компаній створювали своє стаціонарне газотурбінне виробництво, ґрунтуючись на авіаційному газотурбобудуванні. Енергетика, механічний привід і суднобудування були лише додатковими галузями застосування газотурбінної техніки, яку ці компанії раніше освоїли для авіації.

До числа провідних підприємств, які тривалий час традиційно випускали ГТА промислового типу, можна віднести науково-виробничий центр у м. Ерланген і Берлін (Німеччина), що належить "Siemens AG", та науково-виробничий центр у м. Баден і Маннгейм компанії "ALSTOM S.A." (раніше належав "Brown Boveri Ltd."). Проте, успішний розвиток авіаційного турбобудування привів до того, що навіть ці підприємства, починаючи з 90-х років, відмовилися від подібного компонування ГТА та перейшли до типово авіаційної компонувальної схеми.

1.3.2. Агрегати складних теплових схем

Серед газотурбінних агрегатів складної теплової схеми домінуючим типом сьогодні є **агрегат з утилізацією тепла відпрацьованих газів**. Широко в промисловості та теплоенергетиці застосовуються *парогазові установки*, в яких отримана внаслідок утилізації пара використовується для вироблення додаткової кількості механічної енергії в паровій турбіні.

Ці установки можуть виконуватися *багатовальними* чи *одновальними*. Найбільш перспективною в даний час вважається одновальна схема, характерною рисою якої є розміщення ГТД і парової турбіни в одну лінію зі спільним валом, який приводить у дію один спільний генератор. Типова послідовність розташування встаткування такого енергоблока наступна: двигун – електрогенератор – муфта, що самопереключається і самосинхронізується – парова турбіна. Муфта даного типу забезпечує можливість цілком незалежної роботи ГТД.

Перевагами одновальної схеми є порівняно невеликий зайнятий простір і висота будівлі, короткі терміни будівництва, висока експлуатаційна гнучкість, незалежний запуск ГТД, висока оперативна готовність до виробництва електроенергії.

Типовими прикладами використання такої схеми є парогазові установки KA11N2-1 компанії "ALSTOM S.A."; SCC-1000F 1S, SCC5-3000E 1S, SCC5-4000F 1S та SCC6-6000G 1S "Siemens AG", а також S109H "General Electric Co."

Парогазові установки провідних світових виробників випускаються з теплоутилізаційними контурами двох або трьох тисків, що дозволяє більш глибоко здійснювати утилізацію тепла відпрацьованих газів і максимально підвищити ефективний ККД. Установки з контурами трьох тисків найчастіше виконуються з проміжним перегрівом пари. Прикладами ПГУ трьох тисків із проміжним перегрівом пари є установки KA26-1, KA26-2, KA24-1, KA24-2 компанії "ALSTOM S.A."; SCC6-5000F 1×1, SCC6-5000F 2×1, SCC6-6000G 1S, SCC6-6000G 2×1 та SCC5-3000E 1S виробництва "Siemens AG"; більшість ПГУ з двигунами "Frame 7" і "Frame 9" останніх модифікацій "General Electric Co."

У деяких ГТА для збільшення потужності та підвищення ККД передбачається подача отриманої при утилізації пари безпосередньо в проточну частину ГТД (так званий *цикл Ченга*). Подібні ГТА серійно випускаються "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." (M1A-13CC Steam та M7A-01ST), "Rolls-Royce plc" (501-KH5) і деякими іншими фірмами.

Масового поширення набули в країнах досліджуваного регіону так звані *когенераційні установки*, які забезпечують спільне вироблення електричної та теплової (в котлі-утилізаторі у вигляді пари чи гарячої води) енергії. Електрична потужність у таких установках визначається потужністю ГТД, а величина теплової потужності може змінюватися в широких межах унаслідок вибору відповідної схеми теплоутилізаційного контуру (парового чи водяного, спільно парового та водяного або контуру, оснащеного додатковою камерою згоряння тощо).

Когенераційні установки мають високе значення коефіцієнта використання хімічної енергії палива (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.

Необхідно відзначити, що масове впровадження парогазових та когенераційних технологій у теплоенергетиці забезпечує підвищення техніко-економічних показників устаткування, приводить до значної економії паливно-енергетичних ресурсів, зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище, сприяє подальшому розвитку енергомашинобудування.

Дуже обмежений характер в останні десятиліття носить застосування агрегатів інших типів складних теплових схем.

Розповсюджені в 50–70-х роках **ГТА з регенерацією тепла відпрацьованих газів** у другій половині 70-х років стали поступово витіснятися ПГУ, які забезпечували більшу ефективність. Із серійно виготовлюваних у даний час агрегатів цього типу можна назвати розроблений у рамках програми "Advanced Turbine Systems" Департаменту енергетики США енергетичний агрегат "Mercury 50" потужністю 4,6 МВт компанії "Solar Turbines Inc.". Агрегат виконаний одновальним (рис. 1.8,*а*); стискання повітря здійснюється в 10-ступінчастому осьовому компресорі; потужність на привід компресора і корисна потужність генеруються двоступінчастою осьовою турбіною. При початковій температурі газу 1436 К і мірі підвищення тиску 9,9 ефективний ККД агрегату складає 38,5 %.

Компаніями "General Electric Co." і "Honeywell International, Inc." спільно розробляється танковий ГТД нового покоління LV100-5 потужністю 1120 кВт (див. рис. 1.8,*б*). Компресор двигуна однокаскадний, складається із чотирьох осьових та одного відцентрового ступенів. Потужність генерується одноступінчастою турбіною компресора і двоступінчастою вільною силовою турбіною.

Із 1979 р. компанією "AVCO Lycoming Co." (а згодом "Honeywell International, Inc.") серійно виготовляється танковий газотурбінний двигун AGT1500 потужністю 1120 кВт (див. рис. 1.8,*в*). Двигун має тривальну схему. Міра регенерації становить 0,70.

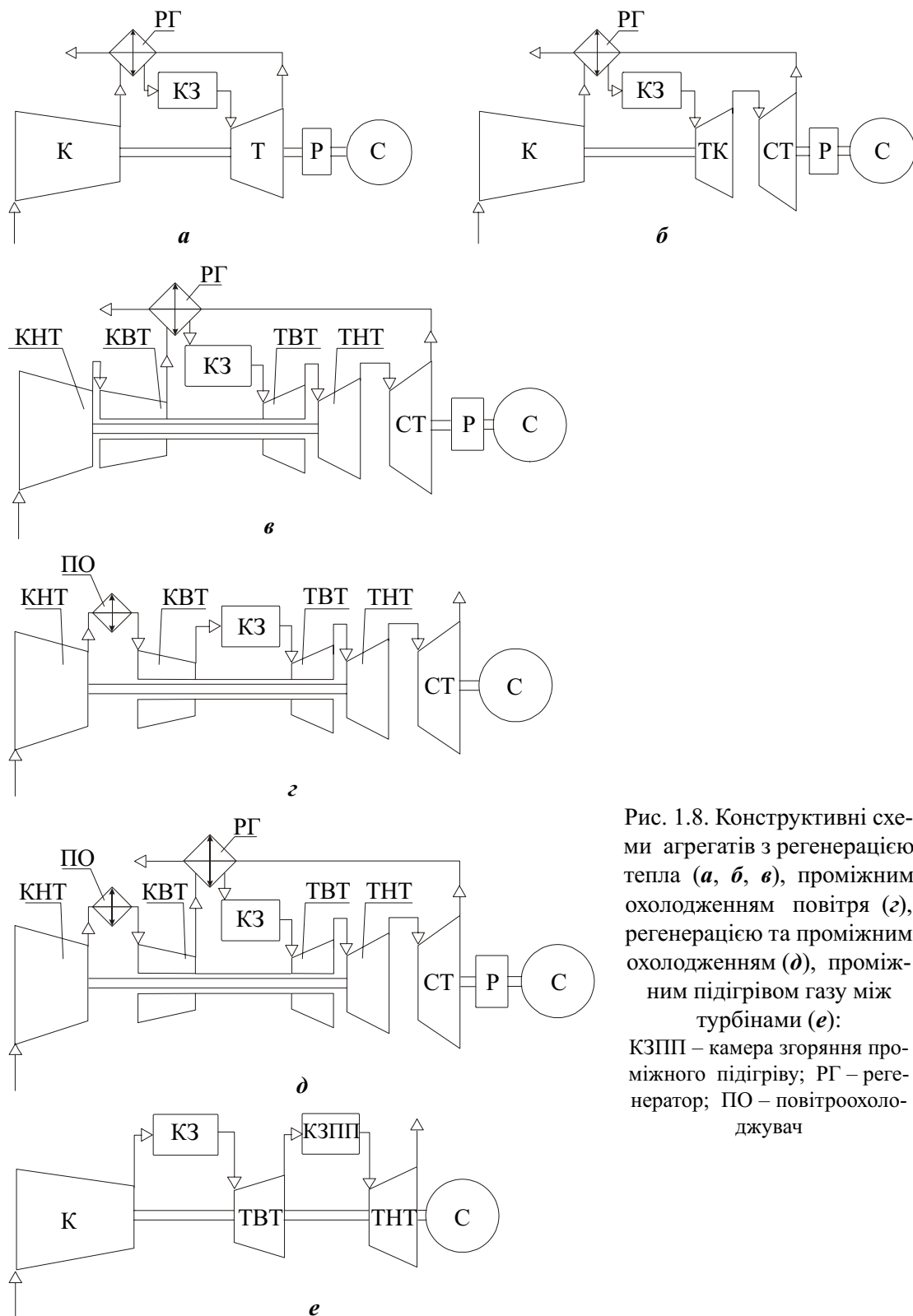


Рис. 1.8. Конструктивні схеми агрегатів з регенерацією тепла (а, б, в), проміжним охолодженням повітря (г), регенерацією та проміжним охолодженням (д), проміжним підігрівом газу між турбінами (е):
 КЗПП – камера згоряння проміжного підігріву; РГ – регенератор; ПО – повітроохолоджувач

Певний (проте, дуже обмежений) попит мають дотепер регенеративні модифікації агрегатів "Frame 3" та "Frame 5" компанії "General Electric Co."

Іноді за схемою з регенерацією тепла відпрацьованих газів можуть виконуватися двигуни малої потужності (до 1 МВт). До таких, наприклад, належать привідні й енергетичні ГТД сімейства "CNT" (CNT-625ER, CNT-750ER, CNT-1000ER та ін.), що випускаються підприємством "Niigata Power System Co., Ltd.", яке входить з 2003 р. до складу компанії "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."

У грудні 2003 р. "General Electric Co." представила свій новий газотурбінний агрегат LMS100 (див. рис. 1.8,з) номінальною потужністю 100 МВт, характерною рисою якого є використання теплової схеми з **проміжним охолодженням повітря між компресорами**. Сьогодні це єдиний у світі серійно виготовлюваний агрегат подібного типу. Проміжне охолодження дозволило збільшити міру підвищення тиску повітря до 40, що в сукупності з початковою температурою газу 1653 К забезпечило ККД 45,5 %.

У 90-х роках "Rolls Royce plc" разом із "Westinghouse Electric Corp." за замовленням військово-морського відомства Департаменту оборони США створила судновий газотурбінний агрегат WR-21 (див. рис. 1.8,д) потужністю 25 МВт, який повинен був замінити на флоті двигун LM2500 "General Electric Co.". Із метою підвищення ефективності були застосовані **водночас проміжне охолодження повітря між компресорами та регенерація тепла відпрацьованих газів**. Незважаючи на високі показники ефективності (42,3 % на номінальному режимі та 41,4 % на режимі 0,4 від номінального) й успішно проведені в 1999–2000 рр. тестові випробування, замовлень на його виготовлення поки не отримано.

Єдиним зразком **ГТА з проміжним підігрівом газу між турбінами** є геометрично подібні двигуни GT24 і GT26 (див. рис. 1.8,е), розроблені компанією "ALSTOM S.A.". Для останнього з них потужністю 287 МВт ККД складає 39,0 % (при початкових параметрах газу 1528 К і 3,2 МПа). Позитивною якістю такої теплової схеми є те, що зростання ККД не супроводжується збільшенням початкової температури газу, а значить ускладненням системи охолодження проточної частини турбіни і зростанням емісії оксидів азоту. Компанія "ALSTOM S.A." вважає, що послідовне спалювання палива сьогодні є найбільш інноваційною технологією для створення малоemisійних високопродуктивних ГТА.

Контрольні завдання

1. *Охарактеризуйте основні етапи розвитку газотурбобудування в країнах Західної Європи, Америки та Азії.*
2. *Поясніть основні галузі застосування ГТД.*
3. *Проаналізуйте номенклатуру і характеристики привідних ГТА, що пропонуються провідними світовими виробниками.*

Сучасні газотурбінні агрегати

- 4. Дайте характеристику судновим і танковим агрегатам, виготовлюваним у країнах Західної Європи, Америки та Азії.*
- 5. Проаналізуйте номенклатуру і характеристики енергетичних ГТА, що пропонуються провідними світовими виробниками.*
- 6. Охарактеризуйте конструктивні схеми сучасних агрегатів простого термодинамічного циклу.*
- 7. Розкрийте особливості конструктивного виконання стаціонарних ГТА авіаційного та промислового типів.*
- 8. Дайте характеристику сучасним агрегатам складних теплових схем.*
- 9. Проаналізуйте етапи розвитку і сучасний стан застосування парогазових технологій в енергетиці країн Західної Європи, Америки та Азії.*



Розділ 2. АГРЕГАТИ ВИРОБНИЦТВА ПІДПРИЄМСТВ ЗАХІДНОЇ ЄВРОПИ

На сьогодні основними європейськими виробниками промислових і суднових газотурбінних агрегатів є компанії "Siemens AG" (Німеччина), "ALSTOM S.A." (Франція) та "Rolls-Royce plc" (Великобританія).

У своєму складі "Siemens AG" має чотири науково-виробничих центри, розташованих у Німеччині, Швеції, Великобританії та США (раніше частина "Westinghouse Electric Corp."). У власність концерну "ALSTOM S.A." в 2000 р. перейшло найстаріше у світі турбобудівне виробництво, що раніше належало фірмі "Brown Boveri Ltd." (Швейцарія). Англійська корпорація "Rolls-Royce plc", об'єднавши в собі із часом усі авіадвигунобудівні компанії Великобританії, має величезний потенціал для розвитку стаціонарного газотурбобудування, а також є одним із провідних світових виробників суднових ГТА.

Певний попит мають агрегати, які розробляються і серійно виготовляються такими європейськими підприємствами, як "MAN Turbo AG" (Німеччина), "OPRA Technologies B.V." (Нідерланди), "Turbomeca S.A." (Франція) та "Volvo Aero Corp." (Швеція). Компанії "MTU Friedrichshafen GmbH" (Німеччина), "Avio S.p.A." й "Ansaldo Energia S.p.A." (Італія), "Centrax Ltd." (Великобританія) та "Turbomach S.A." (Швейцарія) займаються головним чином комплектацією і постачанням ГТА на базі двигунів інших виробників. Необхідно відзначити, що на території Європи знаходяться також виробничі потужності, що належать американським компаніям "General Electric Co." і "Dresser-Rand Co.".

Розташування основних центрів промислового та суднового газотурбобудування на території Західної Європи показано на рис. 2.1.1.



Рис. 2.1.1. Розташування основних центрів промислового і суднового газотурбобудування на території Західної Європи

2.1. "Siemens AG" (Німеччина)

SIEMENS	<i>Повне найменування:</i> "Siemens Aktiengesellschaft". <i>Штаб-квартира:</i> м. Мюнхен, Баварія, Німеччина. <i>Чисельність працюючих:</i> більше 420 тис. чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

Історія компанії бере свій початок з 1 жовтня 1847 р., коли два німецьких інженери **Вернер Сіменс** та **Йоганн Георг Гальске** (рис. 2.1.2) створили в Берліні підприємство "**Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske**" з виробництва і монтажу електричного телеграфного встаткування. Першим серйозним замовленням, яке принесло компанії широку популярність, було прокладання на початку 1849 р. першої в Європі електричної телеграфної лінії (500 км) між резиденцією пруського уряду в Берліні та Франкфуртом-на-Майні, куди після революції 1848 р. переїхав німецький парламент. Сфера діяльності підприємства незабаром доповнилася виробництвом електричних сигнальних установок для залізниці, електромедичних приладів та іншим електротехнічним устаткуванням.

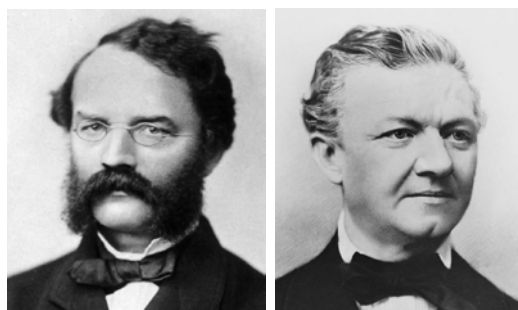


Рис. 2.1.2. Вернер Сіменс (1816–1892)
та Йоганн Гальске (1814–1890)

Винятково важливе значення для подальшого існування компанії мало освоєння ринку Російської імперії. У 1851 р. "Siemens & Halske" поставляють у Росію перші 75 телеграфних апаратів. У 1852 р. компанія будує підземну телеграфну лінію Петербург – Оранієнбаум, у 1853 р. – підводну телеграфну лінію Оранієнбаум – Кронштадт. У 1853–1856 рр. прокладаються кабелі Гатчина – Варшава,

Москва – Київ, Київ – Одеса, Одеса – Севастополь. Росія стала другою батьківщиною для Карла Сіменса (молодшого брата В. Сіменса), який протягом тривалого часу очолював російське відділення компанії.

Величезним досягненням компанії "Siemens & Halske" стало прокладання наприкінці 60-х років XIX ст. індоєвропейської телеграфної лінії від Лондона до Калькутти (приблизно 11000 км). У 1874 р. підприємство прокладає і вводить в експлуатацію свій перший трансатлантичний кабель між Англією й Америкою. У наступні 10 років з Європи до США компанія проводить ще п'ять трансатлантичних ліній.

В історії підприємства 1866 рік ознаменувався найбільш значним винаходом

Вернера Сіменса – розробкою принципу дії електричного генератора постійного струму, серійне виробництво якого почалося через 12 років після цього. У 1879 р. Сіменс закінчує розробку і демонструє створений ним електродвигун постійного струму. Перші зразки цієї техніки поставлялися компанією для підприємств гірничодобувної та металургійної промисловості. До 1887 р. "Siemens & Halske" була єдиною німецькою фірмою, що спеціалізувалася на виробництві подібної продукції.

У 1897 р. компанія перетворюється в акціонерне товариство **"Siemens & Halske Aktiengesellschaft"**.

У 1902 р. "Siemens & Halske AG" здобуває контрольний пакет акцій свого головного конкурента на ринку електровстаткування – компанії "Schuckert" (м. Нюрнберг) і створює на її місці свою філію "Siemens Schuckertwerke GmbH". За такою ж схемою надалі створюються філії "Siemens Nixdorf Informations systeme AG" та ін.

З 1903 р. компанія за ліцензією починає виготовляти парові турбіни, які у сукупності з генераторами електричного струму використовуються для створення енергогенеруючих установок. У 1916 р. "Siemens & Halske AG" випускає найпотужніший на той час у світі паротурбогенератор (50 МВт).

Для об'єднання зусиль з метою підвищення конкурентоздатності випускної продукції три провідні німецькі компанії "Siemens & Halske AG", "AEG" та "Auer AG" у 1919 р. здійснюють злиття приналежних їм підприємств із виробництва електроламп, засновуючи "OSRAM GmbH".

У післявоєнний період у зв'язку з територіальним поділом Німеччини штаб-квартира корпорації в 1949 р. була перенесена з Берліна в Мюнхен, штаб-квартира підприємства "Siemens Schuckertwerke GmbH" – в Ерланген. Незважаючи на понесені в останні роки війни руйнування і втрату підприємств, які залишилися після поділу на території НДР, "Siemens & Halske AG" уже в 1950 р. досягає рівня виробництва 1936 р.

У 1966 р. проводиться реорганізація компанії. Підприємства "Siemens Schuckertwerke GmbH" і "Siemens Reiniger Werke AG" номінально ліквідуються, їхні виробничі потужності стають підрозділами корпорації, яка одержує нове найменування – **"Siemens AG"**.

У 1969 р. енергомашинобудівні підприємства, які раніше входили до складу компаній "Siemens AG" та "AEG-Telefunken", виділяються в окремий підрозділ, який одержав найменування **"Kraftwerk Union AG" ("KWU")**. У 90-х роках на його основі створюється департамент **"Siemens Power Generation"**.

У 1998 р. до складу "Siemens AG" входить енергомашинобудівне відділення американської корпорації "Westinghouse Electric Corp.", зокрема підприємства в мм. Орlando (парові турбіни та газотурбінні агрегати), Чарлотт (турбінне встаткування, електрогенератори), Форт Пейн (електроенергетичне встаткування), Атланта (системи керування і контролю), Піттсбург (паливні елементи).

У 2001 р. до складу корпорації вливається компанія "Demag Delaval Industrial Turbomachinery", яка спеціалізувалася на виробництві компресорів і парових турбін, із заводами в мм. Дуйсбург (Німеччина), Трентон (США), Барода (Індія), Хенгело (Нідерланди), Таубат (Бразилія).

У 2003 р. "Siemens AG" здобуває турбобудівні центри в мм. Лінкольн (Великобританія) і Фінспонг (Швеція), які раніше належали корпорації "ALSTOM S.A.". Унаслідок цього закінчується формування ряду потужностей виготовлених компанією ГТА, який тепер визначається межами 4...265 МВт. У цей же період у корпорації "ALSTOM S.A." купуються підприємства в Німеччині й Чехії, пов'язані з виробництвом парових турбін потужністю до 100 МВт.

До повного впровадження придбаного турбобудівного бізнесу в складі "Siemens AG" виконання зобов'язань за договорами "ALSTOM S.A." було покладено на підрозділ компанії "Siemens Demag Delaval Industrial Turbomachinery".

На сьогодні корпорація "Siemens AG" представлена в 190 країнах світу. У 2004 р. загальний обсяг реалізованої нею продукції склав 80,8 млрд євро. До головних напрямків діяльності належать:

- створення технічних засобів автоматизації, комутаційної та електромонтажної техніки;

- інформатика і зв'язок (розробка корпоративних, фіксованих, мобільних мереж зв'язку; послуги для операторів зв'язку; створення безпроводних модулів);

- енергетика (розробка й створення установок та пристроїв для виробництва електроенергії з використанням органічного палива; постачання встаткування, комплексних рішень і послуг з передачі електроенергії від електростанції до споживача);

- медицина (асортимент виготовлюваного медичного встаткування нараховує більше 7000 виробів);

- транспорт (виробництво електровозів та тепловозів, приміських і високошвидкісних електропоїздів, пасажирських вагонів, трамваїв; інжиніринг; ремонтне обслуговування й модернізація; проектний та фінансовий менеджмент);

- освітлення (філія корпорації "OSRAM GmbH" випускає свою продукцію на 57 підприємствах у 18 країнах).

У рамках "Siemens AG" виробництвом устаткування для електростанцій, які використовують органічне паливо і поновлювані джерела енергії; створенням новітніх автоматизованих систем керування технологічними процесами; наданням інжинірингових послуг з проектування та будівництва електростанцій, а також розробкою систем контролю за встаткуванням і компонентами в процесі експлуатації займається підрозділ **"Siemens Power Generation"**.

Основною продукцією підрозділу є ГТД й установки на їхній основі; парові турбіни та агрегати (потужністю 1...1900 МВт); енергетичні установки, що використовують біомасу; електротехнічні засоби керування і контролю; паливні

елементи; генератори електричного струму; вітроенергетичні агрегати; турбонагнітачі*.

У 2005 р. обсяг продажів "Siemens Power Generation" склав 8,06 млрд євро, загальна кількість нових замовлень оцінювалася в 11 млрд євро; кількість співробітників його підприємств становила 33,5 тис. чол. Штаб-квартира підрозділу знаходиться в м. Ерланген (Баварія, Німеччина).

Розробкою та створенням ГТА енергетичного й привідного призначення займаються науково-виробничі центри компанії, розміщені в м. Ерланген і Берлін (Німеччина), Орландо (США), Лінкольн (Великобританія) та Фінспонг (Швеція).

Після проведеної в 2005 р. реорганізації газотурбінного виробництва найменування виготовлюваних двигунів були уніфіковані. У даний час першими символами в позначенні є букви "SGT" ("Siemens Gas Turbine"). Наприклад, SGT-100 (раніше "Typhoon"), SGT-600 (раніше GT10B), SGT5-3000E (раніше V94.2A).

Уніфікації піддалися також найменування виготовлюваних ПГУ. Усі вони сьогодні починаються з букв "SCC" ("Siemens Combined Cycle").

2.1.1. Науково-виробничий центр у м. Ерланген і Берлін (Німеччина)

Цей центр є базовим для компанії "Siemens AG" у галузі виробництва газотурбінної техніки**. Науково-дослідні лабораторії зосереджені в м. Ерланген, завод з виготовлення ГТА знаходиться в Берліні.

Фірма "Siemens AG" почала підготовчі роботи з організації газотурбінного виробництва в 1952 р., коли були зняті обмеження, накладені на розвиток деяких галузей німецької промисловості в післявоєнний період. Випуск перших двигунів відбувся в 1955 р.

У 1963 р. компанія освоїла випуск одновальних енергетичних ГТД потужністю 25...32 МВт, що працювали на газоподібному і рідкому паливах. Перший агрегат **VM80** потужністю 24 МВт був поставлений у м. Зендлінг у вересні 1961 р. У травні 1963 р. там же встановлюється вдосконалена модифікація цього ГТА потужністю 25,9 МВт. Підвищення потужності при одночасному збільшенні ККД із 24,0 до 24,4 % було досягнуто за рахунок підвищення початкової температури газів із 993 до 1023 К.

За період до 1975 р. був виготовлений ряд схожих за основними конструктивними принципами агрегатів простої теплової схеми, у т. ч. потужністю 32,0/33,6 МВт (**V82**) і 55,9 МВт (**V93**).

Перший агрегат V82 потужністю 32 МВт, призначений для приводу електрогенератора, поставляється у Кувейт у травні 1969 р. При початковій

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційних сайтах: <http://www.siemens.ru> та <http://www.powergeneration.siemens.com>.

** Ерланген – місто в Баварії з населенням 102 тис. чол. (1992 р.). Адреси підприємств: Freyeslebenstrasse 1, 91058 Erlangen, Germany та Huttenstrasse 12, 10553 Berlin, Germany.

температурі газів 1053 К та мірі підвищення тиску 6,7 його ККД складав 26,2 %.

Перші два агрегати V93 кожний потужністю 55,9 МВт були введені в експлуатацію на піковій електростанції м. Мальмьо (Швеція) у жовтні 1970 р. Початкові параметри газу – 1073 К та 0,85 МПа – забезпечили ККД 27,9 %.

Типовою для газотурбінних двигунів компанії "Siemens AG" сьогодні стала компонувальна схема, розроблена ще для перших її ГТД у 60-х роках. Двигуни виконуються як одновальні агрегати із загальним для компресора і турбіни зовнішнім силовим корпусом. Компресор і турбіна – осьові багатоступінчасті (відповідно 15...17 і 4...5 ступенів). Напрямні апарати більшості компресорних і соплові апарати турбінних ступенів установлюються в обоймах, які підвішуються в зовнішньому корпусі. Ротор турбокомпресора збірної конструкції та складається (умовно) з ротора компресора, проміжної частини ротора барабанного типу і ротора турбіни. Диски роторів компресора і турбіни мають центральні отвори, взаємно центруються радіальними торцевими шліцами типу "Хірт" і стягуються центральною стяжкою. Ротор двохопорний, гнучкий. Перше критичне число обертання складає приблизно 60 % від номінального. Привід електрогенератора здійснюється з боку компресора; вихід газів із турбіни осьовий. До середини 90-х років двигуни комплектувалися двома виносними вертикальними камерами згоряння, які поєднувалися з корпусом ГТД бічними відводами. У верхній їхній частині жарові труби захищені від полум'я керамічними пластинами.

У 90-х роках підприємство в співтоваристві з американською компанією "Pratt & Whitney Corp." розробило нову серію двигунів, яка одержала найменування "3A" (V84.3A, V94.3A, V64.3A та V94.2A). Головною конструктивною особливістю стало використання кільцевої вбудованої камери згоряння без зони змішання, обладнаної гібридними паливними пальниками. Температура газу за камерою згоряння досягла 1700 К. Із 1996 по 2006 рр. було виготовлено 120 подібних агрегатів, які напруцювали в сумі близько 2,7 млн год.

Після входження в 1998 р. до складу "Siemens AG" енергомашинобудівного відділення американського концерну "Westinghouse Electric Corp." підприємство припинило виробництво ряду двигунів, зокрема V84.2 (потужність 109 МВт; ККД 33,5 %, серійно випускався з 1985 р.) та V84.3A (170 МВт; 37,5 %) для ринку енергомереж із частотою струму 60 Гц.

У 2004 р. науково-виробничий центр почав роботи зі створення нового високоефективного двигуна нового покоління (модифікація "H") потужністю 340 МВт, який одержав найменування **SGT5-8000H**.

* * *

Сьогодні науково-виробничий центр у мм. Ерланген і Берлін для генерування електричного струму частотою 50 та 60 Гц поставляє ГТА й установки в трьох основних комплектаціях: "Econopac", "Power Island" і "Complete power plant".

Основу цих агрегатів складають наступні **двигуни простої теплової схеми** власного виробництва:

SGT-1000F (до 2005 р. – V64.3A) потужністю 68 МВт, ККД 35,1 % для енергомереж частотою 50 і 60 Гц;

SGT5-2000E (V94.2) (163 МВт; 34,5 %; 50 Гц);

SGT5-3000E (V94.2A) (188 МВт; 36,4 %; 50 Гц);

SGT5-4000F (V94.3A) (278 МВт; 39,0 %; 50 Гц).

Газотурбінні агрегати комплектації **"Есопорас"** ("Economical Package") містять у собі наступні основні елементи (рис. 2.1.3):

1) газотурбінний двигун (транспортується повністю зібраним);

2) електрогенератор і безщітковий збуджувач струму (оснащені спільною системою змащення та поставляються разом із необхідним допоміжним устаткуванням єдиним блоком; переважно використовуються генератори з повітряним охолодженням і лише для ГТД V94.3A поставляють генератор із водневим охолодженням);

3) комплект електричного та контрольного встаткування, необхідний для поточного контролю й моніторингу двигуна та генератора (містить у собі, як правило, мікропроцесорну розподільну систему керування типу "ТХРТМ", центри керування двигуном, релейну панель захисту генератора, регулятор напруги, протипожежну контрольну систему і пристрій зарядження акумуляторних батарей);

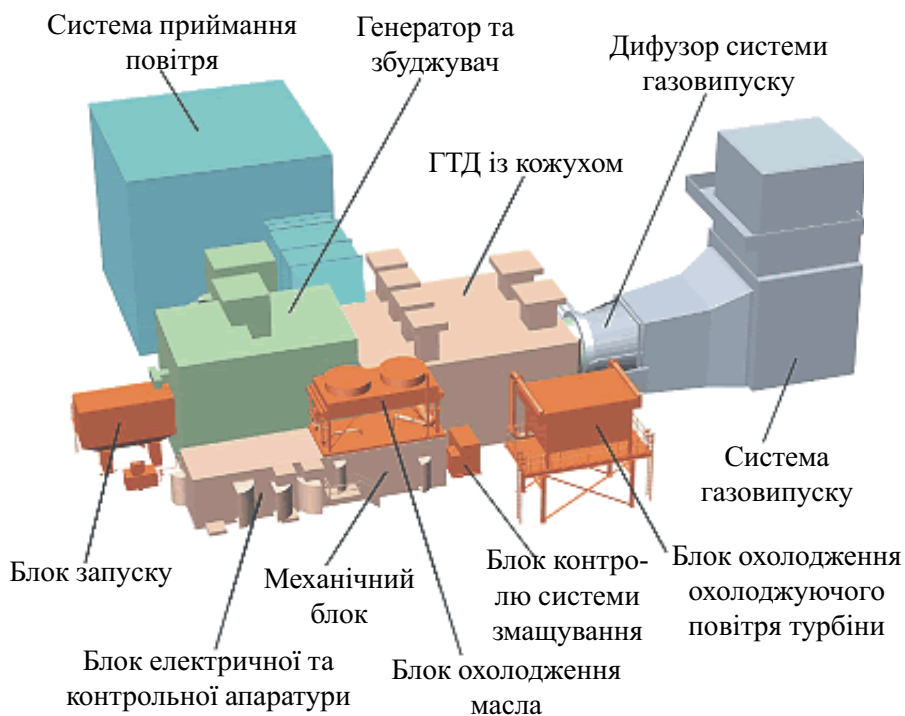


Рис. 2.1.3. Схема агрегату типу "Есопорас"

- 4) систему запуску (пусковий електродвигун поставляється окремим блоком);
- 5) систему приймання повітря (оснащена шумоглушниками; у стандартну комплектацію входить також двоступінчастий фільтр очищення повітря);
- 6) систему газовипуску (оснащена системою шумоглушіння; для розширення комплектації передбачена можливість додаткового розміщення в газоході утилізаційного парогенератора);
- 7) механічний блок (містить у собі спільну для двигуна та генератора систему змащення, систему вентиляції зовнішнього корпусу ГТД, контрольні елементи цих систем);
- 8) блок паливних агрегатів (головні компоненти паливної системи розташовані всередині кожуха двигуна; передбачені контрольні елементи для місцевого моніторингу системи);
- 9) блок охолоджувальних пристроїв (повітряний маслоохолоджувач розміщений на поверхні механічного блока; повітроохолоджувач охолоджуючого повітря турбінної частини ГТД розташований поруч із газовипускною шахтою; передбачена можливість розміщення додаткових охолоджувальних пристроїв для установок комбінованого циклу);
- 10) блок трубопровідних пристроїв (призначений для скорочення часу монтажних робіт; складається з окремих частин трубопроводів і арматури, необхідних для з'єднання в єдине ціле окремих модулів ГТА).

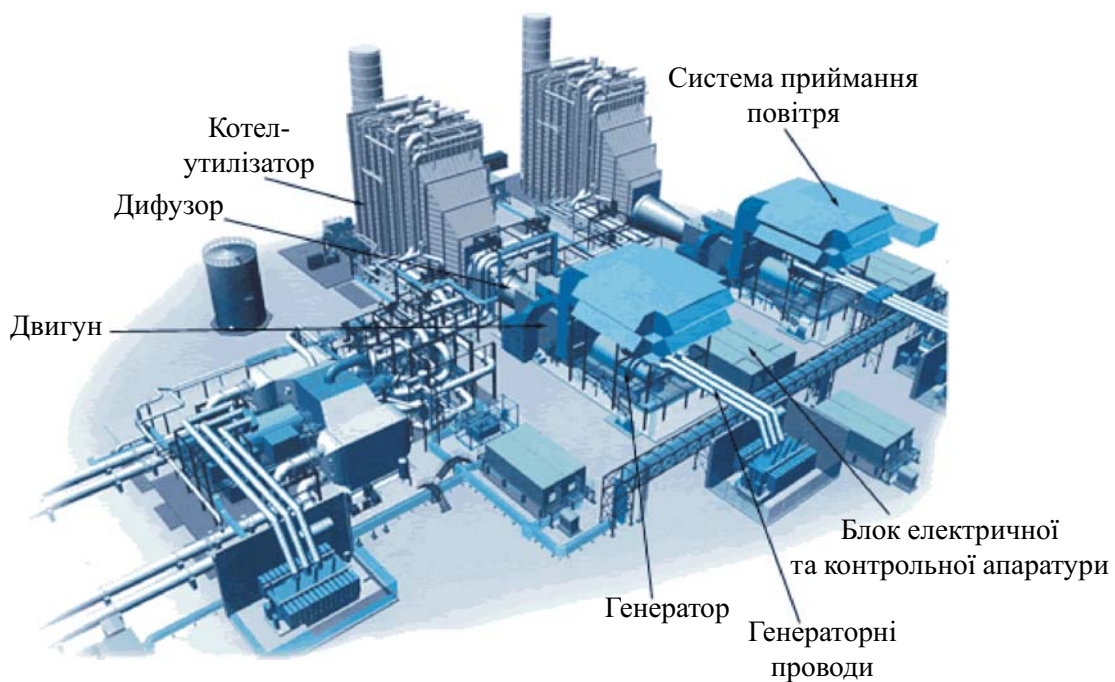
На основі ГТД науково-виробничий центр організував випуск **парогазових установок** бінарного термодинамічного циклу. Ці установки можуть виконуватися багатовальними (рис. 2.1.4,*а*) або одновальними (див. рис. 2.1.4,*б*). У першому випадку в найменуванні ПГУ вказуються число газотурбінних двигунів та число парових турбін (наприклад, "1×1" чи "2×1"). У другому випадку в назві установки з'являється додаткова буква "S" ("single shaft")*.

Постачання парогазових установок здійснюється в комплектації "Power Island" або "Complete power plant".

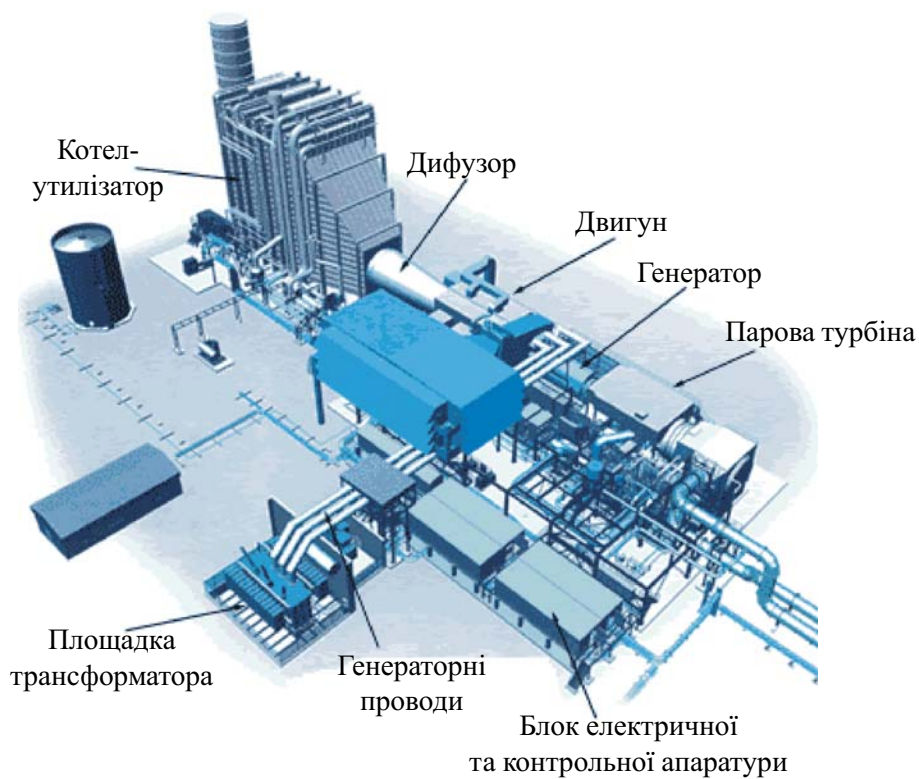
Стандартна комплектація ПГУ типу "**Power Island**" містить у собі наступні основні елементи: газотурбінний двигун, повітроприймний пристрій, систему пожежної безпеки ГТД, газовипускний пристрій, котел-утилізатор, основні насоси, регулювальну апаратуру, парову турбіну, конденсатор, генератори струму та систему запуску.

Комплектація типу "**Complete power plant**" додатково містить у собі систему збереження і підготування палива, трубопроводи й арматуру, систему підготування конденсату, резервуар збереження конденсату, електровстаткування, допоміжний трансформатор, механізми переключення низької та середньої напруги, аварійне джерело енергії, розподільну і контрольну систему, будівлю центральної станції керування, вантажопідйомні пристрої, протипожежну систему ПГУ, додаткові будівлі.

* Раніше для маркування своїх ПГУ компанія використовувала торговий знак "GUD" ("Gas und Dampf" – "Газ і Пара").



a



б

Рис. 2.1.4. Схеми багатовальної та одновальної парогазових установок

Крім того, у постачання можуть бути включені додаткові елементи, необхідність яких обумовлюється специфікою місця експлуатації ПГУ: станція зниження тиску паливного газу, повітроохолоджувальний конденсатор, однопотокова система охолодження, резервуар для збереження непідготовленої води, установка для одержання конденсату, додаткові засоби шумоглушіння, додаткова система зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах, механізми переключення електроживлення високої напруги.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун SGT-1000F (V64.3A)

Одновальний енергетичний двигун SGT-1000F (рис. 2.1.5), який до 2005 р. мав назву V64.3A, є подальшою розробкою моделі V64.3 із використанням технології "3A", що була раніше застосована компанією "Siemens AG" при створенні SGT5-4000F (V94.3A)*. Двигун добре пристосований для роботи у складі енергоблоків як промислового, так і муніципального застосування. Високоєфективним є його використання для енергопостачання автономних мереж. Характерними показниками SGT-1000F є високі надійність і готовність до введення в дію, а також зручність обслуговування.

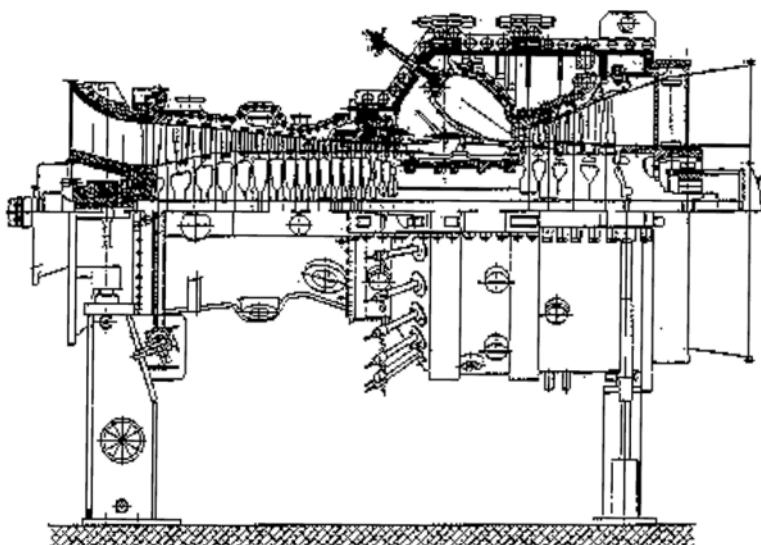


Рис. 2.1.5. Двигун SGT-1000F (V64.3A)

* Модель двигуна V64.3 потужністю 60 МВт та ККД 33,3 % серійно виготовлялася з 1990 р. і мала традиційне для компанії "Siemens AG" компоновання з двома виносними вертикальними ("бункерними") камерами згоряння, які поєднуються з корпусом ГТД бічними відводами. Перший двигун сімейства V64 потужністю 50 МВт був представлений у 1988 р., проте широкого застосування не отримав.

Двигун має, у цілому, типову для компанії конструктивну схему з двохопорним ротором, відводом потужності з боку компресора й осьовим вихлопом відпрацьованих газів. Ротори компресора і турбіни – дискові, складені. Окремі диски центруються між собою радіальними торцевими шліцами типу "Хірт" і поєднуються за допомогою центральної стяжки. Застосування ефективної зубчастої передачі, яка відзначається мінімальними втратами енергії, дозволяє використовувати двигун для генерування промислового струму частотою 50 і 60 Гц, для чого забезпечується зниження частоти обертання до 3000 або 3600 об/хв.

Конструктивними особливостями SGT-1000F є 17-ступінчастий осьовий компресор, кільцева камера згоряння з 24-ма гібридними пальниками, 4-ступінчаста турбіна, використання кераміки у складі теплової ізоляції, турбінні лопатки з термобар'єрним покриттям і плівковою системою охолодження, можливість оглядання гарячих частин двигуна без його розкриття, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах, яка при роботі на газоподібному паливі не перевищує 25 ppm.

Основні технічні параметри SGT-1000F становлять: номінальна потужність на вихідному фланці редуктора – 67,7 МВт, ККД на вихідному фланці редуктора – 35,1 %, витрата робочого тіла – 191 кг/с, міра підвищення тиску – 15,8, початкова температура газу – 1463 К, температура газу за ГТД – 856 К, частота обертання ротора – 5400 об/хв, маса – 110 т, довжина – 11,0 м, ширина – 4,0 м, висота – 4,8 м.

У порівнянні з попередньою моделлю V64.3 збережена відстань між опорами ротора. Унаслідок збільшення потужності ГТД, а отже, зростання осьових навантажень з'явилася необхідність посилення упорного підшипника. Досвід експлуатації V64.3 показав доцільність зменшення кількості поворотних напрямних апаратів компресора з трьох до одного. Для досягнення рівномірного осьового руху повітря за компресором додані ряд спрямних лопаток і перепрофільований вихідний дифузор. Застосування кільцевої камери згоряння дозволило більш компактно скомпонувати ГТД, зменшити кількість компресорного повітря, яке відбирається на охолодження, забезпечити більш рівномірне поле температур газу на вході до турбіни. У 4-ступінчастій осьовій турбіні неохолоджуваними залишилися тільки робочі лопатки останнього ступеня.

Роботи зі створення двигуна були, у цілому, закінчені до 1996 р. У розробці конструкції й випробуваннях брали участь також фахівці італійської компанії "Ansaldo Energia S.p.A.". Перший SGT-1000F був введений у комерційну експлуатацію у складі когенераційної установки на електростанції "Altbach Deizisau" у Німеччині в 1997 р. За даними 2005 р. було продано 30 двигунів SGT-1000F. В експлуатації знаходилися також два ГТД V64.2 та 45 двигунів моделі V64.3. Із загальної кількості 16 представників сімейства V64 працювали на підприємствах Німеччини, 12 – Індонезії, 8 – Об'єднаних Арабських Еміратів, 7 – Італії, 5 – США. Вартість одного SGT-1000F на той час оцінювалася в 14,5...15,5 млн дол.

На основі двигуна SGT-1000F "Siemens AG" випускає парогазові установки бінарного термодинамічного циклу **SCC-1000F 1S** та **SCC-1000F 2×1**. Ці установки оснащені утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари. Парові турбіни для них виготовляються на заводі "Siemens AG" у м. Мюлхайм (Німеччина).

Установка SCC-1000F 1S виконана одновальною. Її питома вартість (за цінами 2005 р.) становить 550...560 дол./кВт; орієнтовна вартість SCC-1000F 2×1 – 490...500 дол./кВт.

Основні технічні характеристики ПГУ на основі SGT-1000F наведені нижче:

	SCC-1000F 1S	SCC-1000F 2×1
Потужність, МВт:		
на клеммах генератора	100,8	201,2
ГТД	66,7	131,4
паротурбінної частини	36,2	74,0
ККД на клеммах генератора, %	52,6	52,5
Частота струму, Гц	50/60	

Двигун SGT5-2000E (V94.2)

Двигун SGT5-2000E (рис. 2.1.6), який до 2005 р. мав назву V94.2, є добре апробованим одновальним двигуном, призначеним для роботи як у складі агрегатів простої теплової схеми, так і комбінованих ПГУ. Ефективно його використовувати для всіх режимів навантаження мережі, у т. ч. і як піковий енергетичний модуль.

Для агрегатів, що працюють у циклі з вугільною газифікацією, "Siemens AG" поставляє модифікацію V94.2K, яка відрізняється дещо зміненою конструкцією компресора.

Серійне виробництво SGT5-2000E ведеться з 1981 р. За цей період параметри агрегату неодноразово поліпшувалися. Технічні характеристики виготовлюваного в даний період двигуна наведені в табл. 2.1.1.

Таблиця 2.1.1. Характеристики двигунів сімейства V94

Параметри	SGT5-2000E (V94.2)	SGT5-3000E (V94.2A)	SGT5-4000F (V94.3A)
Номінальна потужність на вихідному валу, МВт	163	188	278
ККД на вихідному валу, %	34,5	36,4	39,0
Витрата робочого тіла, кг/с	527	519	671
Міра підвищення тиску	11,8	14,0	17,2
Температура газу, К:			
початкова	1333	1425	1465
за ГТД	815	854	855
Частота обертання турбіни, об/хв	3000		
Маса, т	295	320	330
Габарити, м	14,0×12,5×8,4	12,0×6,0×7,4	12,5×6,1×7,5

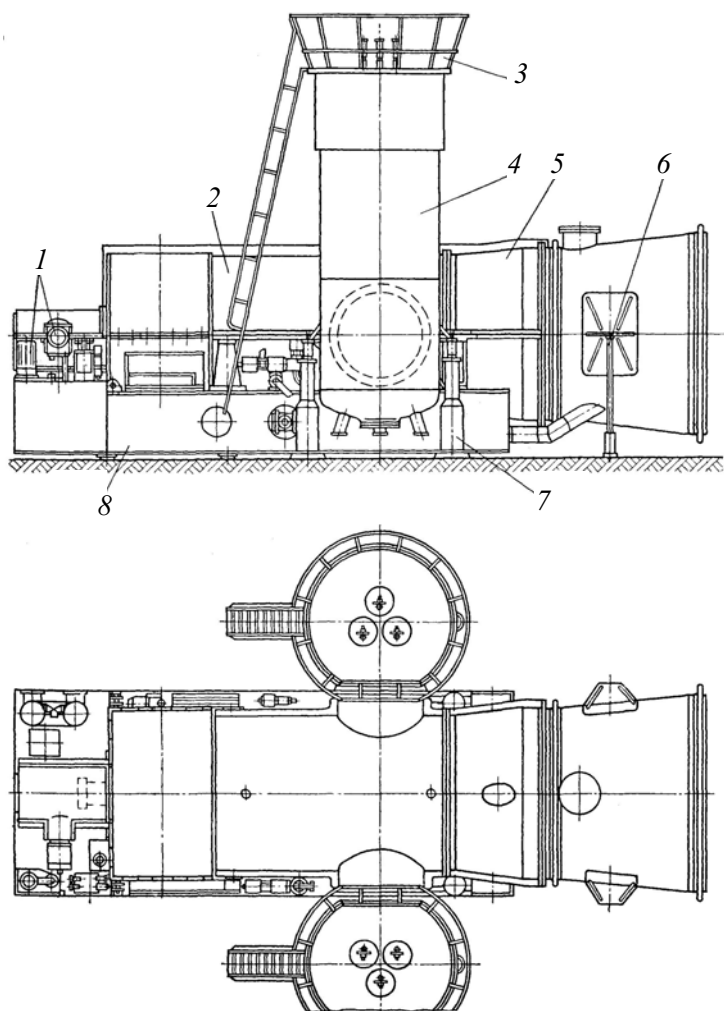


Рис. 2.1.6. Двигун SGT5-2000E:

1 – масляні насоси; 2 – компресор; 3 – площадка обслуговування; 4 – КЗ; 5 – турбіна;
6 – опорний стояк; 7 – опорний стояк КЗ; 8 – рама турбокомпресора

Висока надійність і довговічність роботи SGT5-2000E підкріплюються результатами експлуатації більше 160 агрегатів, які виконали (на початок 2005 р.) приблизно 70 тис. пусків та напрацювали більше 4,8 млн год. Наробіток окремих ГТД до капітального ремонту складає 41 тис. год.

Конструктивними особливостями двигуна (рис. 2.1.7) є корпус із горизонтальним розніманням, 16-ступінчастий осьовий компресор із поворотними напрямними лопатками, додаткові швидкоповоротні вхідні напрямні лопатки для режиму максимального навантаження і стабілізації частоти генерувального струму, два входи в камери згоряння для огляду їхньої гарячої частини без попереднього розкриття, покриття камер згоряння індивідуально замінними керамічними плитками, 4-ступінчаста турбіна, можливість заміни всіх робочих лопаток на місці

(без виїмки ротора), низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах, гібридні форсунки камери згоряння для попереднього змішання і дифузійного режиму, які працюють на природному газі, легких та важких сортах рідкого палива, а також на залишкових продуктах перегонки нафти.

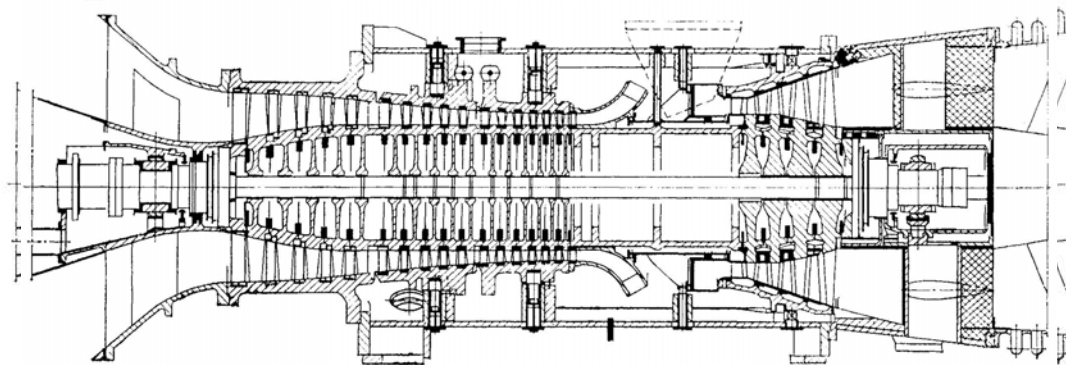


Рис. 2.1.7. Подовжній переріз двигуна SGT5-2000E

Двигун має спільні двохопорний ротор компресора і турбіни та циліндричний силовий корпус. До корпусу з постійним зовнішнім діаметром за всією довжиною за допомогою вертикального фланця приєднані всмоктувальна камера компресора й осьовий дифузор турбіни.

Вхід повітря у компресор відбувається зверху. Вхідний патрубок компресора – кільцевий, потік у ньому повертається на 90° , повітря засмоктується із спільної камери (шахти). Вихлоп із турбіни – осьовий. У дифузорі, що розташований за турбіною, відновлюється до 80 % енергії вихідної швидкості; ККД компресора становить 88...89 %, турбіни – 89...90 %.

Ротор складається з дисків, які несуть робочі лопатки, двох кінцевих частин та полої проміжної (між компресором і турбіною) вставки, стягнута між собою центральним болтом. Диски ротора центруються хіртами. Стяжний болт, щоб уникнути вібрації, спирається на диски в декількох місцях. Відстань між опорами (осями підшипників) становить близько 8,5 м. Ротор гнучкий, перша критична частота обертання – близько 1550 об/хв. Диски турбіни охолоджуються повітрям, яке після виходу з компресора надходить у внутрішню порожнину ротора, проходить у просторі між дисками і викидається в проточну частину, створюючи плівку, яка захищає ніжки лопаток.

Передній підшипник двигуна спирається через ребра на вхідний корпус компресора, жорсткість якого підвищена шляхом збільшення товщини стінок та встановлення прямо в нього, а не в обойму (як у двигуна V94) п'яти перших рядів напрямних лопаток.

Напрямні лопатки інших ступенів компресора та соплові лопатки турбіни вставлені в обоймах, що вільно спираються на лапи, які є в площині горизонтального рознімання, і центруються штифтами, пов'язаними через букси із зовнішнім корпусом. Вони також сприймають осьове зусилля. Обойма турбіни

в осьовому положенні зафіксована в зовнішньому корпусі буртом. Вона ізольована від тракту гарячих газів і охолоджується зсередини повітрям. Радіальні зазори в проточній частині становлять: на вході до компресора – 1,9...2,3 мм; на виході з нього – 2,8 мм; у 1-му та 4-му ступенях турбіни відповідно – 4 і 5 мм.

Соплові та робочі лопатки турбіни виготовляють точним литтям і при роботі на рідкому паливі захищають корозійно-стійкими покриттями. Лопатки чотирьох перших вінців охолоджуються повітрям.

Корпус ГТД, обойми напрямних апаратів компресора та соплових апаратів турбіни мають спільне горизонтальне фланцеве рознімання. Напрямні лопатки компресора вставлені в кільцеві проточки обойм і оснащені бандажними полицями з радіальними ущільненнями. Соплові лопатки турбіни введені своїми виступами в кільцеві проточки виступів обойми і мають подовжені полиці, які з'єднуються послідовно із суміжним рядом лопаток. Нижні кінці перших трьох рядів соплових лопаток турбіни вставлені в напівкільцеві коробчасті діафрагми, які мають радіальні ущільнення стосовно кільцевих поверхонь на виступах дисків турбіни. Лопатки останнього (4-го) ряду мають бандажні полиці з радіальними ущільненнями.

Корпус двигуна має два бічних відводи з вертикальними фланцями, до яких приєднані перехідні повітроводи, що подають повітря до двох виносних вертикальних камер згоряння (рис. 2.1.8). Останні розраховані для роботи на газоподібному і рідкому паливі з переключенням з одного на інше під час роботи ГТД. Відстань між осями камер згоряння – 8,28 м.

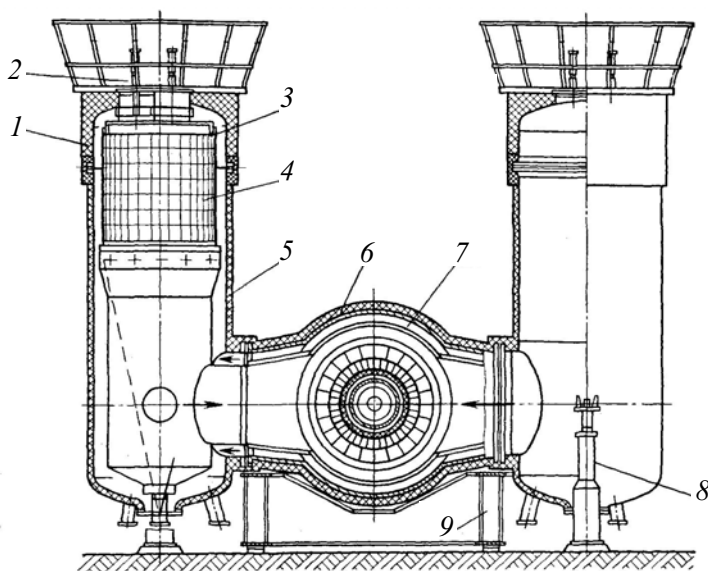


Рис. 2.1.8. Поперечний переріз двигуна SGT5-2000E:

- 1 – ізоляція; 2 – палиник; 3 – жарова труба; 4 – керамічні пластини; 5 – зовнішній корпус КЗ;
6, 7 – зовнішній та внутрішній корпуси турбіни відповідно; 8 – опорний стояк КЗ;
9 – рама турбокомпресора

Продукти згоряння до соплового апарата 1-го ступеня подаються з кільцевого колектора, до якого підходять два бічних газоходи від камер згоряння. Кільцевий колектор виготовляється з аустенітної сталі, зовнішня його поверхня охолоджується потоком повітря, яке виходить з дифузора компресора, а внутрішня, звернена до ротора поверхня – спеціально організованим потоком повітря, яке підмішується до газів безпосередньо перед лопатками турбіни.

Діаметр топкового об'єму двигуна дорівнює 2,23 м. Жарова труба футерована зсередини керамічними плитками. Максимальний наробіток без ушкоджень і заміни окремих плиток склав 50 тис. год.

Для підвищення міцності та жорсткості вхідні патрубки турбін виконані без горизонтального рознімання і знімаються разом із ротором, а їхня форма та конструкція обойм турбіни змінені (у порівнянні з модифікацією V94) таким чином, щоб патрубков не перешкоджав зняттю верхньої половини обойми при розбиранні.

Корпус турбокомпресорної групи має спільну зварену фундаментну раму, яка складається з поєднаних болтами трьох окремих частин і є водночас маслобаком агрегату. Кожна з камер згоряння спирається на дві пружинні вертикальні стояки, встановлювані безпосередньо на фундамент.

Транспортування ГТД здійснюється окремими блоками (корпус турбогрупи з ротором, камера згоряння, вихідний дифузор, фундаментна рама з трьох частин і т. д.). Пуск ГТД здійснюється дизелем, поєднаним із ротором турбокомпресора за допомогою гідравлічної муфти через редуктор.

При пуску двигуна температура газів перед турбіною не перевищує 770 К. Тривалість розкручування ГТД до номінальної частоти обертання при нормальному пуску становить 4...5 хв, при прискореному – 2 хв. Необхідна потужність пускового пристрою при нормальному пуску – 2,6 МВт, при прискореному – 5,3 МВт. Відповідно, тривалість роботи пускового пристрою становить 8 та 3 хв.

Усе керування агрегатом цілком автоматизовано, у т. ч. передбачений автоматичний перехід без зупинки електрогенератора з режиму вироблення електроенергії на режим синхронного компенсатора (за допомогою спеціальної автоматично синхронізуючої муфти).

Двигун SGT5-3000E (V94.2A)

На основі SGT5-2000E (V94.2) із використанням деяких технологій SGT5-4000F (V94.3A) був створений наступний двигун сімейства – SGT5-3000E (V94.2A), який одержав від попередніх модифікацій як багато характерних конструктивних рис, так і типово високі експлуатаційні показники (рис. 2.1.9). Це робить його ідеальним для промислового і муніципального застосування.

Особливості нового двигуна обумовлені деякою зміною конструкції компресора, внесеною з метою поліпшення його ефективності й експлуатаційних

характеристик, а також заміною виносної камери згоряння на кільцеву*. У порівнянні з двигуном SGT5-2000E (V94.2) збільшена до 14 міра підвищення тиску в компресорі, витрата повітря через компресор зросла на 2,4 %, підвищилася температура газу перед турбіною, перші два ступеня турбіни були виконані за технологією "3A".

Ресурс SGT5-3000E до капітального ремонту залежно від різних умов експлуатації становить 33... ..41 тис. год.

Висока ефективність створених на основі SGT5-3000E парогазових установок обумовлена використанням теплоутилізаційного контуру трьох тисків, а також системи попереднього підігріву палива.

Роботи зі створення двигуна почалися в 1997 р. Перший ГТД був введений у дію у складі когенераційної установки на електростанції заводу "BASF" у Людвігсхафені (Німеччина) у грудні 2004 р.

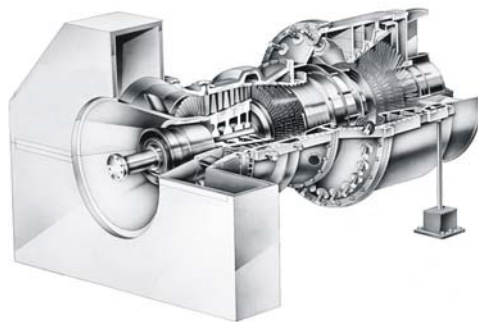


Рис. 2.1.9. Двигун SGT5-3000E (V94.2A)

Двигун SGT5-4000F (V94.3A)

Характерними рисами одновального двигуна SGT5-4000F (V94.3A), створення якого проводилося з використанням деяких технологій американської компанії "Pratt & Whitney Corp.", є зручна в експлуатації конструкція та висока ефективність перетворення енергії, яка обумовила зменшену витрату палива і низьку собівартість виробництва електроенергії. Останнє було досягнуто за рахунок оптимізації режимів течії потоку в компресорних і турбінних каналах та використання нової ефективної системи охолодження.

Конструктивними особливостями SGT5-4000F (рис. 2.1.10) є кільцева камера згоряння, оснащена гібридними пальниками, керамічне покриття камери згоряння,

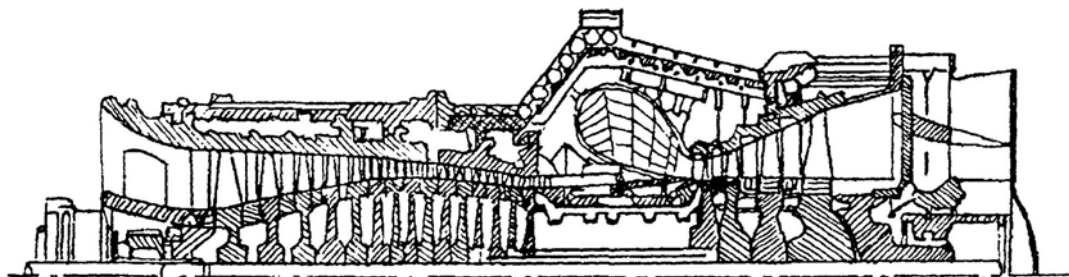


Рис. 2.1.10. Подовжній переріз двигуна SGT5-4000F (V94.3A)

* Див. опис двигуна SGT5-4000F (V94.3A).

15-ступінчастий осьовий компресор, монокристалічні турбінні робочі лопатки з термобар'єрним покриттям і плівковим охолодженням, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах.

У порівнянні з попередніми модифікаціями двигуна істотно збільшена напірність компресорних ступенів. Це стало наслідком меридіонального проектування проточної частини з великим викривленням внутрішньої поверхні та збільшенням діаметра від 1-го до 5-го ступеня, що забезпечило велику суму колових швидкостей. Унаслідок цього, зростання міри підвищення тиску до 17 призвело навіть до зниження загального числа компресорних ступенів.

Корпус компресора – цілком симетричний. Жорсткість його центральної частини збільшена камерою відбирання повітря з 5-го ступеня. Металомісткість і конструкція корпусу забезпечують приблизно такі ж радіальні та осьові температурні переміщення, що й у дискового ротора, чим досягається збереження оптимальних зазорів протягом роботи. Напрявні лопатки перших восьми ступенів вставлені безпосередньо в корпусі компресора; напрявні лопатки останніх семи ступенів, які працюють при більш високій температурі, вставлені в обоймі, яка закріплена й відцентрована у корпусі в чотирьох точках за колом таким чином, щоб остаточні зазори в проточній частині можна було регулювати ззовні корпусу.

Вхідний напрямний апарат компресора – поворотний. Існує декілька точок відбирання повітря з проточної частини для оптимального охолодження статора і ротора турбіни (останнього крізь канали в дисковому роторі компресора). Будь-яка лопатка компресора може бути вилучена без виїмки ротора.

Канали проточної частини і лопатки компресора оптимізовані з урахуванням тривимірності течії в різних відсіках. Вільно закріплені лопатки відрізняються більшим закручуванням і збільшеною хордою біля периферії. Профілі з регульованою дифузорністю, які були використані в попередніх модифікаціях ГТД лише для робочих лопаток 1-го ступеня, застосовані в SGT5-4000F у всій проточній частині компресора. Вони забезпечують рівномірне зменшення швидкостей потоку в каналах і товщини пограничного шару на спинці профілів.

Профілі напрямних апаратів біля периферії та кореня відкоректовані з урахуванням зміни кутів потоку в пограничному шарі. Більш клиноподібна вхідна кромка і закруглена спинка зменшують зростання швидкостей, вирівнюють уповільнення потоку та запобігають зривам пограничного шару навіть біля вихідної кромки. Унаслідок поліпшення течії біля торцевих поверхонь вторинні втрати зменшуються.

Ротор турбогрупи – дисковий, з однією центральною стяжкою, спирається на два підшипники. Привід електрогенератора здійснюється з боку компресора; вихід газів із турбіни – осьовий.

Головною відмінністю SGT5-4000F від попередніх двигунів цього сімейства є заміна двох виносних камер згоряння на кільцеву, вбудовану в корпус турбогрупи. Це рішення було обумовлене переходом фірми "Siemens AG" з 1986 р. на

використання гібридних пальників попереднього змішання. Температура полум'я цих пальників значно нижче, а довжина факелу є меншою. До жовтня 1994 р. 89 двигунів компанії різних модифікацій, оснащених такими пальниками, напрацювали на природному газі в сумі більше 1 млн год. Із 1990 р. у деяких модифікаціях почали експлуатуватися пальники попереднього змішання на рідкому паливі. Таким чином були створені умови для застосування компактної кільцевої камери згоряння без зони змішання.

У камері згоряння двигуна SGT5-4000F використовуються 24 гібридні пальники. Довжина полум'я складає близько 1 м; на вході до турбіни створюється рівномірне поле температур.

Застосування компактної кільцевої камери згоряння зменшило поверхні, що потребують охолодження, а отже, знизило і кількість необхідного для цього повітря. Це привело до збільшення кількості повітря, яке можна використовувати безпосередньо для горіння.

У результаті прийнятих конструктивних рішень у камері згоряння здійснюється низькотемпературне спалювання попередньо підготовленої суміші природного газу або рідкого палива з повітрям. Надлишок останнього близький до двох. Викиди NO_x становлять не більше 25 ppm на природному газі та близько 70 ppm на рідкому паливі без упорскування в камеру згоряння води або пари.

Камера згоряння сформована з трьох частин: нероз'ємної внутрішньої обичайки і двох зовнішніх, між якими є горизонтальне рознімання. На ці деталі не діє газ високої температури, оскільки вони захищені зсередини керамічними замінними плитками, які охолоджуються повітрям після компресора (комбінований душ та створення в деяких місцях захисних плівок) і створюють теплоізолюючий шар. Через два люки та кільцеву камеру згоряння, як і раніше через виносну, забезпечується нормальний доступ у проточну частину для огляду й ремонту деталей самої камери та 1-го ступеня турбіни. Зовнішній корпус, навантажений у зоні камери згоряння тиском 1,7 МПа, обтікається повітрям, яке має за компресором температуру близько 670 К. Матеріалом корпусу є малолегована сталь.

У 4-ступінчастій турбіні соплові лопатки всіх ступенів і робочі лопатки перших трьох охолоджуються зсередини повітрям. У системах охолодження соплових лопаток 1-го ступеня комбінується душкове, конвективне й інтенсивне загороджувальне охолодження. Повітря після компресора на охолодження вхідної частини лопатки надходить з внутрішнього боку вінця. Вихідна частина лопатки, яка обмежує канал у зоні з меншим тиском основного потоку газу, охолоджується повітрям, яке надходить із зовнішнього боку вінця з об'єму камери згоряння.

Для робочих лопаток 1-го і соплових лопаток 2-го ступенів використовуються конвективне та загороджувальне охолодження. Охолодження вхідної та вихідної кромки робочих лопаток 1-го ступеня здійснюється крізь прямопрохідні канали,

центральної частини профілю лопатки – крізь петльові канали. Охолоджувальне повітря підводиться з міждискового простору ротора і випускається в радіальний зазор крізь вихідну кромку та велику кількість дрібних отворів, які створюють захисні завіси; їх особливо багато на вхідній кромці. Робочі лопатки 2-го та 3-го і соплові лопатки 3-го ступенів охолоджуються конвекцією. Через сопла 4-го ступеня повітря по радіальних каналах подається на внутрішнє діафрагмове ущільнення.

Робочі лопатки всіх ступенів вставлені вільно, без бандажів та дротових зв'язків. Вони спрофільовані таким чином, щоб зменшити турбулентність у пограничному шарі та швидкість на вхідній кромці з боку коритця і забезпечити безупинне прискорення потоку за довжиною профілю.

Робочі лопатки 1-го та 2-го ступенів турбіни виконані монокристалічними, 3-го і 4-го – рівновісним литтям. Довжина монокристалічної лопатки 2-го ступеня складає 330 мм; її маса становить 4,8 кг.

Монокристалічні лопатки мають таку ж міцність, як і рівновісні, але при температурі більше на 55 К; мають таку ж міцність, як і лопатки зі спрямованою кристалізацією, але при температурі більше на 30 К; їхній опір термічній утомі також є істотно вищим. Протягом засвоєння виробництва цих лопаток була поліпшена композиція сплаву, знижена концентрація у ньому вуглецю, бору та цирконію, зменшена температура плавлення.

Соплові лопатки захищені керамічними термобар'єрними покриттями товщиною 0,25 мм: зовнішній шар виконаний із ZrO_2 , а внутрішній – із металевої композиції $Mo-Cr-Al-Y$. Ці покриття знизили температуру лопатки на 110 К. Термобар'єрними покриттями захищені також зовнішні та внутрішні полиці соплового апарата 1-го ступеня. Для їхнього нанесення використане плазмове напилювання у вакуумі та електронно-променеве осадження, яке хоча й більш дороге, але дає кращі результати. Розрахунковий термін служби соплових лопаток до поновлення покриттів становить не менше 25 тис. год.

Для зменшення витоків та підвищення ККД у турбінній частині використовується система аеродинамічного регулювання величини радіального зазору між кінцями робочих лопаток і корпусом.

Двигун серійно виготовляється з 1996 р.

Двигун SGT5-8000H

У даний час науково-виробничий центр у м. Ерланген і Берлін продовжує розвивати ряд потужностей виготовлюваних ГТА шляхом створення високоефективного двигуна нової генерації (модифікація "H") потужністю 340 МВт, який одержав позначення SGT5-8000H. Двигун призначається для енергопостачання мереж із частотою струму 50 Гц. Це перша розробка підприємства після об'єднання в 1998 р. "Siemens AG" із машинобудівним підрозділом "Westinghouse Electric Corp."

Двигун SGT5-8000H стане базовим для парогазової установки SCC5-8000H потужністю 530 МВт, яка буде мати ККД близько 60 %.

Парогазові установки на базі двигунів сімейства V94

На базі двигунів SGT5-2000E, SGT5-3000E і SGT5-4000F "Siemens AG" виготовляє комбіновані установки бінарного термодинамічного циклу SCC5-2000E 1×1, SCC5-2000E 2×1, SCC5-3000E 1S, SCC5-3000E 2×1, SCC5-4000F 1S та SCC5-4000F 2×1 (табл. 2.1.2).

Таблиця 2.1.2. Характеристики установок на базі двигунів сімейства V94

Параметри	SCC5-2000E 1×1	SCC5-2000E 2×1	SCC5-3000E 1S	SCC5-3000E 2×1	SCC5-4000F 1S	SCC5-4000F 2×1
Потужність, МВт: на клеммах гене- ратора	246,8	496,9	282,7	566,2	397,6	794,4
ГТД	158,6	319,4	177,7	356,0	263,1	525,6
паротурбінної частини	91,6	184,5	109,3	218,9	140,6	281,0
ККД на клеммах генератора, %	52,2		54,9	55,0	57,5	
Частота струму, Гц	50					

Установки SCC5-2000E 1×1 та SCC5-2000E 2×1 оснащені утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари. Установки SCC5-3000E 1S, SCC5-3000E 2×1, SCC5-4000F 1S та SCC5-4000F 2×1 оснащені утилізаційними контурами трьох тисків із проміжним перегрівом пари. Установки SCC5-3000E 1S та SCC5-4000F 1S виконані одновальними.

Парогазова установка **SCC5-4000F 1S** може поставлятися з паровими турбінами SST5-3000 та SST5-5000. Перше компонування розроблене головним чином для середземноморського ринку, хоча на сьогодні з успіхом застосовується також і в інших регіонах. Парова турбіна **SST5-3000**, що входить до складу цієї ПГУ, виконана двоциліндровою. Другий циліндр складається із частин середнього і низького тисків. Вихід відпрацьованої пари у конденсатор – осьовий. Площа, зайнята турбіною, не перевищує 12,5 м². У складі ПГУ використовується охолоджувальна вежа або повітроохолоджуваний конденсатор. Можливим є також застосування конденсатора з циркулюючою теплою водою. На початок 2006 р. у комерційній експлуатації знаходилося більше десяти таких установок.

Установка SCC5-4000F 1S із паровою турбіною **SST5-5000** розроблена для Північної та Центральної Європи. Ця турбіна також виконана двоциліндровою. Циліндр високого тиску має у своєму складі частини високого і середнього тисків, циліндр низького тиску – двопотоковий. Площа, зайнята паровою турбіною, у два рази більше, ніж аналогічна площа попередньої ПГУ. У двопотоковому конденсаторі підтримується розрідження. Як охолоджувач використовується вода.

Вироблення електричного струму здійснюється за допомогою генератора з водневим охолодженням типу SGen5-2000H. Вихід з турбіни відпрацьованої пари у конденсатор – бічний (з однієї сторони).

В обох компонуваннях з метою більшої операційної гнучкості та готовності до введення у дію парова турбіна приєднується до електрогенератора через синхронізуючу муфту. Генератор розташовується між ГТД і паровою турбіною.

2.1.2. Науково-виробничий центр у м. Орlando (США)

Науково-виробничий центр у м. Орlando (штат Флорида, США)* веде своє походження від підприємства **"Westinghouse Electric Company"**, заснованого американським винахідником і підприємцем Джорджем Вестингаузом (рис. 2.1.11) у Піттсбурзі (штат Пенсільванія) в 1886 р.

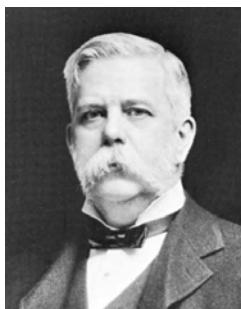


Рис. 2.1.11. Джордж Вестингауз (1846–1914)

Компанія "Westinghouse Electric Co." стала ініціатором переведення електропостачання Америки на перемінний струм, чому досить сприяли дослідження сербського інженера Миколи Тесли, який співробітничав з нею, особливо створення ним у 1888 р. індукційного двигуна перемінного струму**. Незважаючи на упереджену суспільну думку і гостру конкурентну боротьбу з фірмами, що спеціалізувалися на виробництві електровстаткування постійного струму, обсяги виготовлюваної підприємством продукції безупинно зростали. Уже до 1890 р. компанія (з 1889 р. – **"Westinghouse Electric &**

Manufacturing Company") поставила споживачам більше 300 електростанцій з генераторами перемінного струму. У 1893 р. підприємством електрифікується Всесвітня електротехнічна виставка в Чикаго. У 1895 р. виготовляється генератор перемінного струму потужністю 5000 к. с. для найбільшої на той час гідроелектростанції на Ніагарському водоспаді.

В останні роки XIX ст. компанія однією з перших у світі здобуває ліцензію на випуск парових турбін англійця Ч. Парсонса, організовує їхнє виробництво на своїх підприємствах і вже в 1899 р. продає свій перший паротурбогенератор. Через кілька років починається виробництво парових турбін суднового призначення.

У 20–30-х роках XX ст. "Westinghouse Electric & Mfg. Co." розширює асортимент виготовлюваної продукції та освоює нові галузі виробництва товарів і послуг. Відкриваються лінії серійного виробництва побутових електроприладів (холодильників, електроплит). Загальноприйнято, що саме ця компанія розпочала

* Місто з населенням 185 тис. чол. (2000 р.). Адреса підприємства: 4400 Alafaya Trail, Orlando, FL 32826-2399, USA.

** Саме з ініціативи М. Тесли був затверджений американський стандарт частоти перемінного струму 60 Гц.

сучасну еру комерційних засобів масової інформації, заснувавши в 1920 р. у Піттсбурзі першу в світі комерційну радіостанцію "KDKA".

Наприкінці 1941 р. "Westinghouse Electric & Mfg. Co." одержує від військово-морського відомства США замовлення на виготовлення першого американського ТРД. Під час виконання цього замовлення інженерами підприємства був створений і в березні 1943 р. успішно випробуваний перший на американському континенті ТРД, оснащений осьовим компресором та кільцевою камерою згоряння. Цей двигун, що розвивав тягу 530 кгс, одержав найменування **X-19A**.

У 40-х роках "Westinghouse Electric & Mfg. Co." на базі модифікації X-19B створює двигун **J30-WE-20** тягою 1360 кгс, який застосовувався з 1947 р. на першому в світі палубному реактивному винищувачі FH-1 "Fantom" компанії "McDonnell". Наступний вдалий авіаційний ГТД **J34** також призначався для палубних винищувачів F6U "Pirate", F2H "Banshee" (серійний випуск – із 1950 р.) та F3D "Skyknight" (1951 р.). Двома прискорювальними двигунами J34-WE-36 оснащувалися морські патрульні літаки великої дальності P2V "Neptune" компанії "Lockheed", серійне виробництво яких (із травня 1945 р.) нараховувало в цілому 1181 од. Створений пізніше двигун **J46** являв собою форсований варіант J34. Незвичайну схему – "літаюче крило" – мав палубний винищувач F7U "Cutlass", на якому встановлювався цей ТРД (1954 р.). Двигуном **J40-WE-22** оснащувалися винищувачі F3H "Demon". Певний час у 50-х роках "Westinghouse Electric & Mfg. Co." випускав за назвою **J54** та **J81** ліцензійні двигуни "Avon" і "Soar" компанії "Rolls-Royce Ltd." (Англія). Необхідно відзначити, що на початку 60-х років виробництво авіаційних двигунів компанією було припинено.

У 1945 р. назва "Westinghouse Electric & Mfg. Co." змінилася на "**Westinghouse Electric Corporation**".

У 1948 р. закінчилися випробування першого промислового газотурбінного агрегату **W12** (ККД – 18 %). Випуск цієї техніки був організований на заводі компанії в м. Конкордвілль (штат Пенсільванія).

У 50-х роках компанія освоює випуск ГТД простої теплової схеми серій **W171**, **W191** та **W301** потужністю 2,2...8,5 МВт. Для останнього (найбільш потужного) з них початкова температура газу становила 1005 К, міра підвищення тиску – 6, ККД – 21,6 %.

У 1961 р. починаються роботи зі створення нового сімейства двигунів **W251**. Перші три з них були введені у дію в штаті Мічиган у 1967 р. за замовленням компанії "Detroit Edison Co.". Початкові модифікації W251 мали потужність 18...20 МВт при температурі газу 1113...1168 К та мірі підвищення тиску 7. Після відпрацювання і модернізації конструкції, збільшення числа ступенів компресора з 15 до 18, міри підвищення тиску до 9 потужність ГТД зросла до 26 МВт при ККД 26,9 %*. Випуск цієї модифікації почався в 1969 р.

* Усього до 2003 р. було виготовлено більше 400 двигунів сімейства W251. Ці ГТД також вироблялися за ліцензією під назвами TG20 і M251 компаніями "Fiat Aviazione S.p.A." (Італія) та "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." (Японія).

Роком раніше "Westinghouse Electric Corp." почала поставляти в експлуатацію двигуни сімейства **W501**. Модель "А" мала потужність на номінальному режимі 45 МВт і ККД 27 %. Через 13 років (у 1982 р.) потужність цього ГТД була доведена вже до 100 МВт (модифікація W501D5) з відповідним зростанням ККД до 34 %. Слід відзначити, що вже до 1969 р. загальна кількість виготовлених фірмою ГТА перевищила 450 од.

У 1983 р. унаслідок реорганізації компанії випуск ГТД сімейства W251 був повністю перенесений у канадське місто Гамільтон (штат Онтаріо). Певний час після цього вони випускалися під найменуванням CW251 ("Canadian Westinghouse"). Усе інше газотурбобудівне виробництво було об'єднано з паротурбінним у єдине підприємство, розташоване в м. Орlando.

У 1991 р. компанія представила двигун нового покоління W501F, який мав номінальну потужність 160 МВт і ККД 36 %.

У 80–90-х роках для ринку енергомереж із частотою струму 50 Гц на базі створених ГТД типу W501 разом з японською компанією "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." було розроблено нове сімейство двигунів **W701**. При цьому застосовувалося часткове аеродинамічне моделювання: використовувалося облопачування турбін W501 без зміни розмірів, але зі зміщенням на більший діаметр для збереження близьких колових швидкостей.

За участю "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." та італійської компанії "FiatAvio S.p.A." наприкінці 90-х років була проведена розробка двигунів нової серії "G" (W501G і W701G) із початковою температурою газу на вході в турбінну частину 1700 К та з ККД, який перевищував 39 %.

Партнерські відносини в галузі газотурбобудування в 90-х роках були встановлені у "Westinghouse Electric Corp." також з англійським концерном "Rolls-Royce plc". Наслідком цього стали спільні роботи зі створення для ВМФ газотурбінного агрегату **WR-21**. На підприємстві в Орlando планувалося налагодити випуск промислових агрегатів з англійськими двигунами RB211 та "Trent".

Необхідно відзначити, що крім турбобудування іншими основними галузями промислового виробництва "Westinghouse Electric Corp." у період після Другої Світової війни були створення електронних систем військового призначення та ядерна техніка.

На заводі в м. Балтимор (штат Меріленд) корпорація виготовляла радары й електроніку для бойових літаків, керування бойовими діями, космічних і підводних військових програм та контролю за повітряним простором. Також випускалося встаткування для засобів радіоелектронної боротьби, тактичних комунікацій і морських систем.

Ядерними дослідженнями "Westinghouse Electric Corp." почала займатися у 30-х роках. У 1949 р. вона (паралельно з "General Electric Co.") одержала замовлення від уряду США на виготовлення атомного реактора для першого

американського атомного підводного човна. Розроблена конструкція (двоконтурний, водо-водяний) була дещо менш економічною, ніж конструкція реактора "General Electric Co." (одноконтурний, киплячого типу), проте більш безпечною. Саме тому їй була надана перевага й у січні 1954 р. підводний човен "Nautilus", оснащений реактором "Westinghouse Electric Corp.", спускається зі стапелів. У тому ж році в м. Шиппінгпорт (штат Пенсільванія) було розпочате будівництво першої американської комерційної атомної електростанції, для якої корпорація здійснила постачання реактора потужністю 90 МВт. За період до 1998 р. "Westinghouse Electric Corp." виготовила встаткування для 98 атомних енергетичних установок.

У 90-х роках корпорація здобуває ряд телевізійних і радіомовних станцій по всій території США, включаючи телевізійну мережу "CBS Inc." (у 1995 р.) та "Infinity Broadcasting Corp." (у 1996 р.).

У 1997 р. "Westinghouse Electric Corp." після продажу в 1996 р. свого виробництва військової електроніки компанії "Northrop Grumman Corp." змінює своє найменування на **"Columbia Broadcasting System Corporation" ("CBS Corp.")**. У 1998 р. вона продає своє енергомашинобудівне відділення німецькому концерну "Siemens AG"*, а відділення, яке займається ядерними розробками – компанії "British Nuclear Fuels plc"**.

У 1999 р. "CBS Corp." була куплена медіа-конгломератом "Viacom Inc." і перейменована на "CBS Television Network".

Виробнича програма заводу в Орландо після входження до концерну "Siemens AG" піддалася певній реорганізації. Був припинений випуск застарілих двигунів W501D5 (потужність 109 МВт; ККД 34 %), W251B11/12 (50 МВт; 32,7 %) та ліцензійних агрегатів RB211 і "Trent". Припиненими було також виробництво двигунів W701D (144 МВт; 35,5 %) та W701F (235 МВт; 36,8 %), а також усі подальші роботи з розвитку сімейства W701, яке призначалося для генерування струму частотою 50 Гц, тобто не для американського ринку, а отже, не повинне було конкурувати з аналогічними моделями двигунів базового підприємства компанії в Німеччині.

* * *

Сьогодні науково-виробничий центр в Орландо для генерування електричного струму частотою 60 Гц поставляє ГТА й установки в трьох основних комплектаціях: "Econopac", "Power Island" і "Complete power plant"***. Основу цих агрегатів складають наступні двигуни **простої теплової схеми** вла-

* Це відділення аж до реорганізації 2005 р. мало назву "Siemens Westinghouse Power Corp."

** Купленому ядерному виробництву, розміщеному в мм. Монровілл, Піттсбург, Черчілль, Нью-Стентон, Волтц-Мілл та Блейрсвілл, компанія "British Nuclear Fuels plc" присвоїла найменування "Westinghouse Electric Company". Проте у 2006 р. це виробництво було перепродане японському концерну "Toshiba Corp."

*** Див. інформацію про продукцію науково-виробничого центру в мм. Ерланген і Берлін.

сного виробництва:

SGT6-3000E (до 2005 р. – W501D5A) потужністю 121 МВт та ККД 34,7 %;

SGT6-5000F (W501F) потужністю 198 МВт та ККД 37,9 %;

SGT6-6000G (W501G) потужністю 266 МВт, ККД 39,2 %.

На базі ГТД підприємство в Орландо організувало випуск **парогазових установок** бінарного термодинамічного циклу. Ці установки можуть виконуватися багатовальними або одновальними. У першому випадку в найменуванні ПГУ вказуються число газотурбінних двигунів та число парових турбін (наприклад, "1×1" або "2×1"). У другому випадку в назві установки з'являється додаткова буква "S" ("single shaft").

Крім ГТД підприємство в Орландо виготовляє парові турбоагрегати різноманітного призначення потужністю до 1300 МВт, у т. ч. для виробництва електроенергії на теплових електростанціях – потужністю 30...350 МВт без проміжного перегріву пари та 75...1100 МВт із проміжним перегрівом пари; для атомних електростанцій – 600...1300 МВт; для приводу механізмів – до 350 МВт. Парові турбіни підприємства застосовуються також як суднові.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун SGT6-3000E (W501D5A)

Науково-виробничий центр в Орландо створює двигуни сімейства W501 для генерування струму частотою 60 Гц із 1968 р.

Усі виготовлювані в цей час модифікації двигуна W501 (табл. 2.1.3) виконані одновальними з двохопорним ротором. Привод електрогенератора здійснюється з боку компресора. Компресорна частина ротора перших модифікацій була утворена дисками (за числом ступенів), насадженими в гарячому стані на порожній кований вал. У моделі "D" вона суцільнокована, барабанна з виточеними на зовнішній стороні гребенями дисків. Компресорна частина зв'язана через проміжну вставку з турбіною, яка складається з дисків без центральних отворів, стягнутих на проміжному радіусі болтами через хіртові поєднання. При виготовленні здійснюється балансування не тільки зібраного ротора, але і його частин до з'єднання. Ротор спирається на підшипники сегментного типу; осьове зусилля сприймається двостороннім підшипником типу Кінгсбері. Довжина між осями підшипників ротора турбогрупи становить 7,24 м, його маса – близько 33 т.

Таблиця 2.1.3. Характеристики двигунів сімейства W501

Параметри	SGT6-3000E (W501D5A)	SGT6-5000F (W501F)	SGT6-6000G (W501G)
Номінальна потужність на вихідному валу, МВт	121	198	266
ККД на вихідному валу, %	34,7	37,9	39,2
Витрата робочого тіла, кг/с	385	500	602

Продовж. табл. 2.1.3

Параметри	SGT6-3000E (W501D5A)	SGT6-5000F (W501F)	SGT6-6000G (W501G)
Міра підвищення тиску	14,2	17,4	20,1
Температура газу, К:			
початкова	1450	1550	1690
за ГТД	803	850	871
Частота обертання турбіни, об/хв	3600		
Число ступенів компресора/турбіни	19/4	16/4	
Маса, т	141	193	272
Габарити, м	10,3×3,6×4,2	10,0×4,0×4,5	10,8×4,3×4,5

Конструктивними особливостями **SGT6-3000E (W501D5A)** є 19-ступінчастий осьовий компресор, секційна камера згоряння із 14 жаровими трубами, 4-ступінчаста турбіна, високоефективна система охолодження, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах.

Проточна частина компресора спроектована з постійним зовнішнім діаметром двох перших і постійним внутрішнім діаметром усіх інших ступенів. Вхідний напрямний апарат – поворотний. Після 6-го, 11-го і 14-го ступенів в обоймах компресора є симетричні щілини для відбирання повітря на охолодження 4-го, 3-го та 2-го ступенів турбіни відповідно. Перші два відбирання використовуються для скидання повітря через антипомпажні клапани при пуску. Робочі лопатки компресора кріпляться в дисках заштифтованими напівкульовими хвостовиками і допускають заміну в умовах експлуатації. Напрямні лопатки зв'язані напівкільцевими бандажами, які несуть лабіринтове ущільнення із чотирма гребенями. На лопатки нанесене покриття, яке поліпшує характеристики компресора та сповільнює їхнє забруднення.

Жарові труби камери згоряння (у попередніх модифікаціях їх було 16) складаються зі зварених між собою кільцевих обичайок, діаметри яких збільшуються за ходом газів, і фронтового пристрою з форсункою та каналами для проходження повітря. Зварювання обичайок здійснюється через хвилясту стрічку, яка формує орієнтовані в осьовому напрямку канали, крізь які проходить повітря, що охолоджує стінки жарової труби. Жарові труби поєднуються з газозбірником, а газозбірник – зі статором турбіни за допомогою еластичних з'єднань. У порівнянні з попередніми модифікаціями діаметр головної частини жарових труб збільшений, щоб уможливити спалювання низькокалорійного газу.

Проточну частину турбіни утворюють чотири ступені з помірним аеродинамічним навантаженням і реактивністю. Соплові лопатки турбіни, відлиті разом із полицями (для 1-го ступеня індивідуально, для 2-го – сегментами по три лопатки), вставляються в окремі напівкільцеві обойми і можуть бути замінені в експлуатаційних умовах без виїмки ротора. Сегменти діафрагми з лабіринто-

вими ущільненнями до внутрішніх полиць сегментів соплових лопаток прикріплені за допомогою радіальних штифтів. До обойм кріпляться литі сегментні ободи, які утворюють торцеву поверхню над робочими лопатками й захищають обойми від контакту з гарячими газами.

Обойми фіксуються радіально у зовнішньому корпусі. Їхнє індивідуальне охолодження дозволяє зменшити радіальні зазори над робочими лопатками, а поділ обойм полегшує доступ до кожного ступеня турбіни. Соплові апарати турбіни можуть бути виїняті з корпусу за допомогою спеціального пристрою, перевірені, відремонтовані або замінені без виїмки ротора та розбирання обойм інших ступенів. Конструктивна схема високотемпературної частини двигуна із зображенням напрямів охолодного повітря в турбіні наведена на рис. 2.1.12.

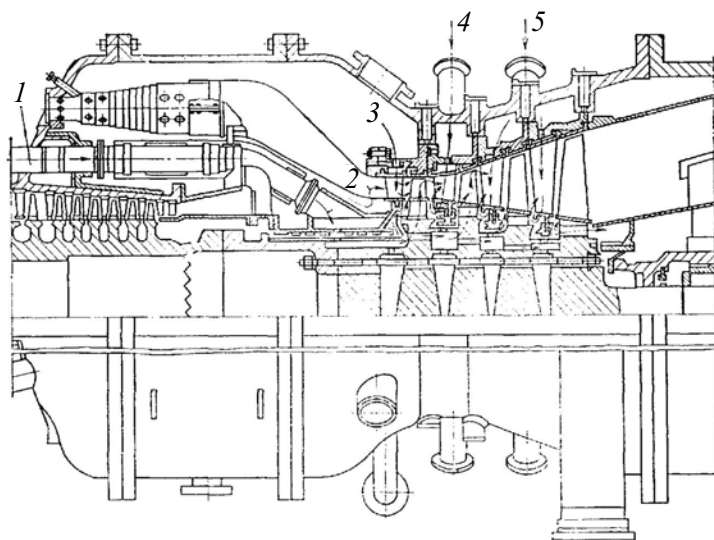


Рис. 2.1.12. Високотемпературна частина двигуна W501D

Повітря 2 із вихідного перерізу компресора в обхід камери згоряння підмішується до потоку гарячих газів з боку внутрішньої поверхні проточної частини безпосередньо перед соплами 1-го ступеня і формує сприятливе радіальне поле температури. Повітря 3 із вихідного перерізу компресора охолоджує соплові лопатки 1-го ступеня, які виконані з дефлекторами та душованням, і скидається потім у проточну частину. Повітря, яке відбирається за 14-м ступенем компресора, розділяється на два потоки. Його частина 1 охолоджується в спеціальному зовнішньому охолоджувачі, фільтрується та подається по окремій трубі в камеру, через яку вводиться в ротор для охолодження його переднього торця, всіх дисків і робочих лопаток перших двох ступенів. Повітря обтікає спереду гребені кожного диска, знімає тепловий потік у місці з'єднання диска з робочими лопатками і виходить у проточну частину крізь зазори в ялинкових хвостових з'єднаннях. У результаті температура дисків не перевищує 588 К.

Робочі лопатки виконані з подовженими ніжками. У лопатках 1-го і 2-го ступенів є радіальні канали для проходження охолодного повітря. Температура

металу робочих лопаток не перевищує 1080 К при базовому та 1115 К при піковому навантаженні.

Інша частина повітря 4, відібраного за 14-м ступенем компресора, направляється на охолодження соплових лопаток 2-го ступеня турбіни і заднього гребеня диска 1-го ступеня.

Повітря більш низького тиску 5 проходить крізь порожні сегменти соплових лопаток 3-го та 4-го ступенів і протікає потім крізь радіальні зазори в ущільненнях діафрагм, замикаючи зазори та охолоджуючи задні торці дисків 2-го і 3-го ступенів. Вихід газів із турбіни здійснюється через довгий осьовий дифузор. Задній підшипник і дифузор спираються на шість тангенціальних стояків, захищених від впливу газового потоку обшиванням обтічної форми. У вихлопній частині є також два великих обтічних патрубків, через які внаслідок ежектувальної дії вихлопних газів здійснюється вентиляція корпусу підшипника.

Для полегшення ремонтних робіт корпус турбогрупи двигуна розділений на секції, які незалежно знімаються. Також забезпечена можливість огляду та заміни через корпус камери згоряння жарових труб, газопідвідних патрубків і лопаток 1-го ступеня турбіни. Після розкриття верхньої половини корпусу необхідні лопатки компресора та турбіни, а також опорні й упорні підшипники можна замінити без виїмки ротора турбогрупи і порушення встановлення лопаток інших ступенів.

Модифікація W501D5 почала серійно випускатися з 1982 р. На початок 2003 р. було виготовлено близько 140 двигунів даного типу, загальний наробіток яких на той час досяг 1,65 млн год. Модифікація SGT6-3000E (W501D5A) виготовляється з 1994 р.

Двигун SGT6-5000F (W501F)

У 2001 р. знаходилося в експлуатації більше 60 двигунів типу SGT6-5000F (W501F) (серійно випускаються з 1993 р.) та були замовлення на виготовлення ще 300 од. Загальний наробіток цих ГТД на початок 2003 р. перевищив 1 млн год.

Конструктивними особливостями SGT6-5000F (рис. 2.1.13) є 16-ступінчастий осьовий компресор, проектування якого виконане за сучасними тривимірними технологіями, секційна камера згоряння із 16 жаровими трубами, поворотні лопатки вхідного напрямного апарата компресора, 4-ступінчаста турбіна, високоефективна система охолодження із зовнішнім охолодженням охолодного повітря, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах, передбачена можливість подавання пари в проточну частину.

З метою підвищення ефективності двигуна тепло, що відводиться від компресорного повітря, яке йде на охолодження турбіни, у зовнішньому охолоджувачі, корисно застосовується для підігрівання палива перед його подаванням в камеру згоряння.

Низька концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах досягається застосуванням низькоемісійної камери згоряння, кожна секція якої оснащена однією пілотною та вісьма основними форсунками подавання палива.

Довжина двохопорного ротора ГТД від фланця до фланця становить 7470 мм, маса ротора – 41,8 т.

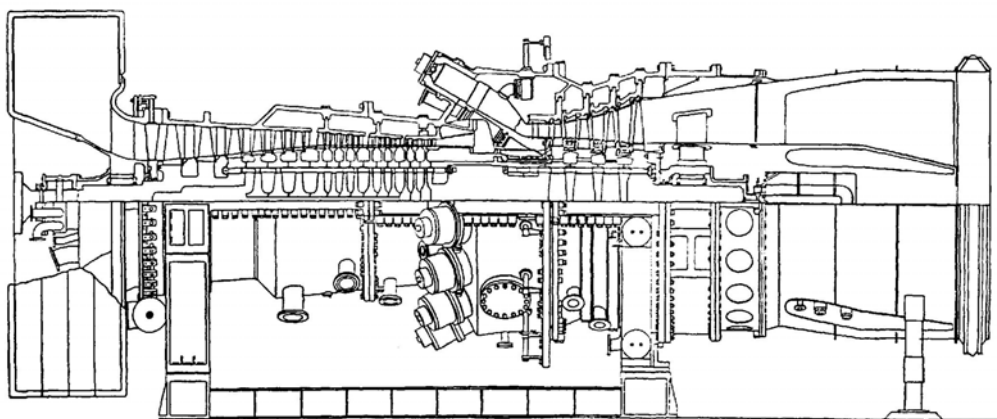


Рис. 2.1.13. Подовжній переріз двигуна SGT6-5000F (W501F)

Двигун SGT6-6000G (W501G)

У квітні 2001 р. почалася промислова експлуатація першого газотурбінного двигуна типу SGT6-6000G (W501G) та першої парогазової установки на його основі (електростанція "Millennium" у м. Чарльтон, штат Массачусетс). Двигун створювався відповідно до програми "Advanced Turbine System" Департаменту енергетики США. Партнерами підприємства в Орlando виступили компанії "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." та "FiatAvio S.p.A.". У розробці брав участь також англійський концерн "Rolls-Royce plc". Ескізний проект ГТД був виконаний у 1992–1993 рр., робочий проект – у 1993–1995 рр., відпрацювання технічних рішень розпочалося у 1993 р.

Конструктивними особливостями двигуна є 16-ступінчастий осьовий компресор, секційна камера згоряння із 16 жаровими трубами, 4-ступінчаста турбіна, високоефективна система охолодження, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах, виготовлення лопаток шляхом спрямованої кристалізації, термобар'єрне покриття лопаток, застосування технологій, характерних для авіаційного газотурбобудування, тривимірні моделі проектування лопаткового апарата компресора і турбіни.

Двигун SGT6-6000G у порівнянні з попередніми модифікаціями був перепроєктований заново. Він виявився на 0,6 м довше, ніж SGT6-5000F, та більше за діаметром, проте як і раніше укладається в залізничний габарит. Як і в попередніх моделях електрогенератор розташований з боку компресора і поєднаний з двигуном жорсткою муфтою. Вихід газів з турбіни – осьовий. Корпус заднього підшипника

закріплений за допомогою тангенціальних стояків. Усі корпуси виконані з горизонтальними розніманнями (рис. 2.1.14 та 2.1.15).

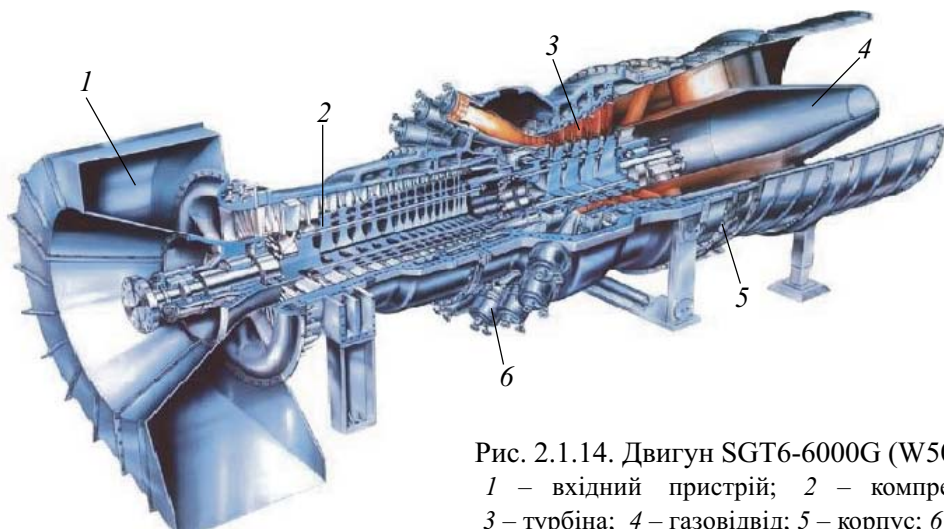


Рис. 2.1.14. Двигун SGT6-6000G (W501G):
1 – вхідний пристрій; 2 – компресор;
3 – турбіна; 4 – газовідвід; 5 – корпус; 6 – КЗ

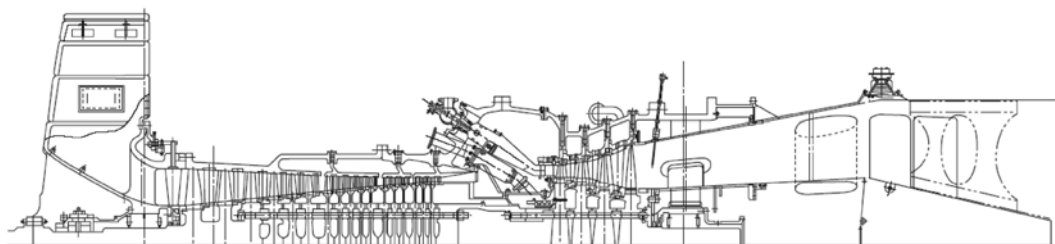


Рис. 2.1.15. Подовжній переріз двигуна SGT6-6000G (W501G)

Довжина двохопорного ротора ГТД від фланця до фланця становить 7800 мм (довше ротора SGT6-5000F на 330 мм), маса ротора – 53,7 т (більше, ніж у SGT6-5000F, на 11,9 т). Ротор спирається на два сегментних підшипники з двома вкладишами і фіксацією у верхній половині. Діаметри шийок ротора в підшипниках становлять 457 мм. Діаметр двостороннього упорного підшипника – 635 мм. Упорний підшипник розташований у компресорній частині ГТД, що запобігає зміщенню ротора у бік генератора при температурному розширенні металу.

Компресор двигуна SGT6-6000G був розроблений на базі компресора ГТД MF-221 потужністю 30 МВт фірми "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.", у якому використовуються вдосконалені профілі. Трансзвуковим виконаний 1-й ступінь компресора.

Диски перших трьох ступенів відковані разом з валом, диски інших ступенів приєднані до диска 3-го ступеня 12 болтами. Їхнє центрування здійснюється радіальними шліцями.

Вхідний корпус відлитий з модифікованого чавуну, корпус компресора – з вуглецевої сталі. Напрямні лопатки перших ступенів компресора вставлені

у корпус, останніх – у три обойми, які пристосовані для відносно великих, незалежних від зовнішнього корпусу температурних розширень і зберігають концентричність з ротором, не допускаючи зачіпань лопаток. Це дозволяє зменшити зазори і поліпшити показники. Положення поворотного вхідного напрямного апарата компресора регулюється з метою поліпшення характеристик при часткових навантаженнях, для зменшення пускової потужності та керування температурою відпрацьованих газів при використанні їхнього тепла.

Після 6-го й 11-го ступенів організовані антипомпажні скидання повітря. На виході з проточної частини компресора встановлені два ряди спрямних лопаток. Конструктивними особливостями компресора є діафрагмові напрямні апарати з ефективними ущільненнями за внутрішніми півкільцями, індивідуально змінювані лопатки з нержавіючої сталі, використання на діафрагмах покриттів, які зменшують забруднення.

Газотурбінний двигун розрахований для роботи на природному газі та легких сортах рідкого палива, але може використовуватися також низькокалорійний газ, одержуваний при газифікації вугілля. Паливо спалюється в низькоемісійній секційній камері згоряння. Горіння здійснюється в три фази паралельно-ступінчасто зі збагаченою паливоповітряною сумішшю в першій і збідненою у заключній стадії. Займання палива здійснюється двома запальниками, встановленими у спеціальних трубах; полум'я поширюється через полум'яперекидні патрубки.

Особливістю ГТД є застосування парового охолодження газопідвідних патрубків, які поєднують жарові труби камери згоряння із соплами 1-го ступеня турбіни. Це дозволяє зменшити на 10...20 % кількість повітря, яке направляється після компресора на охолодження камери згоряння і газопідвідних патрубків. Отже, більше повітря можна направити в головну частину камери згоряння і знизити в такий спосіб температуру полум'я до 1750...1850 К, тобто до того ж рівня, що й у модифікації "F". Не відбувається також зниження температури продуктів згоряння шляхом розбавлення їх повітрям (вторинне повітря взагалі відсутнє).

Оскільки температура полум'я і час перебування в зоні горіння порівняно з модифікацією "F" не змінюються, то й рівень викидів NO_x не збільшується, незважаючи на істотне зростання температури газів перед турбіною. Для охолодження використовується 18,2 т/год (5,05 кг/с) пари низького тиску, що становить усього близько 1 % витрати повітря через компресор. У ПГУ вона відбирається з котла-утилізатора; для автономно працюючого двигуна ж потрібен невеликий котел у тракті відпрацьованих газів або окремий блоково-транспортбельний парогенератор.

При роботі на часткових навантаженнях частина повітря перепускається в обхід зони горіння через байпасний клапан, забезпечуючи стабільність полум'я. Проте це байпасування, як показав досвід експлуатації агрегатів SGT6-5000F, не є обов'язковим.

Для інтенсифікації охолодження камери згоряння і газопідвідних патрубків їх огороження виконані двостінними, з ребрами, що утворюють "сендвич" із двома тонкими внутрішніми перегородками, які направляють та регулюють витрату охолодної пари (в модифікації "F" – охолодного повітря). Отвори для входу охолодного повітря на зовнішній і підмішування його до газів на внутрішній стінці замінені штуцерами для підведення та відведення пари.

Робота кожної жарової труби при експлуатації контролюється; при виникненні на виході з них неприпустимої нерівномірності температур подається попереджувальний сигнал. Зрив полум'я в одній жаровій трубі призводить до автоматичної зупинки ГТД.

При роботі на природному газі концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах становить (не більше): NO_x – 25 ppm, CO – 10 ppm, незгорілих вуглеводнів – 10 ppm, що забезпечується без введення пари чи води. При роботі на легкому рідкому паливі для зниження викидів упорскується вода. При цьому концентрація NO_x не перевищує 42 ppm, CO – 25 ppm, незгорілих вуглеводнів – 15 ppm.

Зовнішні корпуси камери згоряння і турбіни виготовлені з легованої сталі.

Турбіна ГТД виконана із чотирма реактивними ступенями з помірним аеродинамічним навантаженням і підвищеним рівнем колових швидкостей. Ротор турбіни – дисковий. Диски відцентровані хіртами і стягнуті між собою 12 болтами.

Соплові апарати вставлені в індивідуальні обойми, які мають певну свободу температурних розширень. Кожна лопатка (сегмент) може бути виїнята і замінена без виїмки ротора. Лопатки перших трьох ступенів турбіни охолоджуються повітрям. Існує п'ять контурів охолодження турбіни. Повітря для охолодження ротора відбирається після компресора. Воно виводиться з об'єму камери згоряння, охолоджується паливом, фільтрується і повертається до турбіни. Це повітря ущільнює ротор і використовується для охолодження дисків та робочих лопаток.

Соплові й робочі лопатки перших двох ступенів відлиті зі спрямованою кристалізацією та захищені термобар'єрними покриттями. Їх виготовляє і поставляє після механічної обробки та нанесення покриттів компанія "Rolls-Royce plc".

Повітря для охолодження соплових лопаток 1-го ступеня відбирається після компресора прямо з об'єму камери згоряння. Комбінується ударне, плівкове та конвективне охолодження. Усередині кожної соплової лопатки вставлені три дефлектори з душованням. Захисні завіси створюються випусканням охолодного повітря крізь ряди отворів на вхідну кромку й окремі місця на спинці та ввігнутій частині профілю. Це знижує температуру зовнішньої поверхні і градієнти температури, а також дозволяє краще використовувати охолодне повітря. Для збільшення турбулентності та поверхні охолодження стінки внутрішньої порожнини і щілина для випускання повітря крізь вихідну кромку оснащені ребрами.

Оскільки поле температур на виході з низькоемісійних камер згоряння є більш

рівномірним, то необхідне ефективне охолодження ободів, що досягається за допомогою душовання, загороджувальних плівок та конвекції в отворах для випускання повітря. Ці ж прийоми використовуються для охолодження соплових лопаток та ободів 2-го ступеня. Соплові лопатки перших двох ступенів відливають зі сплаву IN 939.

У робочих лопатках 1-го ступеня застосоване зовнішнє плівкове охолодження на ввігнутій і опуклій сторонах профілю та конвективне охолодження у внутрішніх петльових каналах з косими турбулізаторами. Випускання повітря на поверхню лопаток для створення загороджувальних плівок здійснюється крізь профільовані отвори. Багато уваги при проектуванні двигуна було приділено зменшенню необхідної витрати охолодного повітря і запобіганню витоків. Особливістю лопаток є також інтенсивне охолодження верхівок та нижньої полиці, на якій також передбачене випускання охолодного повітря крізь отвори. Робочі лопатки 2-го ступеня охолоджуються тільки конвекцією, випускання повітря на зовнішню поверхню лопатки не передбачене.

Термобар'єрне покриття наноситься на поверхню робочих лопаток 1-го і 2-го ступенів за допомогою електронно-променевої технології.

З урахуванням рівномірного радіального поля температур за камерою згоряння і витоків біля периферії перших двох ступенів бандажні полиці робочих лопаток 3-го ступеня виконані з примусовим охолодженням.

Повітря, яке відбирається після 11-го ступеня компресора, надходить у кільцеву порожнину діафрагми соплових лопаток 3-го ступеня і рухається далі крізь п'ятиканальний тракт охолодження в профільній частині цих лопаток. З каналу під вхідною кромкою повітря виходить у пазуху ротора для ущільнення й охолодження. З 5-го каналу повітря крізь отвори випускається на ввігнуту частину профілю поблизу вихідної кромки. Сопла 4-го ступеня не охолоджуються. У них, однак, є внутрішній канал для підведення повітря, відібраного за 6-м ступенем компресора, у пазуху ротора для ущільнення й охолодження диска 4-го ступеня.

Усі робочі лопатки відливаються зі сплаву CM247. Вони виконані з подовженими ніжками та ялинковими хвостовиками з трьома зубами для перших трьох ступенів і чотирма – для 4-го ступеня.

Температури метала лопаток при роботі збережені на тому ж рівні, що й у модифікації "F". Профільна частина лопаток спроектована з використанням тривимірних моделей. Число лопаток істотно зменшено при одночасному збільшенні аеродинамічного навантаження профілів. Скорочення числа лопаток дозволило значно знизити витрату охолодного повітря.

Довжина робочих лопаток останнього ступеня збільшена до 635 мм (на 25 % порівняно з модифікаціями "D" і "F"). На 3-му і 4-му ступенях застосований Z-подібний замкнутий за колом периферійний бандаж, який зменшує небезпеку несинхронних коливань під дією аеродинамічних сил.

Загальне вдосконалювання двигуна SGT6-6000G (W501G) забезпечує те,

що його ККД вище, ніж у модифікації "F", навіть при однаковій з нею початковій температурі газів.

При стандартному компонуванні теплової електростанції з двигуном SGT6-6000G довжина площадки становить 46,8 м, її ширина – 32,8 м, висота повітрязабірної камери – 14,4 м, димоходу – 15,3 м.

Двигун SGT6-6000G розрахований на тривалий термін служби і тривалі міжремонтні періоди. Розрахунковий наробіток на природному газі між інспекціями камери згоряння становить 8000 год або 400 пусків, між інспекціями турбіни – 24000 год або 1200 пусків, між капітальними ремонтами – 48000 год або 2400 пусків.

Парогазові установки на базі двигунів сімейства W501

На базі двигунів SGT6-3000E, SGT6-5000F і SGT6-6000G науково-виробничий центр у м. Орlando виготовляє парогазові установки бінарного термодинамічного циклу SCC6-3000E 1×1, SCC6-3000E 2×1, SCC6-5000F 1×1, SCC6-5000F 2×1, SCC6-6000G 1S та SCC6-6000G 2×1 (табл. 2.1.4).

Установки SCC6-3000E 1×1 та SCC6-3000E 2×1 оснащені утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари. Установки SCC6-5000F 1×1, SCC6-5000F 2×1, SCC6-6000G 1S та SCC6-6000G 2×1 оснащуються утилізаційними контурами трьох тисків із проміжним перегрівом пари.

Таблиця 2.1.4. Характеристики парогазових установок на базі двигунів сімейства W501

Параметри	SCC6-3000E 1×1	SCC6-3000E 2×1	SCC6-5000F 1×1	SCC6-5000F 2×1	SCC6-6000G 1S	SCC6-6000G 2×1
Потужність, МВт:						
на клеммах генератора	173,0	346,9	293,3	589,7	391,1	782,2
ГТД	117,0	234,2	193,4	386,8	259,1	518,2
паротурбінної частини	58,5	118,0	104,4	211,9	138,0	276,0
ККД на клеммах генератора, %	50,5	50,6	57,0	57,2	58,4	
Частота струму, Гц	60					

Установка **SCC6-6000G 1S** виконана одновальною з розміщенням генератора між ГТД і паровою турбіною. Остання за класифікацією підприємства в Орlando належить до типу "KN". Вона складається з двох циліндрів, перший з яких має частини високого і середнього тисків (модель "K"), другий виконаний двопотоковим (модель "N"). З'єднання турбіни з генератором здійснюється за допомогою синхронізуючої муфти компанії "SSS Gears Ltd.". В установках

SCC6-6000G 1S використовуються генератори з водневим охолодженням. Питома вартість такої установки становить близько 400 дол./кВт.

2.1.3. Науково-виробничий центр у м. Фінспонг (Швеція)

Науково-виробничий центр у м. Фінспонг* веде своє походження від невеликого артилерійського заводу "**Styckebruk AB**" (з 1903 р. – "**Nordiska artilleriverkstaderna**"), який виник там у другій половині XIX ст.

З 1911 р. він переорієнтований на випуск поршневих двигунів, що працювали на сирій нафті, та його назва змінена на "**AB Nordiska motorverkstäderna**" ("Скандинавський моторобудівний завод").

Розвиток турбобудування у місті пов'язаний з іменами братів Біргера та Фредріка Люнгстрьомів** (рис. 2.1.16), якими була створена оригінальна

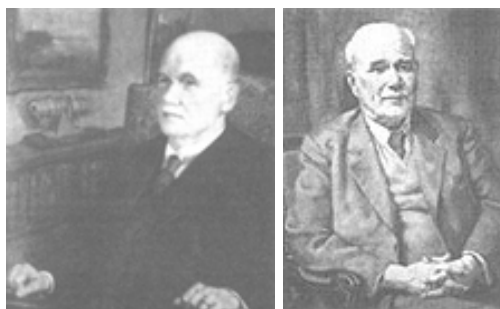


Рис. 2.1.16. Біргер та Фредрік Люнгстрьоми

конструкція радіальної парової турбіни. Дослідницькі роботи велися Біргером Люнгстрьомом з 1894 р. У 1910 р. у Стокгольмі випробування експериментального зразка цієї турбіни були успішно завершені. Її потужність становила 500 кВт при частоті обертання ротора 300 об/хв.

Через два роки перша подібна турбіна потужністю 1 МВт була продана англійській компанії "**North Metropolitan Electric Power Supply Co.**" і була встановлена на електростанції в Лондоні.

Високий ККД турбіни, її малошумність, невеликий час набору потужності та відсутність вібрації привернули увагу широких технічних кіл і обумовили швидке зростання замовлень. Для її серійного виробництва 12 лютого 1913 р. у Стокгольмі засновується акціонерне товариство "**Svenska Turbinfabriks Aktiebolaget Ljungström**" ("Шведська турбобудівна акціонерна компанія Люнгстрьомів"), скорочено "**STAL**", і в березні того ж року купується завод у Фінспонзі, який недавно пройшов реконструкцію й був оснащений сучасним устаткуванням. Первісна чисельність працюючих становила 180 чол.

У 1914 р. підприємство випустило першу суднову парову турбіну. З потужністю 730 кВт вона входила до складу турбогенератора суховантажного судна "**Mülner**". До 1920 р. "**STAL**" поставила флоту ще 16 турбоагрегатів потужністю 750...1600 кВт. З 1918 р. починається випуск суднових турбоzubчастих агрегатів.

* Містечко в окрузі Рісінг біля Норчепінга з населенням 25 тис. чол. (1974 р.). Адреса підприємства: Slottsvägen, 61283 Finspong, Sweden.

** У російськомовній літературі їхнє прізвище друкують як "Юнгстрем".

У 1916 р. концерн "Almänna Svenska Elektriska Aktiebolaget" ("ASEA") викупив у інженера А. Нобеля значний пакет акцій компанії "STAL", який належав йому, внаслідок чого одержав над нею повний контроль. Закінчилася коротка епоха братів Люнгстрьомів, які залишили Фінспонг, але надалі іноді залучалися до роботи як консультанти.

У 1917 р. конструктором підприємства Оскаром Вібергом створюється комбінована радіально-осьова модифікація базового варіанта турбіни, здатна генерувати потужність більше 7 МВт.

Загальною післявоєнною кризою шведської економіки ознаменувалися 20-і роки, що призвело до банкрутства ряду суднобудівних фірм і погіршення становища компанії, орієнтованої в основному на випуск парових турбін суднового призначення. З цього періоду підприємство "STAL" починає виготовляти турбіни для промисловості (целюлозно-паперові комбінати і т. п.). З початку 30-х років паралельно розвивається також виробництво холодильних установок.

У 1932 р. "STAL" випускає турбіну потужністю 50 МВт, яка мала ККД 90,3 % (рекордне за тих часів значення для парових турбін).

Протягом Другої Світової війни підприємство виконує оборонні замовлення, виготовляючи елементи артилерійських установок, гранати, фюзеляжі для літаків та ін.

У 40-х роках компанія розробляє перший шведський експериментальний турбореактивний двигун "**Skuten**". Для винищувача А32 "Lansen" створюється ТРД "**Dovern**", який у 1951 р. був готовий до серійного виробництва. Разом з компанією "Svenska Flygmotor AB" з м. Тролльхаттен ведуться роботи над двигуном "**Glan**" для літака J35 "Draken". Проте рішенням уряду Швеції для подальшого застосування у військовій авіації були обрані більш надійні ліцензійні двигуни "Avon" англійської фірми "Rolls-Royce Ltd."

Накопичений при розробці двигунів досвід і створена матеріальна база послужили основою для подальшого успішного розвитку в компанії газотурбобудування. У 1957 р. ТРД "Glan" відновлений як конвертований енергетичний двигун **GT35** потужністю 10 МВт. Пройшовши численні вдосконалювання, цей ГТД дотепер є одним з головних продуктів заводу у Фінспонзі.

У 1959 р. компанія "STAL" починає виробництво тривального з проміжним охолодженням повітря газотурбінного двигуна GT120 потужністю 40 МВт, який був на той час найбільшим у світі. Протягом подальшого розвитку його потужність була доведена до 72 МВт, ККД – до 28 % (модифікація GT120C).

У 50-х роках компанія виготовляла регенеративні ГТА потужністю 2400 кВт та ККД 21 % для енергопоїздів (при початковій температурі газів 973 К і мірі підвищення тиску 3,9).

У 1960 р. концерн "ASEA" здобуває паротурбобудівну компанію "AB de Laval Engturbin"* (м. Наска), після чого переміщує її виробничі потужності

* У перекладі: "Акціонерна компанія Парові турбіни де Лавалля". Була заснована у 1893 р. К. Лавалем.

у Фінспонг (1962 р.) і поєднує з її найдавнішим конкурентом – підприємством "STAL". Найменування компанії модифікується в **"STAL-Laval Turbin AB"**.

Об'єднання компаній створило нову ситуацію на ринку суднових парових турбоагрегатів і перетворило нове підприємство на світового лідера в галузі виробництва цієї продукції. Турбіни радіального типу, які випускалися протягом півсторіччя, виявилися в цей період малоконкурентоздатними в порівнянні з дизельними двигунами, що інтенсивно розвивалися. Керівництво "STAL-Laval Turbin AB" профінансувало створення нового типу суднового турбоагрегату, який одержав найменування "Advanced Propulsion" ("AP"). Надалі на його основі був створений агрегат "Very Advanced Propulsion" ("VAP").

Уперше представлений у 1963 р. турбоагрегат "AP" викликав величезний інтерес нафтових компаній, що обумовило значну кількість на нього замовлень. Кульмінацією виробництва турбоагрегату була перша половина 70-х років, коли близько 40 нових суден оснащувалися їм щорічно. За весь період на 310 суднах були встановлені більше 320 агрегатів "AP". Питома вага "STAL-Laval Turbin AB" на світовому ринку цієї продукції зростає з 10 до 35 %.

Серйозним ударом по судновому паротурбобудуванню стала енергетична криза 1973 р. Після цього в галузі суднового енергомашинобудування основна увага компанії стала зміщатися вбік від парових турбоагрегатів до газотурбінних двигунів. Значні зусилля були спрямовані на вдосконалювання базової конструкції двигуна GT35, потужність якого була доведена до 17 МВт із ККД 32 %.

Зростання виробництва "STAL-Laval Turbin AB" у 60–70-х роках було обумовлене не тільки судновим турбобудуванням, але й активною участю у створенні шведської та фінської атомної енергетики. У цей період компанія починає випуск енергетичних парових турбоагрегатів великої потужності. Перший з них (465 МВт) був поставлений у 1971 р. на атомну електростанцію м. Оскарсхамн. Сумарна потужність установлених у рамках цієї програми агрегатів складала близько 10 ГВт.

Необхідно відзначити, що труднощі у створенні радіальних турбін великої потужності зрештою змусили компанію перейти на випуск турбін осьового типу. Із цією метою в 1969 р. була укладена ліцензійна угода з компанією "Brown Boveri Ltd.", яка дала можливість виробляти агрегати потужністю більше 200 МВт.

У першій половині 70-х років унаслідок співробітництва з американською компанією "Pratt & Whitney Corp." створюється тривалий газотурбінний агрегат **GT200** (FT50) потужністю 70 МВт і ККД 29 %. Наприкінці 70-х компанія починає виробництво теплових насосів.

У 1982 р. "STAL-Laval Turbin AB" представляє новий промисловий паровий турбоагрегат типу "VAX" регульованою потужністю 10...100 МВт, створений з урахуванням досвіду проектування суднових агрегатів "AP" та "VAP".

У 1984 р. назва компанії змінюється на **"ASEA STAL AB"**. Разом з корпора-

цією "ASEA" завод у Фінспонзі в 1988 р. увійшов до складу корпорації "ASEA Brown Boveri Ltd." ("ABB"), після чого одержав найменування **"ABB STAL AB"**.

Спільне існування в рамках єдиного підприємства з науково-виробничим центром у м. Баден (Швейцарія) і Маннгейм (Німеччина) виявилось винятково плідним для газотурбобудування у Фінспонзі. У 1988 р. концерн "ABB" викуповує в "Sulzer Escher Wyss AG" (Швейцарія) права на виготовлення двигуна **GT10** потужністю 22 МВт, після чого налагоджує його виробництво на заводі в м. Фінспонг. З 1991 р. виготовляється модифікація двигуна GT10B (потужність – 25 МВт; ККД – 35,1 %), з 2002 р. – модифікація GT10C (30 МВт; 37,1 %).

У 1997 р. починається виробництво двигуна **GTX100** потужністю 45 МВт і ККД 37,8 %.

У 1999 р. після створення підприємства "ABB ALSTOM Power" завод у Фінспонзі одержує найменування **"ABB ALSTOM Power Sweden AB"**, у 2000 р. воно скорочується до **"ALSTOM Power Sweden AB"**.

У 2003 р. компанія "ALSTOM S.A." продала науково-виробничий центр у Фінспонзі концерну "Siemens AG". До повного впровадження придбаного бізнесу в компанію "Siemens AG" виконання зобов'язань за раніше укладеними договорами було покладене на компанію **"Siemens Demag Delaval Industrial Turbomachinery"** (підрозділ "Siemens AG"), до складу якої і увійшов завод.

У 2005 р. після реорганізації відділення "Siemens Power Generation" підприємство в м. Фінспонг одержало найменування **"Siemens Industrial Turbomachinery AB"**.

Необхідно відзначити, що з кінця 50-х років і дотепер науково-виробничий центр у м. Фінспонг поставив замовникам понад 250 газотурбінних агрегатів середньої та великої потужності.

* * *

У даний час у галузі газотурбобудування науково-виробничий центр у м. Фінспонг пропонує споживачам ряд агрегатів простої теплової схеми, які відрізняються високою економічною ефективністю, готовністю до експлуатації та гнучкістю в застосуванні. Серед таких агрегатів виділяють:

SGT-500 (до 2005 р. – GT35C) потужністю 17 МВт;

SGT-600 (GT10B) та SGT-700 (GT10C) потужністю 25 і 30 МВт;

SGT-800 (GTX100) потужністю 46 МВт.

На базі ГТД науково-виробничий центр організував випуск парогазових установок бінарного термодинамічного циклу. Виготовлювані двигуни використовуються також для створення когенераційних установок різноманітної комплектації.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун SGT-500 (GT35C)

Двигун SGT-500 (до 2005 р. – GT35C) являє собою промисловий ГТД, який має гарні масогабаритні характеристики і призначений для експлуатації в тяжких умовах у діапазоні потужностей 15...20 МВт (рис. 2.1.17). Особливості конструкції роблять SGT-500 ідеальним для економічного виробництва енергії в базовому режимі.

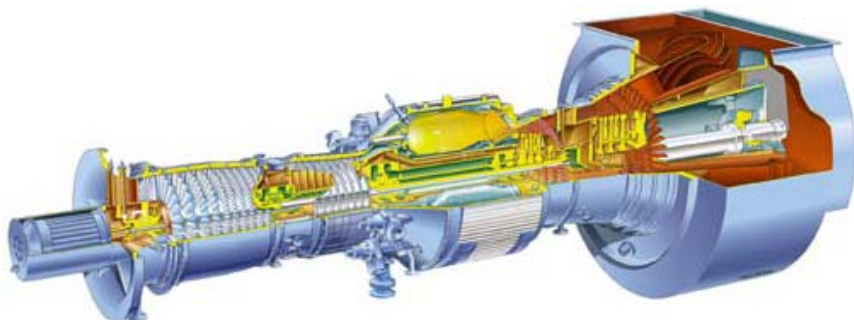


Рис. 2.1.17. Газотурбінний двигун SGT-500 (GT35)

Різні модифікації двигуна GT35 виготовляються науково-виробничим центром у Фінспонзі з 1957 р.

Двигун знаходить широке застосування у тих випадках, коли важливими є безупинний режим роботи зі збереженням номінальної потужності, висока готовність, простота обслуговування та можливість використання різних видів палива – у промисловості, на морських суднових і офшорних платформах, комунальному господарстві (особливо як варіант приводу мобільної сільської електростанції у малорозвинутих регіонах).

Модульне компактне компонування як самого SGT-500, так і виконаних на його основі енергетичних агрегатів обумовлює мінімальну кількість монтажних робіт безпосередньо на місці експлуатації та простоту технічного обслуговування, що дозволяє при необхідності здійснювати ремонтні роботи шляхом швидкої заміни окремих модулів.

Двигун відрізняється малошумною і бездимною роботою. Оптимальні пропорції камери згоряння сприяють бездимному спалюванню більшості видів рідкого і газоподібного палива. Допускається використання низькокалорійних й окислених газів, паливних сумішей (наприклад, газу і рідини, суміші різних рідин) та окремих сирих неочищених рідких палив, що обумовлює невелику величину експлуатаційних витрат і низьку вартість життєвого циклу.

Двигун SGT-500 задовольняє найсуровішим вимогам за рівнем шуму і діючим нормам щодо викидів оксидів азоту. Для ГТД, які працюють на одному виді палива, низькоемісійна система сухого спалювання ("DLE") забезпечує викиди NO_x нижче 25 ppm при роботі на газоподібному паливі та нижче 50 ppm при роботі на рідкому паливі. Для ГТД, що працюють на двох видах палива, для зниження емісії NO_x можливе впорскування води чи пари в секцію камери

згоряння. Двигун має високу готовність до експлуатації, яка підтверджена документами і перевищує 98 %.

У березні 2001 р. агентство "DET NORSKE VERITAS" ("DNV") видало морський сертифікат на модифікацію двигуна **GT35C2**. Відповідно до класифікації "DNV" цими агрегатами можуть оснащуватися швидкохідні та легкі судна (наприклад, пороми і судна аналогічного класу). Двигун GT35C2 є першим у своєму класі, який одержав цей сертифікат.

Завдяки можливості використання різних видів рідкого палива, включаючи дизельне паливо для суден і ряд видів нафтового палива, судовий двигун GT35C2 істотно перевершує за економічністю судові ГТД, сконструйовані на базі авіаційних двигунів.

Орієнтовна вартість SGT-500 за цінами 2003 р. становила близько 8 млн дол. (470 дол./кВт). Основні технічні характеристики різних модифікацій ГТА наведені в табл. 2.1.5.

Таблиця 2.1.5. Технічні характеристики агрегатів із двигуном SGT-500

Параметри	Модифікації ГТА			
	для приводу генератора	для приводу механізмів		суднова
Номінальна потужність, МВт	17,0	16,8	17,1	17,0
ККД, %	32,2	32,1	32,8	32,0
Витрата робочого тіла, кг/с	92,1	93,1	92,4	92,1
Міра підвищення тиску	12,0	12,3	12,0	
Температура газу за ГТД, К	647	650	649	651
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000/3600	6300	3450	3300
Маса, т	50			
Габарити, м	14,1×4,0×3,7			

Двигун виконаний за простою тепловою схемою, тривальним, із двокаскадним газогенератором і вільною силовою турбіною (рис. 2.1.18). Одноступінчаста турбіна високого тиску (ТВТ) приводить в обертання 8-ступінчастий компресор високого тиску (КВТ), двоступінчаста турбіна низького тиску – 10-ступінчастий компресор низького тиску. Вал, що поєднує турбіну і КНТ, проходить усередині порожнього вала турбокомпресора високого тиску (ТКВТ). Треступінчаста силова турбіна передає генеровану потужність споживачу.

Ротор ТВТ – консольний, ротори інших турбін – двохопорні. Задній підшипник ТНТ та передній підшипник силової турбіни розташовані в гарячій зоні між турбінами. В опорах роторів використані підшипники ковзання сегментного типу.

Корпуси компресорів виконані звареними, тонкостінними, без горизонтальних рознімів. Діафрагми компресорів – кільцеві, також без рознімів. Напрямні

лопатки приварені до внутрішніх і зовнішніх бандажів або припаяні твердим припоєм. Ротори компресорів складені з окремих кованих дисків із проміжними кільцями між ними.

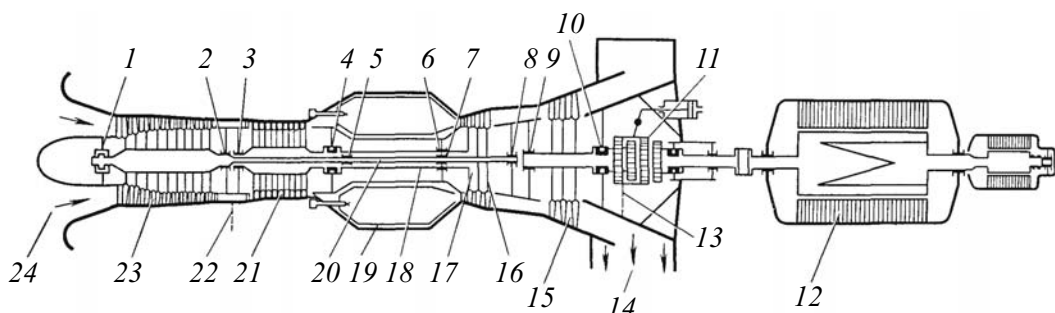


Рис. 2.1.18. Конструктивна схема двигуна SGT-500:

1, 4 і 10 – опорно-упорні підшипники; 2, 3, 5, 6, 7, 8 і 9 – опорні підшипники; 11 – роз'єднувальна муфта; 12 – генератор; 13 і 22 – відповідно задня і передня опори двигуна; 14 – вихід газу; 15 – СТ; 16 – ТНТ; 17 – ТВТ; 18 і 20 – відповідно вали ТКВТ і ТКНТ; 19 – КЗ; 21 – КВТ; 23 – КНТ; 24 – вхід повітря до компресора

Ротор КНТ стягнутий центральним болтом. Диски КВТ стягнуті болтами по периферії. Кріплення робочих лопаток – типу "ластівчин хвіст" з осьовим заведенням. Від осьових переміщень лопатки захищені плоскими пружинами, закладеними в денця пазів.

Після виготовлення ротори балансують, розбирають, установлюють між дисками кільцеві діафрагми, потім стягають диски болтами і всім набором вводять у корпус компресора.

Корпуси турбін виконані без горизонтальних рознімів. Ротори турбін за конструкцією аналогічні компресорним. Діафрагми підвішені до корпусів турбін на радіальних штифтах. Система кріплення діафрагм до корпусу захищена від потоку газу облицюванням з аустенітної сталі. Соплові лопатки 1-го ступеня ТВТ вільно переміщуються у відповідних прорізах зовнішнього і внутрішнього бандажів. Над робочими лопатками розташовані радіальні кільця. В усіх турбінах добре розвинуті дифузори.

Камера згоряння – прямотокова, трубчасто-кільцева (7 жарових труб), обладнана ЕВ-паливними пристроями. Зовнішній безрозмірний кожух можна зміщати в осьовому напрямку, чим забезпечується вільний доступ до жарових труб і до вхідної частини ТВТ.

Корпуси компресорів, камери згоряння і турбін являють собою єдину жорстку систему, закріплену на двох опорах. Жорстка подвійна опора встановлена на корпусі силової турбіни, гнучка подвійна опора – на корпусі турбокомпресора в зоні між КНТ і КВТ.

Валоповоротний пристрій турбокомпресора низького тиску (ТКНТ), який складається з електродвигуна і редуктора з обгінною муфтою, розміщено

в обтічнику КНТ. Максимальна споживана електрична потужність при запуску двигуна становить 150 кВт. Для пуску може також застосовуватися повітряна система.

Електричні станції, виконані на базі двигуна SGT-500, поставляються підприємством у блоково-контейнерному виконанні, у стані повної готовності до експлуатації. Маса контейнера становить 115 т.

З метою підвищення ефективності використання палива на основі двигуна SGT-500 створюються установки з утилізацією тепла відпрацьованих газів. Установлюваний на газовипуску ГТД котел-утилізатор може працювати за схемою без допалювання або з допалюванням природного газу чи рідкого палива будь-якого типу. Допалювання крім збільшення загальної продуктивності пари та її параметрів також підвищує здатність установки справлятися з коливаннями навантаження.

У котлі без допалювання може вироблятися близько 30 тонн пари в годину при тиску 1,5...4,0 МПа. У випадку допалювання досягаються підвищений тиск і продуктивність близько 90 т/год. Така схема утилізації тепла двигуна SGT-500 дозволяє одержати сумарну електричну і теплову потужність у кількості 35 МВт.

Виготовлювані підприємством у м. Фінспонг на базі SGT-500 утилізаційні установки знаходять широке застосування на заводах нафтоочищувальної та хімічної промисловості, підприємствах комунального господарства. Характеристики парогазових установок (відповідно з одним та двома двигунами SGT-500) наведені нижче:

	SCC-500 1×1	SCC-500 2×1
Потужність, МВт:		
на клеммах генератора	22,8	45,8
ГТД	16,9	33,9
парової турбіни	6,3	12,9
ККД на клеммах генератора, %		43,3

Ці ПГУ виконані з теплоутилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари.

Газотурбінні двигуни SGT-500 сьогодні експлуатуються більше ніж на 100 електростанціях як механічні приводи й в установках з утилізацією. Починаючи з 1968 р. (рік початку серійного виробництва модифікації GT35C) і до 2000 р. агрегати із цими двигунами напрацювали близько 4 млн год у базовому режимі. Деякі з них експлуатуються вже більше ніж по 100 тис. год без заміни яких-небудь істотно важливих компонентів і продовжують роботу з високою ефективністю.

Двигуни SGT-600 (GT10B) та SGT-700 (GT10C)

Двигун **SGT-600**, який до 2005 р. мав назву GT10B, є легким промисловим ГТД компактної конструкції, призначеним для експлуатації головним чином на номінальному режимі (рис. 2.1.19). Належить до класу ГТД потужністю

25 МВт. Може бути використаний для вироблення електроенергії, а також як механічний (наприклад, для компресорних станцій лінійних газопроводів та дотискних станцій газосховищ) і судновий приводи. Параметри робочого тіла на вихлопі дозволяють створювати на його основі установки, які ідеально вписуються як у когенераційний, так і парогазовий цикли (табл. 2.1.6).

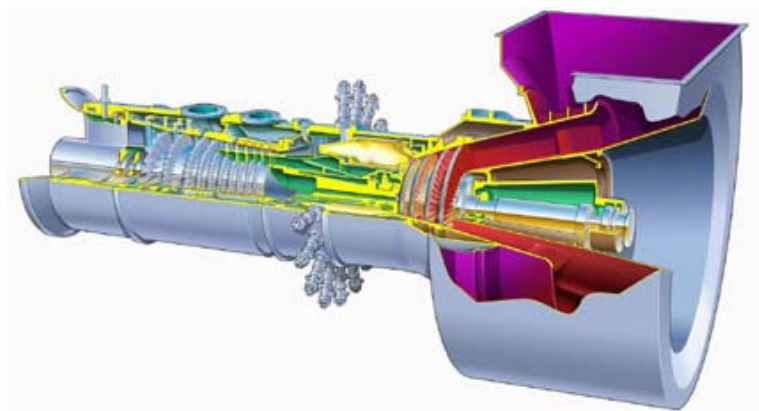


Рис. 2.1.19. Двигун
SGT-600 (GT10B)

Таблиця 2.1.6. Характеристики агрегатів із двигунами SGT-600 і SGT-700

Параметри	SGT-600 (GT10B)			SGT-700 (GT10C)		
	енергетичний	привідний	судновий	енергетичний	привідний	судновий
Номінальна потужність, МВт	24,8	25,4	24,4	29,1	30,1	29,2
ККД, %	34,2	35,1	34,7	36,0	37,3	36,3
Витрата робочого тіла, кг/с	80,4		79,4	91,1		91,4
Міра підвищення тиску	14,0	13,9	14,0	17,6	17,4	17,5
Температура газу за ГТД, К	816		811	791		793
Частота обертання силової турбіни, об/хв	7700			6500		
Маса, т	77					
Габарити, м	12,8×4,0×4,7					

Двигун задовольняє всім вимогам експлуатації на номінальному режимі протягом тривалого часу, що виражається в низькій величині віднесених на весь період експлуатації витрат, невисокій початковій вартості агрегату, невисоких витратах на паливо і технічне обслуговування. Двигун має тривалий життєвий цикл, легко обслуговується, допускає використання різних видів палива – від рідкого палива до природного газу. Компактна конструкція робить його застосування зручним на офшорних об'єктах та при модернізації існуючих установок.

Низька витрата палива (у т. ч. на часткових навантаженнях), короткі терміни монтажу і запровадження в дію також відносять до переваг цього двигуна. Продовжений міжремонтний ресурс сприяє підвищенню коефіцієнта готовності – вирішального фактора успішної експлуатації. У даному класі двигунів SGT-600 має найтриваліший досвід роботи системи сухого спалювання палива з низькою емісією NO_x .

Стандартний обсяг постачання SGT-600 містить у собі засоби шумоглушіння, допоміжні системи, систему керування й електричну систему.

Виготовлюється заводом у м. Фінспонг із 1991 р. Є подальшим розвитком двигуна GT10 (потужність – 21,8 МВт, частота обертання силової турбіни – 7700 об/хв, ККД – 32,8 %, рік початку виробництва – 1981), створеного підприємством "Sulzer Escher Wyss AG" (Швейцарія). Права на виготовлення цього ГТД були викуплені концерном "ASEA Brown Boveri" для свого (на той час) підрозділу в м. Фінспонг у 1988 р.

Двигун SGT-600 виконаний двовальним з вільною силовою турбіною. Компресорна частина складається з 10 осьових ступенів, перші два з яких є трансзвуковими. Перші два ступені також мають регульовані напрямні апарати. За 2-м і 5-м ступенями передбачені щілинні отвори для випускання повітря. Вони разом із двома випускними клапанами призначені для запобігання помпажу компресора при пусках та різких змінах навантаження ГТД. Обидва клапани розташовані у верхній половині корпусу.

Корпус компресора, спільний для всієї компресорної секції, має горизонтальне рознімання, що полегшує обслуговування і ремонт. Ротор компресора виконаний з дисків, зварених електронно-променевим зварюванням. Робочі лопатки 1-го ступеня виготовлені з титану. Інші робочі та напрямні лопатки виконані з хромонікельмолібденового сплаву і мають спеціальне покриття для захисту від корозії.

Двоступінчаста турбіна компресора містить у собі статор із сопловими лопатками та роторний вузол, поєднаний із проміжним валом за допомогою болтів. Для зменшення кінцевих витоків застосовані стільникові ущільнення. Робочі й соплові лопатки виготовляються способом точного лиття та мають внутрішнє конвективне охолодження. На всі поверхні лопаток нанесене спеціальне антикорозійне напилювання. Корпус турбіни складений із суцільнометалевих циліндричних елементів з вертикальним розніманням, що дозволяє уникнути його короблення при високих температурах, мінімізувати радіальні зазори і, отже, аеродинамічні втрати.

Парк машин SGT-600 оснащений низькоемісійними системами сухого спалювання ("DLE"), які істотно знижують негативний вплив вихлопних газів на навколишнє середовище. У цілому, наробіток системи "DLE" на двигунах SGT-600 перевищує 1,5 млн год. Система "DLE", відома як EV-пальник ("Environmental Vortex"), була розроблена для GT10B у 1990 р. У ній застосо-

вується унікальний і в той же час дуже простий метод змішання газоподібного палива та повітря, що дозволяє знижувати температуру полум'я в камері згоряння. У результаті виникає поєднання низького рівня викидів і високого ККД, що є особливо важливим для базового режиму експлуатації.

Прямотокова кільцева камера згоряння двигуна SGT-600 оснащена 18-ма EV-пальниками. Пальник являє собою конус, розділений на дві частини, які дещо зміщені одна відносно другої. Унаслідок цього утворюються канали для надходження повітря для горіння. Основний потік газу також надходить через ці канали через поздовжні труби. Первинне паливо впорскується в насадку конуса. У результаті виходить збагачена паливна суміш, що дає можливість стабілізувати полум'я в широкому діапазоні навантаження. Далі процес горіння контролюється байпасною системою, яка регулює кількість подаваного надлишкового повітря.

Існуюча конструкція забезпечує рівень емісії оксидів азоту менше 25 ppm при роботі на природному газі в діапазоні навантаження 50...100 %. На деяких агрегатах рівень емісії NO_x виражався однорозрядним числом. Двигуни SGT-600 із встановленою системою "DLE" успішно експлуатуються в різних галузях і в широкому діапазоні умов навколишнього середовища – від Арктики до тропіків, на висоті до 1500 м над рівнем моря.

Технологія "DLE" застосовується для роботи на двох видах палива, однак, для зниження викидів NO_x при спалюванні рідких палив потрібне впорскування води. При роботі на рідкому паливі на повному навантаженні рівень викидів складає менше 42 ppm при невеликому співвідношенні витрати води і палива.

З метою зниження концентрації CO у відпрацьованих газах (до 10 ppm) на газовипуску може розміщатися пристрій (на основі платини й алюмінію), який каталітично прискорює окислювання окису вуглецю.

Двоступінчаста силова турбіна виконана консольною з розміщенням обох опор у більш холодній зоні. Поздовжній переріз турбіни (для першої модифікації GT10) наведений на рис. 2.1.20.

Неохолоджувані робочі лопатки обох ступенів оснащені бандажними полицями. За допомогою хвостовиків ялинкового типу вони кріпляться в дисках, які поєднані між собою і валом ротора болтовим з'єднанням.

Корпус соплового апарата і передній корпус підшипників відлиті з хромонікельмолібденової сталі, задній корпус – із чавуну. Для всіх інших елементів силової турбіни застосовані зварені конструкції. Перехідний корпус виготовлений з високолегованого, а вихідний корпус і дифузور – з низьколегованого теплостійкого матеріалу. Фундаментна рама виготовлена з котлового заліза, а опори – з нелегованої сталі.

Для полегшення доступу до проточної частини турбіни компресора передня частина перехідного корпусу виконана рознімною в горизонтальній площині. Це дозволяє також здійснювати демонтаж газогенератора без зняття яких-небудь

деталей із силової турбіни. Корпуси соплового апарата та підшипникових вузлів також мають рознімання в горизонтальній площині для полегшення робіт з огляду і технічного обслуговування. У корпусі соплового апарата передбачені радіальні свердління для введення вимірювальних зондів. Усе технічне обслуговування силової турбіни виконують без демонтажу. За умовами міцності дифузори і нижня частина вихідного корпусу виготовлені як одне ціле. Верхня частина вихідного корпусу для забезпечення транспортування ГТД залізницею зроблена знімною.

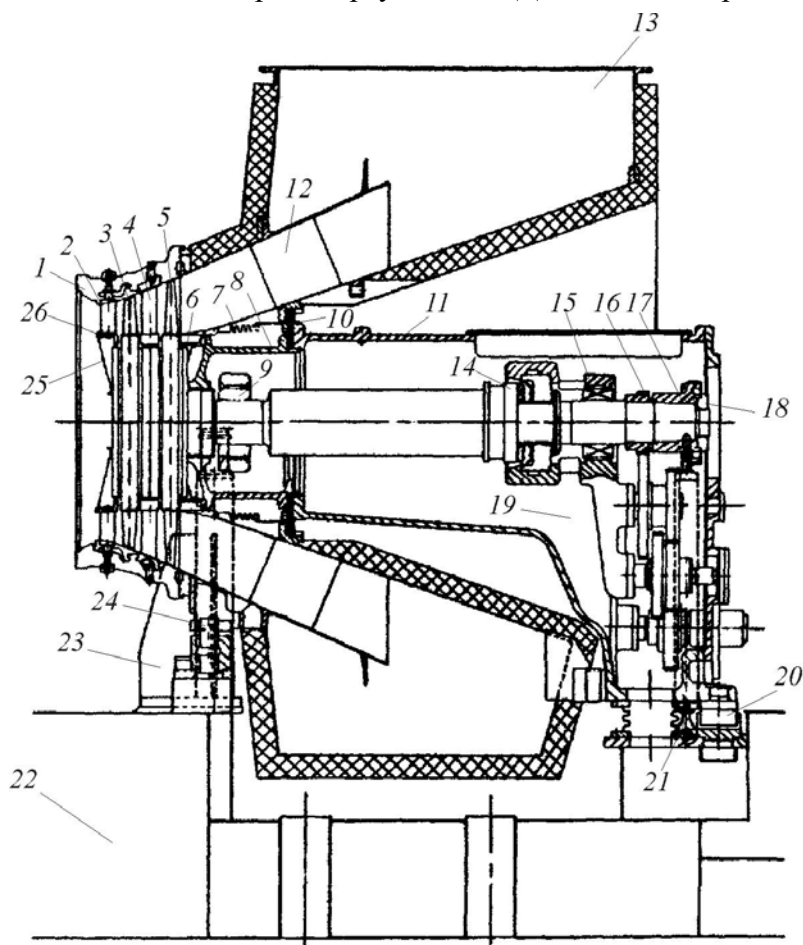


Рис. 2.1.20. Силова турбіна двигуна GT10:

1 – корпус соплового апарата; 2, 4 – відповідно соплові лопатки 1-го та 2-го ступенів; 3, 5 – відповідно робочі лопатки 1-го та 2-го ступенів; 6 – лабіринтове ущільнення СТ з боку газу; 7 – сильфонне ущільнення; 8 – передній корпус підшипників; 9, 15 – відповідно передній та задній опорні підшипники; 10 – опора; 11 – задній корпус підшипників і передачі; 12 – нижня частина вихідного корпусу і дифузора; 13 – верхня частина вихідного корпусу; 14 – упорний підшипник; 16 – косозуба шестірня; 17 – маточина зубцюватої муфти; 18 – стопорна гайка маточини; 19 – коробка приводу допоміжних механізмів; 20 – напрямна між СТ і фундаментною рамою; 21, 23 – відповідно опори з боку споживача та газогенератора; 22 – фундаментна рама СТ; 24 – точка фіксації між СТ і фундаментною рамою; 25 – пластина ущільнення; 26 – ущільнення

Лопатки соплового апарата 1-го ступеня виготовлені точним литтям з високолегованого матеріалу Х-45 на основі кобальту. У 14 сегментах об'єднані 42 лопатки, по три у кожному. Сегменти вставлені в кільцеві канавки корпусу соплового апарата і фіксовані радіальними штифтами. Аналогічну конструкцію має другий сопловий апарат. Лопатки робочих коліс виготовлені точним литтям зі сплаву "Inconel 758LC".

Лопатки соплового апарата 1-го ступеня виконані порожніми для забезпечення їхнього охолодження й подачі повітря на охолодження диска 1-го ступеня турбіни. Соплові лопатки 2-го ступеня – неохолоджувані. У силовій турбіні застосовані стійкі до стирання стільникові ущільнення.

Обидва опорні підшипники є стандартними для турбобудування і мають чотири сегменти. Нижні сегменти обладнані термодатчиками. Центрування підшипників і регулювання зазорів здійснюють за допомогою прокладок. Упорний підшипник складається з двох частин, має вісім сегментів з безпосереднім обприскуванням маслом, що забезпечує рівномірний розподіл температури і високу несучу здатність підшипника. Контроль за тепловим станом здійснюють шляхом вимірювання температури масла на виході з підшипника.

Силова турбіна кріпиться до фундаментної рами чотирма опорами. Опори з боку газогенератора за допомогою болтів жорстко кріпляться до рами, дві інші опори виконані у вигляді кульових шарнірів, що забезпечує можливість подовжнього переміщення турбіни щодо фундаментної рами.

Розрахункова довговічність силової турбіни, визначена за лопатками, складає не менше 100 тис. год (приблизно 20...30 років експлуатації).

Зовні весь двигун закритий шумопоглинальним та теплозахисним кожухом, у якому з кожної сторони передбачені три люки для обслуговування механізмів. Для виконання великого обсягу обслуговування кожух можна легко зняти.

Швидкість обертання силової турбіни дозволяє в більшості випадків здійснювати безпосередній (безредукторний) привід споживача. Це також дає можливість знижувати оберти турбіни під час експлуатації до 50 % від номінальних, що значно розширює діапазон режимів роботи і зменшує потребу в перепусканні та дроселюванні повітря в компресорній частині. У результаті підвищується ефективність експлуатації всього ГТА.

Для спільної роботи з генератором, який виробляє електричний струм частотою 50 або 60 Гц, передбачається наявність редуктора.

Для пуску ГТД передбачені два способи: електродвигун та невелика розширювальна турбіна. В обох випадках розкручування ротора компресора відбувається через установлений у входному корпусі пусковий вал, який через муфту зчеплення, встановлену в маточині, поєднаний з валом компресора. Як тільки ротор досягає необхідної частоти обертання, муфта зчеплення автоматично від'єднує пусковий вал від вала ротора.

Пусковий електродвигун поєднується з пусковим валом через гідromуфту.

Розширювальна турбіна безпосередньо з'єднується з пусковим валом. Як робоче тіло в ній використовують, як правило, газ з магістрального газопроводу, який після розширення в турбіні спалюють.

Особливістю конструкції корпусу двигуна є часте використання поперечних рознімів і моноблокові кільцеві компоненти статора в гарячій частині ГТД, що забезпечує малу величину теплових деформацій. Система змащення є спільною для двигуна, редуктора та привідного механізму.

* * *

Двигун **SGT-700** (до 2005 р. – GT10C) (рис. 2.1.21) – наступна модифікація відомого промислового GT10, яка відрізняється більш високими початковими параметрами робочого тіла, більшою номінальною потужністю і ККД (див. табл. 2.1.6). Введена у виробництво у 2002 р.

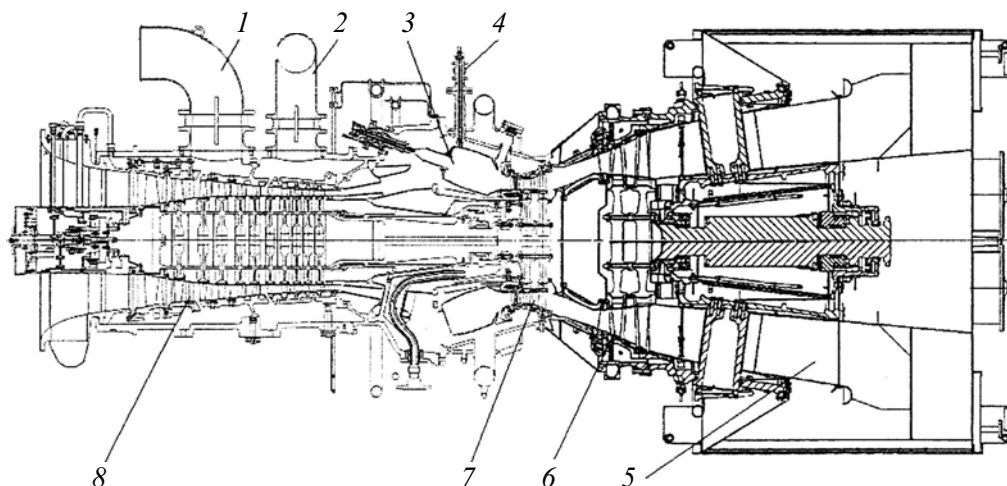


Рис. 2.1.21. Подовжній переріз двигуна SGT-700 (GT10C):

1, 2 – антипомпажні клапани № 1 і № 2 відповідно; 3 – КЗ; 4 – запальник;
5 – випускний дифузор; 6 – СТ; 7 – турбіна компресора; 8 – компресор

Цей двигун може бути використаний як механічний та судновий приводи, а також для вироблення електроенергії в парогазовому або когенераційному циклах. Монтується SGT-700 у спільному модулі з усіма допоміжними системами і може транспортуватися єдиним блоком. У конструкції застосовані типові корозійностійкі матеріали і покриття, що дозволяє використовувати його на морських об'єктах.

Двигун SGT-700 обладнаний низькоемісійною системою сухого спалювання палива ("DLE"); працює як на газоподібному, так і на рідкому паливах з оперативним переключенням з одного виду на інший. Для оптимізації експлуатаційних якостей лопатки силової турбіни спрофільовані з використанням найсучасніших технологій, що забезпечує мінімальні втрати в проточній частині

та відповідно максимальне використання наявного теплоперепаду в турбіні. Конструкція ГТА також забезпечує легкий доступ до камери згоряння і пальникам під час обслуговування.

Удосконалений 11-ступінчастий компресор (частота обертання 9600 об/хв, перші два ступені – трансзвукові) характеризується більш високою мірою підвищення тиску (порівняно з SGT-600) і збільшеною масовою витратою повітря. Вхідний напрямний апарат та напрямні апарати перших двох ступенів виконані регульованими.

Кільцева камера згоряння оснащена новітнім удосконаленим варіантом низькоемісійних паливних пристроїв – тип "AEV" ("Advanced Environmental Vortex") (див. також опис двигуна SGT-800). Пальники "AEV" обмежують викиди NO_x до 15 ppm при роботі на газоподібному паливі та до 42 ppm при використанні рідкого палива. Викиди CO обмежені до 25 ppm для обох видів палива.

Частота обертання силової турбіни дозволяє відмовитися від застосування редуктора при використанні двигуна для приводу нагнітачів газу або компресорів технологічних потреб. Цифровий блок керування ГТА являє собою надійну, перевірену в експлуатації автоматичну систему керування, розроблену раніше спеціально для GT10B.

* * *

На базі газотурбінних двигунів SGT-600 та SGT-700 створені парогазові установки бінарного термодинамічного циклу **SCC-600 1×1**, **SCC-600 2×1**, **SCC-700 1×1** та **SCC-700 2×1**. Відносно висока температура відпрацьованих газів ГТД дозволяє використовувати в їхньому складі котли-утилізатори без додаткового спалювання палива.

Енергоустановка парогазового циклу на базі розглянутих двигунів може мати одиночну чи здвоєну конфігурацію. Для обох конфігурацій розроблені типові компонування. Так, наприклад, в установці SCC-600 1×1 (SCC-700 1×1) спільний генератор, установлений у центрі, приводиться в дію двигуном через редуктор і зчепну муфту з однієї сторони та паровою турбіною – з іншої. Потік відпрацьованого газу відводиться від ГТД по горизонтальному каналу до парового котла-утилізатора і виводиться через вихлопну трубу, змонтовану нагорі. Поруч розміщуються головний блоковий трансформатор, розподільний пристрій низької напруги, установка водопідготовки і робочий цех. Швидкість і легкість монтажу ПГУ обумовлюються тим, що її основні компоненти (ГТД та генератор) поставляються попередньо встановленими на спільній рамі.

Парогазові установки виконані з утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари. Їхні технічні характеристики наведені в табл. 2.1.7.

Парогазові установки типу SCC-600 та SCC-700 крім вискоефективного виробництва електричної енергії можуть також поставляти споживачу значну

кількість теплової енергії. Спільне вироблення цих двох видів енергії істотно знижує величину питомих капіталовкладень у будівництво теплоелектроцентралей цього типу. При ККД на клеммах генератора близько 50 % ефективність корисного застосування хімічної енергії палива зростає до 87 %.

Таблиця 2.1.7. Характеристики парогазових установок типу СС10

Параметри	SCC-600 1×1	SCC-600 2×1	SCC-700 1×1	SCC-700 2×1
Потужність, МВт:				
на клеммах генератора	36,1	73,2	41,3	83,6
ГТД	24,0	48,0	28,4	56,8
парової турбіни	12,1	25,2	12,9	26,8
ККД на клеммах генератора, %	50,5	50,7	51,1	51,8

Коефіцієнт співвідношення "електроенергія–тепло" у таких установках дорівнює приблизно 1,0. Конденсатор парової турбіни є водночас і підігрівником води теплофікаційної мережі. У деяких випадках можуть використовуватися котли-утилізатори з допалюванням палива, чим підтримується виробництво тепла і частково електроенергії при непрацюючих ГТД.

Двигун SGT-800 (GTX100)

В енергетичному газотурбінному двигуні SGT-800 (до 2005 р. – GTX100) міцність і надійність промислової конструкції поєднуються з високими параметрами ефективності та низьким рівнем шкідливих викидів. У цьому двигуні втілені новітні досягнення газотурбінної технології ряду компаній, до складу яких у свій час входив науково-виробничий центр у м. Фінспонг. Двигун SGT-800 дозволяє в мінімально короткий термін і з максимальною ефективністю вирішувати питання, пов'язані із забезпеченням комбінованого виробництва тепла й електричної енергії. Агрегати на його основі мають відмінні екологічні характеристики, є компактними і простими в монтажі.

Цей двигун розрахований на безупинну експлуатацію з повним навантаженням. В установках комбінованого циклу двигун відрізняється дуже високою конкурентоздатністю за показником витрат на життєвий цикл. Високі ККД простого циклу і теплопродуктивність у випадку когенерації роблять його ідеальним для підприємств обробної промисловості. Виготовляється з 1997 р.

Основні технічні параметри енергетичного ГТА з двигуном SGT-800 становлять: потужність на клеммах генератора – 45,0 МВт, ККД на клеммах генератора – 37,0 %, витрата робочого тіла – 130 кг/с, міра підвищення тиску – 19,5, температура газу за ГТД – 811 К, частота обертання ротора турбіни – 6600 об/хв, маса – 90 т, довжина – 14,5 м, ширина – 7,0 м, висота – 6,5 м.

Двигун виконаний одновальним, має у своєму складі 15-ступінчастий осьовий компресор і триступінчасту турбіну (рис. 2.1.22). При розробці

компресора була застосована фірмова технологія керованої дифузорності міжлопаткових каналів. Перші три ступеня мають поворотні напрямні апарати. Для мінімізації витоків крізь периферійний зазор між робочими лопатками компресора й елементами його корпусу на 4-15-му ступенях застосовані спеціальні зношувані ущільнення. Замки робочих лопаток секції високого тиску (11–15-й ступені з найменшою довжиною лопаток) виготовлені з матеріалу з малим коефіцієнтом теплового розширення, що дає можливість зменшити периферійний зазор. Для полегшення доступу до внутрішніх вузлів корпус компресора має вертикальне подовжнє рознімання. Охолодне повітря для гарячих частин турбіни відбирається з компресора за 3, 5, 8, 10-м та 15-м ступенями.

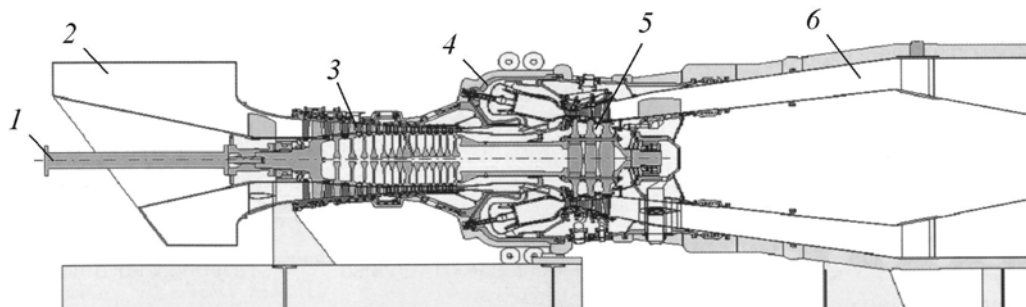


Рис. 2.1.22. Поздовжній переріз двигуна SGT-800:

1 – вал відбирання потужності; 2 – повітропідведення; 3 – компресор; 4 – КЗ;
5 – турбіна; 6 – газовипуск

Кільцева камера згоряння двигуна являє собою зварену конструкцію. Внутрішня поверхня має термозахисне покриття, яке знижує рівень теплопередачі та продовжує термін служби камери.

Турбінна частина з метою спрощення технічного обслуговування розроблена як єдиний модуль. При створенні геометрії її проточної частини застосовувалися сучасні методи проектування. Для 1-го і 2-го ступенів турбіни застосована та ж технологія охолодження, що й для двигунів типу GT24/GT26 фірми "ALSTOM S.A.". Робочі лопатки 1-го ступеня мають монокристалічну структуру. Елементи статора турбіни охолоджуються відібраним з компресора повітрям, яке також використовується для ущільнення зазорів між статором і ротором турбіни.

Ротор ГТД установлений на двох опорах з підшипниками ковзання, які мають самовстановлювальні вкладиші. Його компресорна частина виготовлена цілком звареною (за допомогою електронно-променевого зварювання); турбінна частина складається з окремих дисків, поєднаних між собою і валом периферійними стяжними болтами.

Для спрощення конструкції та підвищення економічності агрегату при когенерації або в парогазовому циклі привід генератора здійснюється з "холодної" (компресорної) сторони ротора. Вихід відпрацьованих газів із двигуна – осьовий.

Двигун SGT-800 використовується для виробництва електричного струму частотою 50 або 60 Гц, для чого між ним та чотириполюсним електрогенератором установлюється редуктор, який має здвоєну косозубу циліндричну передачу і знижує частоту обертання ротора до 1500 або 1800 об/хв. Пусковий електростартер ГТД підключений до основного редуктора через муфту синхронного самопереключення й окремий пусковий редуктор. Двигун, редуктор та генератор мають спільну систему змащення. Як мастило використовується стандартне турбінне мінеральне масло.

Застосування принципу модульності при створенні як самого двигуна, так і агрегатів на його основі дозволяє спростити технічне обслуговування та скоротити час простоїв.

Вплив SGT-800 на навколишнє середовище враховувався на кожному етапі його створення, включаючи дослідження й розробку, проектування, виготовлення та постачання, експлуатацію, ремонт і технічне обслуговування. Нова екологічно чиста система спалювання палива "AEV" ("Advanced Environmental Vortex") дозволяє знизити викиди NO_x при роботі на газоподібному паливі до 15 ppm і до 25 ppm при використанні рідкого палива в діапазоні навантаження 50...100 %. Технологія "AEV" забезпечує найвищу експлуатаційну гнучкість як камери згоряння, так і двигуна в цілому.

Новий паливний пристрій був створений на технологічній базі перевіреного часом EV-пальника, розробленого у 1988 р. За даними на 2005 р. сумарний наробіток двигунів з EV-пальником перевищував 2,5 млн год.

Перший SGT-800 був поставлений на електростанцію м. Гельсінборг (Швеція) у 1999 р. Приймання замовником цього двигуна було здійснене навесні 2001 р. У даний час підприємство у Фінспонзі реалізує замовлення на SGT-800 для експлуатації в різних конфігураціях. Це агрегати простої теплової схеми (як резервне джерело електроенергії), установки комбінованого циклу та теплофікаційні когенераційні установки, які призначені для різних галузей промисловості. Сумарний наробіток двигунів SGT-800 за даними на 2005 р. досяг 110 тис. год.

На базі двигуна SGT-800 створені парогазові установки бінарного термодинамічного циклу **SCC-800 1×1** та **SCC-800 2×1**, технічні характеристики яких наведені нижче:

	SCC-800 1×1	SCC-800 2×1
Потужність, МВт:		
на клеммах генератора	63,9	129,1
ГТД	44,1	88,2
парової турбіни	20,5	42,2
ККД на клеммах генератора, %	53,0	53,5
Відбір потужності на власні потреби ПГУ, кВт	700	1300

Висока питома потужність цих установок, віднесена до зайнятої площі, дозволяє зручно розміщати їх в малогабаритних умовах виробничих площ. Привід генератора з "холодної" сторони й осьовий вихлоп газів дають можливість установлювати котел-утилізатор в одну лінію з ГТД і паровою турбіною, що уможлиблює розміщення установки в дуже компактному вузькому будинку. Крім того, знижуються витрати на спорудження фундаменту, оскільки при осьовому вихлопі можливе компонування на одному рівні.

Усі головні компоненти поставляються вже змонтованими на рамі, у т. ч. на окремій рамі монтуються допоміжні системи, які розташовуються вздовж осьової лінії разом із двигуном і паровою турбіною.

Зазвичай у схемі парогазового циклу парова турбіна монтується неспіввісно з ГТД. В установках SCC-800 застосовується нетрадиційна однолінійна схема, за якою двигун і парова турбіна приводять у рух спільний генератор, розташований між ними.

Конфігурація установок SCC-800 з одним (SCC-800 1×1) та двома (SCC-800 2×1) газотурбінними двигунами аналогічна конфігурації установок типу SCC-700. У складі ПГУ використовуються утилізаційні контури двох тисків.

2.1.4. Науково-виробничий центр у м. Лінкольн (Великобританія)

Науково-виробничий центр у м. Лінкольн* веде своє походження із січня 1857 р., коли в цьому місті Джозефом Растоном (рис. 2.1.23) з партнерами було організоване підприємство з виробництва сільськогосподарського встаткування **"Ruston, Burton & Proctor Company"**. З липня того ж року – **"Ruston Proctor & Company"**.



Рис. 2.1.23. Джозеф Растон (1835–1897)

Якщо первісна чисельність працюючих була 25 чол., то вже у 1864 р. вона становила кілька сотень, а в 1889 р., маючи у своєму складі 1600 чол., це підприємство було однією з найбільших промислових фірм Англії.

Широка мережа представництв компанії в інших країнах була організована Дж. Растоном. Великим попитом користувалися вироблені нею пересувні та стаціонарні парові двигуни, молотильні машини, ескаватори, котли, насоси, парові котки, локомотиви. Продукція підприємства неодноразово відзначалася призами на міжнародних виставках. Наприкінці XIX ст. компанія починає виробництво двигунів внутрішнього згоряння.

У роки Першої Світової війни "Ruston Proctor & Co." додатково організовує випуск продукції військового призначення. У цей період компанія була третім

* Центр графства Лінкольншир у Східній Англії. Населення в 2001 р. – 85 тис. чол. Адреса підприємства: Ruston House, Waterside South, Lincolnshire, Lincoln LN5 7FD, United Kingdom.

у Великобританії найбільшим виробником літаків-винищувачів. Усього аеропланів було випущено більше 2750 од. Також було виготовлено більше 4000 авіаційних двигунів. Крім цього, підприємство виробило 127 двигунів для підводних човнів, близько 30 тис. морських мін, для російських союзників було виконане постачання 442 потужних тракторів.

У вересні 1918 р. до складу компанії входить розташоване неподалік у м. Грентхем підприємство "R. Hornsby & Son", яке було засноване у 1815 р. і в останні роки спеціалізувалося на виробництві двигунів внутрішнього згоряння. Нове підприємство одержало назву "**Ruston & Hornsby Ltd.**".

Після війни компанія освоєє випуск легкових автомобілів, однак, не витримуючи конкуренції з іншими фірмами, припиняє їхнє виробництво у 1925 р., виготовивши близько 1300 машин. Аналогічно склалася ситуація щодо виробництва в цей період тракторів для фермерських господарств.

У 20–30-х роках інтенсивно розвивається дизелебудування. Кількість виготовлених у цей період двигунів нараховує кілька десятків тисяч. З 1931 р. ведеться виробництво дизельних локомотивів і незабаром "Ruston & Hornsby Ltd." стає одним з найбільших у світі виробників цієї техніки.

У роки Другої Світової війни в Англії швидкими темпами починає розвиватися газотурбобудування. Обстановка військового періоду стала причиною того факту, що технологія виробництва авіаційних ГТД не була закріплена за якою-небудь однією компанією, а стала власністю водночас декількох фірм-виробників. Удало склалася ситуація для "Ruston & Hornsby Ltd.", якій у 1946 р. удалося залучити до співробітництва кілька колишніх учасників групи Ф. Віттла на чолі з Г. Фейлденом. Уже у 1949 р. були закінчені випробування експериментального двигуна "ЗСТ". Успішні результати випробувань дозволили у 1952 р. почати серійне виробництво промислових двигунів типу "ТА". Потужність перших з них становила 750 та 900 кВт.

Перше постачання цих ГТД було здійснене у тому ж році на нафтовидобувні промисли Близького Сходу. Незабаром після цього двигунами компанії було оснащено газове родовище в Італії. У 1956 р. партія ГТД була поставлена в м. Літл Рок (штат Арканзас, США). У великих кількостях продавалася модифікація двигуна потужністю 1860 кВт. Успішно реалізовувалися й інші моделі цього типу.

Наприкінці 60-х років компанія починає виробництво двигунів типу "TD", які мали потужність 3,0 МВт. Незабаром після цього вимоги нафтової промисловості обумовили необхідність створення більш компактного ГТД потужністю 2,24 МВт, який одержав найменування **TB3000**. Пізніше була випущена модифікація цього двигуна **TB5000** потужністю 3,73 МВт.

На основі розробленого у 50-х роках, але широко незастосовуваного ГТД **TE500** (375 кВт) у 60-х роках створюється двигун **TF1100** (820 кВт).

Подальшим розвитком двигунів типу "TB" став уперше представлений у 1981 р. ГТД "**Tornado**" потужністю 6,34 МВт. У 1984 р. підприємство органі-

зовує виробництво газотурбінних агрегатів на основі газогенераторів компанії "Rolls-Royce plc", що мали потужність 15 і 25 МВт. У 1988 р. на світовий ринок виходить новий 4-мегаватний двигун **"Typhoon"**.

Необхідно відзначити, що у другій половині 60-х років у "Ruston & Hornsby Ltd." відбулися значні реорганізаційні зміни. Почалися вони після того як підприємство в листопаді 1966 р. було придбано компанією "English Electric Co.". Через два роки вже "English Electric Co." у свою чергу переходить у власність англійської корпорації "The General Electric Co. plc" ("GEC"). Протягом реорганізації підрозділ, що займався виробництвом дизелів великої потужності, був поєднаний з дизельним виробництвом фірми "Vulcan Works" у м. Ньютон-ле-Віллоуз (раніше належала "English Electric Co.") і одержав назву "Ruston Diesels Ltd.". Виробництво дизелів малої потужності переміщується у м. Стаффорд і стає частиною "Dorman Diesels Ltd.". Філія в Колчестері одержує назву "Rahman Diesels Ltd.". Виробництво ескаваторів, що велося у Лінкольні, відокремлюється у "Ruston Bucyrus factory". На базі газотурбінного виробництва створюється підприємство **"Ruston Gas Turbines Ltd."**, яке доповнюється лінією турбокомпресорів компанії "Napier Turboblower", яке переміщується з Ліверпуля в Лінкольн.

У рамках підприємства **"European Gas Turbines Ltd."**, яке утворилося в 1989 р. унаслідок угоди між "GEC" та французьким концерном "Compagnie Generale d'Electricite" і входило до складу корпорації "GEC ALSTHOM S.A", а потім "ALSTOM S.A", завод у Лінкольні почав у 1995 р. виробництво двигуна **"Tempest"** (потужність 8 МВт; ККД 31 %), у 1997 р. – двигуна **"Cyclone"** (13 МВт; 36 %). Продовжувалося виробництво таких двигунів, як "Hurricane" (1,73 МВт; 26 %), TB5000 (4,15 МВт; 27 %), "Typhoon" (5 МВт; 32 %) і "Tornado" (7 МВт; 33,5 %).

У 1999 р. науково-виробничий центр у Лінкольні перейшов до складу компанії "ABB ALSTOM Power", а в 2000 р. – до корпорації "ALSTOM S.A.". Відповідно змінювалися і його найменування – **"ABB ALSTOM Power UK Ltd."** та **"ALSTOM Power UK Ltd."**.

У 2003 р. майже збанкрутіла "ALSTOM S.A." продала завод у Лінкольні концерну "Siemens AG". До повного впровадження придбаного бізнесу до складу "Siemens AG" виконання зобов'язань за раніше укладеними договорами було покладено на її підрозділ – компанію **"Siemens Demag Delaval Industrial Turbomachinery"**, до складу якої і ввійшов науково-виробничий центр у м. Лінкольн.

У 2005 р. підприємство в Лінкольні одержало нове найменування – **"Siemens Industrial Turbomachinery Ltd."**.

* * *

На сьогодні науково-виробничий центр у м. Лінкольн пропонує споживачам ряд агрегатів простої теплової схеми, які відрізняються високою економічною ефективністю, готовністю до експлуатації та гнучкістю в застосуванні.

Можна відзначити такі агрегати:

SGT-100 (до 2005 р. – "Typhoon"), потужність різних модифікацій якого становить 4,3...5,3 МВт, ККД – 30...32 %;

SGT-200 ("Tornado") потужністю 6,7...7,7 МВт, ККД 31,5...33,5 %;

SGT-300 ("Tempest") потужністю 7,9 МВт, ККД 31,2 %;

SGT-400 ("Cyclone") потужністю 12,8...13,4 МВт, ККД 34,8...36,2 %.

На базі названих двигунів виготовляється ряд парогазових та когенерацийних установок.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигуни SGT-100 ("Typhoon")

Газотурбінні двигуни SGT-100 (до 2005 р. – "Typhoon") потужністю 4...5 МВт були спеціально розроблені для приводу генераторів електричного струму і використання у складі когенераційних установок; ефективно та економічно працюють на різноманітних видах палива й обладнані новітніми засобами зниження емісії шкідливих речовин. Енергетичні ГТА на основі SGT-100 мають компактну конструкцію, яка істотно полегшує їхнє транспортування і монтаж як на сухопутних об'єктах, так і морських платформах.

Двигуни SGT-100 внесені до Регістру Ллойда з морських перевезень і в такий спосіб сертифіковані до застосування у складі пропульсивних установок суден з електричною передачею потужності. Ці ГТД є також ідеальними джерелами енергії для плавучих систем видобутку, збереження та перевантаження нафти.

У даний час випускаються чотири енергетичні модифікації цього двигуна: "Typhoon 435", "Typhoon 470", "Typhoon 505" та "Typhoon 525" (табл. 2.1.8). Для використання як промисловий механічний привід, призначеного для важких режимів експлуатації, розроблена двовальна високоекономічна модифікація цього ГТД потужністю 5 МВт.

Таблиця 2.1.8. Характеристики агрегатів із двигуном SGT-100

Параметри	Модифікації агрегатів				
	для приводу генератора				для приводу механізмів
	"435"	"470"	"505"	"525"	
Номінальна потужність, МВт	4,34	4,7	5,05	5,25	4,95
ККД, %	30,1	30,2		30,5	32,0
Витрата робочого тіла, кг/с	17,4	18,8	19,2	20,5	17,6
Міра підвищення тиску	13,0	14,1	14,3	14,9	13,0
Температура газу, К: початкова за ГТД	1351		1392		1373
	804	799	823	808	818
Частота обертання силової турбіни, об/хв	16500	17384		17400	13000

Розробкою і виробництвом двигунів SGT-100 ("Typhoon") науково-виробничий центр у Лінкольні займається з 1989 р. Вартість ГТД за цінами 2003 р. становила близько 2 млн дол. (450...480 дол./кВт).

Енергетичні модифікації двигуна SGT-100 виконані одновальними. Осьовий 10-ступінчастий компресор оснащений регульованим входним напрямним апаратом і трансзвуковими першими ступенями з низьким відношенням висоти профілю до ширини.

У двигунах може бути застосована стандартна або низькоемісійна одно- чи двопаливна система сухого спалювання ("DLE"). В останньому випадку концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах не перевищує 25 і 50 ppm при роботі відповідно на газоподібному і рідкому паливі. Для зниження шкідливих викидів з відпрацьованими газами, а також для підвищення потужності агрегату може бути передбачене впорскування в камеру згоряння пари або води. Як паливо можна використовувати природний газ, дистильоване паливо, а також нестандартне паливо – за запитом. Можлива робота двигуна на двох видах палива.

Застосована трубчасто-кільцева протитокова камера згоряння, яка має у своєму складі шість жарових труб. При стандартній системі спалювання палива займання здійснюється за допомогою одного висувного високорозрядного запальника з перехресним перекиданням полум'я в сусідні труби. При низькоемісійній системі спалювання кожна жарова труба оснащується власним запальником.

Механічна енергія обертання виробляється двоступінчастою консольно розташованою трансзвуковою осьовою турбіною з охолодженням 1-м ступенем. Зниження частоти обертання до 1500 чи 1800 об/хв (залежно від частоти вироблюваного генератором струму – 50 або 60 Гц) здійснюється за допомогою вбудованого редуктора планетарного типу, що розташований з боку компресора.

Застосоване завиткове підведення повітря до компресора та осьове відведення відпрацьованих газів із двигуна. Як опори використовуються опорні та упорні підшипники ковзання сегментного типу. Передбачається спільна система змащення для двигуна та привідного встаткування. Подача мастила відбувається внаслідок роботи основного насоса, який має привід потужності від редуктора. У системі передбачені також резервний насос із приводом від електродвигуна перемінного струму й аварійний насос із приводом від електродвигуна постійного струму. Охолодження мастила здійснюється у повітряному радіаторі пластинчастого типу. Пуск ГТД відбувається за допомогою гідравлічної системи з приводом від електродвигуна перемінного струму. Для керування двигуном використовується система типу "Rustronic 2000".

Технічне обслуговування може проводитися на робочій площадці або в цеху. Відновлення гарячої частини та капітальний ремонт здійснюються залежно від

стану двигуна (типовий інтервал – 24000 і 48000 год). За узгодженням із замовником можуть бути передбачені технічне обслуговування двигуна, постачання запасних частин, створення ремонтних цехів і служби обміну частин, реконструкція та вдосконалення ГТД, його технічна підтримка, навчання персоналу в цехах або на місці експлуатації.

Компактний енергетичний модуль на основі SGT-100 містить у собі ГТД, редуктор, генератор та систему керування, які змонтовані на одній рамі (рис. 2.1.24). При експлуатації таких агрегатів на плавучих об'єктах ГТД та генератор перемінного струму поставляються на одній рамі з однією чи трьома опорами, а також у зміцненому варіанті для підйому у вигляді єдиного блока.

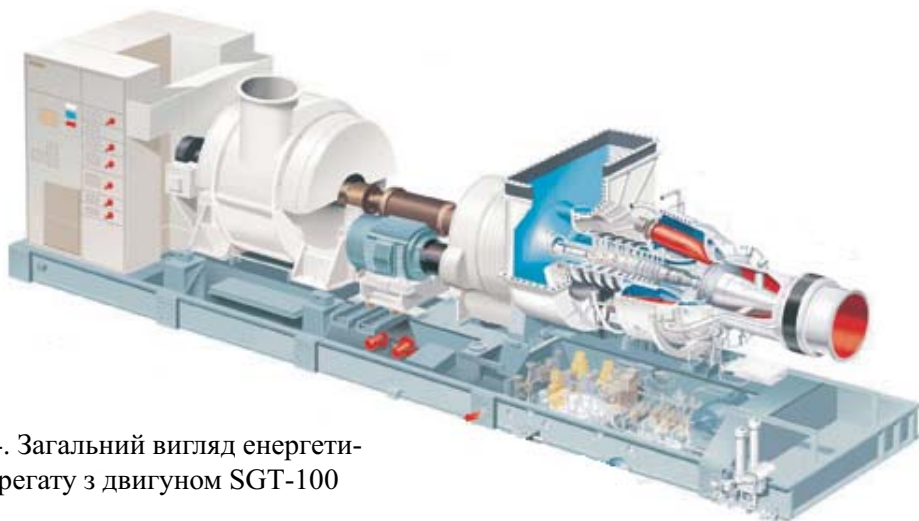


Рис. 2.1.24. Загальний вигляд енергетичного агрегату з двигуном SGT-100

Незалежно від призначення всі відповідні системи проходять заводське збирання й випробування модулів перед установленням на типові рами, конструкція яких забезпечує легкий до них доступ. Масогабаритні характеристики енергетичних агрегатів на основі SGT-100 для типового стандартного встаткування й контейнерного виконання становлять: загальна довжина – 8,2 м, висота – 2,5 м, ширина – 2,4 м, висота до верху контейнера (у зібраному стані) – 3,2 м, маса – 32,2 ("Typhoon 435") і 34,8 т ("Typhoon 470/505/525").

Відмітною рисою модифікації двигуна SGT-100 **для механічного приводу** є наявність вільної силової турбіни, робочий діапазон частот обертання якої становить 6000...13650 об/хв і в деяких випадках відповідає частоті обертання споживача, що дозволяє відмовитися від використання редуктора. Турбіна компресора виконана одноступінчатою, консольною, силова турбіна – двоступінчатою.

Принципи компонування привідних агрегатів SGT-100 дозволяють використовувати їх у будь-яких кліматичних умовах – від пустелі до Арктики. У типовому компонуванні використовуються дві окремі рами для ГТД і споживача або стаціонарно поєднані рами для підйому у вигляді єдиного блока з варіантом монтажу на трьох опорах для офшорних об'єктів.

Масогабаритні характеристики приводних агрегатів SGT-100 для типового стандартного встаткування й контейнерного виконання становлять: загальна довжина – 9,75 і 8,0 м, висота – 3,0 м, ширина – 2,4 м, висота до верхнього краю контейнера – 3,4 м, маса – 32 і 24 т (відповідно для насосного і компресорного агрегатів).

Ефективним є використання двигунів SGT-100 у складі промислових когенераційних установок, коефіцієнт використання енергії палива яких у цьому випадку перевищує 80 %. Високі значення цього параметра обумовлено значним термічним ККД циклу, невеликою масовою витратою робочого тіла і відносно високою температурою відпрацьованих газів.

Одержувана внаслідок утилізації пара або гаряча вода можуть використовуватися для технологічних процесів чи комунальних мереж. Пара може застосовуватися в невеликих установках з комбінованим циклом у поєднанні з паровою турбіною. Залишкове тепло газів може використовуватися також для сушіння промислової продукції.

На початок 2003 р. завод у Лінкольні продав понад 260 газотурбінних двигунів типу SGT-100 ("Turphoon"), призначених для виробництва електроенергії та роботи як механічний привід. На той час сумарний наробіток цих ГТД перевищував 4 млн год.

Для Росії та колишнього Радянського Союзу виготовлено 106 таких двигунів, у т. ч. 67 для нафтопроводу Уренгой–Ужгород, які були поставлені у 80-х роках. Сім насосних та десять генераторних агрегатів компанія повинна поставити для споруджуваного Каспійського нафтопроводу.

П'ять генераторних агрегатів SGT-100 використовуються у складі морського судна "Griffin Venture", яке займається розробкою нафтового родовища біля північного узбережжя Австралії із січня 1994 р. Турбогенератори забезпечують потужність, достатню для проходження судна за маршрутом, маневрування над устям свердловини, переробки і відвантаження нафти.

Двигун SGT-200 ("Tornado")

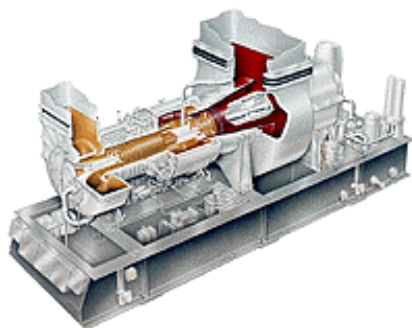


Рис. 2.1.25. Двигун SGT-200 ("Tornado")

Промисловий газотурбінний двигун SGT-200 (рис. 2.1.25), який до реорганізації 2005 р. мав назву "Tornado", являє собою високоефективну машину, призначену для вироблення електроенергії, яка забезпечує мінімальні капітальні витрати створюваних на її основі агрегатів завдяки гнучкості, простоті монтажу та компактності конструкції. Відмітною рисою ГТД є також можливість використання різних видів палива, у т. ч. їхніх сумішей.

Галуззю застосування агрегатів із двигунами SGT-200 є промислові (головним чином нафтохімічні) підприємства, а також морські платформи і судна. Двигун зарекомендував себе надійним джерелом енергії на морських промислах, який завдяки компактному компонуванню займає мінімальний простір.

Як механічний привід створена двовальна модифікація цього ГТД, яка знаходить широке застосування у складі газо- і нафтоперегонних агрегатів та може працювати як на суші, так і в морських умовах. Цей двигун забезпечує надійну й ефективну роботу в широкому діапазоні обертів силової турбіни.

Двигун SGT-200 ("Tornado") виготовляється заводом у Лінкольні з 1981 р. Орієнтовна вартість (за цінами 2003 р.) становить 2,9 млн дол. (430 дол./кВт). Основні технічні характеристики ГТА з двигуном SGT-200 наведені нижче:

	Енергетичний агрегат	Привідний агрегат
Номінальна потужність, МВт	6,75	7,68
ККД, %	31,5	33,5
Витрата робочого тіла, кг/с	29,0	29,5
Міра підвищення тиску	12,3	12,6
Температура газу, К:		
початкова	1269	1288
за ГТД	743	763
Частота обертання силової турбіни, об/хв	11050	10450

Енергетична одновальна модифікація SGT-200 оснащена 15-ступінчастим (з дозвуковими ступеннями) осьовим компресором. Вхідний напрямний апарат виконаний регульованим. Камера згоряння – трубчасто-кільцева, протитокова; має у своєму складі 8 жарових труб.

Двигун може бути обладнаний стандартною або низькоемісійною ("DLE") системою спалювання палива. Стандартна система припускає наявність у камері згоряння двох висувних високорозрядних запальників з перехресним перекиданням полум'я в сусідні труби. При низькоемісійній системі сухого спалювання у кожній жаровій трубі розміщується по запальнику. В останньому випадку концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах не перевищує 25 та 75 ppm при роботі відповідно на газоподібному та рідкому паливі.

Як паливо можуть використовуватися природний газ, дистилатне та нестандартне паливо (за запитом). Можлива робота двигуна на двох видах палива. Для зниження концентрації шкідливих речовин і підвищення потужності може використовуватися впорскування пари в камеру згоряння.

Турбінна частина складається з двоступінчастої консольно розташованої осьової турбіни компресора (1-й ступінь охолоджується) і з'єднаної механічно з нею за допомогою пружної муфти двоступінчастої силової турбіни. Опорами ротора служать підшипники ковзання сегментного типу. Для зниження частоти обертання ротора до 1500 або 1800 об/хв (для генерації струму частотою відповідно 50 або 60 Гц) двигун оснащують вбудованим редуктором планетарного типу.

Передбачається спільна система змащення для двигуна та споживача механічної енергії. Привід навішаного маслоагрегату здійснюється від редуктора. До складу системи також входять масляний насос із приводом від електродвигуна перемінного струму, а також аварійний насос із приводом від електродвигуна постійного струму.

Розкручування ротора ГТД при запуску відбувається за допомогою гідравлічної системи, яка приводиться від електродвигуна перемінного струму. Для керування двигуном використовується система типу "Rustronic 2000" з функціями місцевого керування й обробки інформації, яка монтується на спільній рамі. Для очищення проточної частини компресора передбачається можливість її оперативного промивання при роботі під навантаженням і автономного промивання під час зупинки.

Технічне обслуговування двигуна може здійснюватися на робочій площадці або в цеху. Можливість легкого доступу до основних елементів його проточної частини дозволяє виконувати ці заходи з мінімальною втратою часу. Відновлення гарячої частини і капітальний ремонт здійснюються залежно від стану двигуна (типовий інтервал – 24000 та 48000 год).

Підприємство-виготовлювач за узгодженням із замовником може здійснювати постачання запасних частин, створювати ремонтні цехи і служби обміну частин, проводити реконструкцію та вдосконалення ГТД, його технічну підтримку, навчання персоналу в цехах або на місці експлуатації, а також технічне обслуговування двигуна.

У складі енергетичного ГТА двигун і головний редуктор монтуються на спільній рамі з вбудованим баком мастила з боку приводу. Вузли мастильної системи і системи пуску монтуються поруч із головним редуктором. Паливна система, включаючи насос рідкого палива, монтується на тій же рамі нижче двигуна. Для використання у нафтових і газових промислах передбачені монолітні рами на трьох опорах.

Масогабаритні характеристики енергетичних ГТА з SGT-200 для типового встаткування становлять: довжина – 10,4 м, висота – 3,2 м, ширина – 2,4 м, висота до верху контейнера – 3,4 м, маса – 55 т.

Модифікація SGT-200 для механічного приводу виконана двовальною. Відмітною її особливістю є наявність двоступінчастої вільної силової турбіни, робочий діапазон швидкостей обертання якої – 7000...11500 об/хв. Турбіна компресора також двоступінчаста.

У привідних ГТА на основі SGT-200 двигун і редуктор змонтовані на спільній рамі, на якій знаходиться також резервуар мастила (з боку, протилежного відбору потужності). Блоки мастила і система пуску встановлені поруч із редуктором. Паливна система змонтована на рамі нижче двигуна. Габаритна довжина агрегату становить 11,5 та 10,5 м (відповідно для насосного і компресорного виконання), висота – 2,9 та 3,1 м, ширина – 2,4 м, висота до верху корпусу – 3,4 м, маса – 38 і 43 т.

Двигун SGT-200 ідеально підходить для комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. При цьому коефіцієнт використання хімічної енергії палива може перевищувати 80 %. Крім високого термічного ККД і паропродуктивної потужності відмітними рисами таких установок є зручність обслуговування і висока експлуатаційна готовність.

Двигун SGT-300 ("Tempest")

Двигун SGT-300, який до 2005 р. мав назву "Tempest" ("Буря"), є одновальним промисловим ГТД потужністю 8 МВт, призначеним для електростанцій загального користування й енергетичних установок промислових підприємств (рис. 2.1.26). До останніх можна віднести нафтові та газопромислові платформи, нафтохімічні й хімічні підприємства, целюлозно-паперові комбінати, різні теплофікаційні об'єкти.

Створювані на його основі енергетичні агрегати завдяки гнучкості, простоті монтажу та компактності конструкції відрізняються мінімальними капітальними витратами. Конструкція

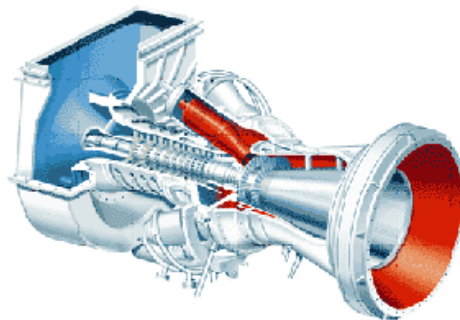


Рис. 2.1.26. Двигун SGT-300 ("Tempest")

двигуна заснована на перевірених практикою технічних рішеннях, закладених раніше у SGT-100 ("Typhoon"), які напрацювали за даними на 2003 р. більше 4 млн год. Двигун SGT-300 виготовляється заводом у Лінкольні з 1995 р. Основні технічні характеристики енергетичного ГТА на його основі становлять: номінальна потужність – 7,91 МВт, ККД – 31,2 %, витрата робочого тіла – 29,5 кг/с, міра підвищення тиску – 14,0, початкова температура газу – 1412 К, температура газу за ГТД – 811 К, частота обертання турбіни – 14010 об/хв.

Компресорна частина двигуна виконана 10-ступінчастою з регульованим вхідним напрямним апаратом. Перші ступені компресора – трансзвукові. Камера згоряння – протитокова, трубчастого (секційного) типу, має у своєму складі шість жарових труб. Для займання палива в кожній трубі розташовується по одному висувному іскровому запальнику високого розряду.

Двигун відповідає діючим нормам щодо концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах, у т. ч. і за викидами оксидів азоту. При роботі на газоподібному паливі низькоемісійна система сухого спалювання ("DLE") забезпечує викиди NO_x не більше 25 ppm; при роботі на рідкому паливі – не більше 50 ppm.

Як паливо можуть використовуватися природний газ, дистильоване паливо, а також нестандартне паливо за запитом. Можлива робота двигуна на двох видах палива. Для зниження концентрації оксидів азоту і для підвищення потужності може бути передбачене впорскування води або пари в секцію камери згоряння.

Механічна енергія обертання виробляється в двоступінчастій, консольно розташованій осьовій турбіні, 1-й ступінь якої виконаний охолоджуваним. Використовуються завиткове підведення повітря до компресора і осьове відведення відпрацьованих газів з турбіни. В опорах ротора розташовані упорний та опорний підшипники ковзання сегментного типу.

Для зниження частоти обертання вихідного вала до 1500 або 1800 об/хв (залежно від частоти генерованого електричного струму) двигун додатково оснащується редуктором, розташованим з боку компресора. Система змащення для ГТД і споживача виконується спільною. Навішаний маслоагрегат має привід від редуктора. Резервний насос приводиться від електродвигуна перемінного струму, аварійний насос – від електродвигуна постійного струму.

Для очищення проточної частини компресора передбачені її оперативне промивання при роботі під навантаженням і автономне промивання під час зупинки. Запуск ГТД здійснюється за допомогою гідравлічної системи, яка приводиться від електродвигуна перемінного струму. Для керування двигуном використовується система "Rustronic 2000" з функціями місцевого керування й обробки інформації, яка монтується на спільній рамі.

Технічне обслуговування ГТД може здійснюватися як в цеху, так і безпосередньо на робочій площадці. Рознімні корпуси впускного пристрою і компресора дозволяють проводити оперативну заміну роторної частини. Секційна конструкція камери згоряння дає можливість вільного доступу до окремих жарових труб і запальників, а також дозволяє при необхідності легко здійснювати їхній демонтаж. Розміщення елементів систем змащення, пуску і паливної системи забезпечує вільний до них доступ.

Відновлення гарячої секції, а також капітальний ремонт проводяться залежно від стану двигуна (типовий інтервал – 24000 та 48000 год). За узгодженням із замовником фірма-виробник може виконувати технічне обслуговування двигуна, здійснювати постачання запасних частин, створювати ремонтні цехи і служби обміну частин, проводити технічну підтримку, реконструкцію та удосконалення ГТД, а також навчання персоналу в цехах або на місці експлуатації.

Створювані на основі SGT-300 енергетичні агрегати містять у собі двигун, редуктор та всі системи, змонтовані на спільній рамі. У теплофікаційному варіанті генератор монтується на окремій рамі. Для об'єктів нафтогазової промисловості підприємство здійснює постачання монолітної рами на трьох або більше опорах для встановлювання на суші й на морських платформах.

Для типового встаткування габарити енергетичного ГТА становлять: довжина – 10,1 м, висота – 3,58 м, ширина – 2,4 м, висота до верху контейнера – 3,49 м, маса – 52,25 т.

На основі двигуна SGT-300 можливе створення установок з комбінованим виробництвом теплової та електричної енергії. Ефективність використання палива в подібних установках при стандартному виконанні перевищує 80 %.

Двигун SGT-400 ("Cyclone")

Двовальний промисловий двигун SGT-400 (до 2005 р. мав назву "Cyclone") призначений для вироблення електричної енергії та застосування як механічний привід (рис. 2.1.27). У цьому ГТД використані перевірені часом технології двигунів SGT-100 ("Typhoon") і SGT-300 ("Tempest"). Компактність конструкції забезпечує йому перевагу не тільки при експлуатації на суші (наприклад, у промисловості або на насосних станціях нафтопроводів та нафтопродуктопроводів), але і на морських платформах.

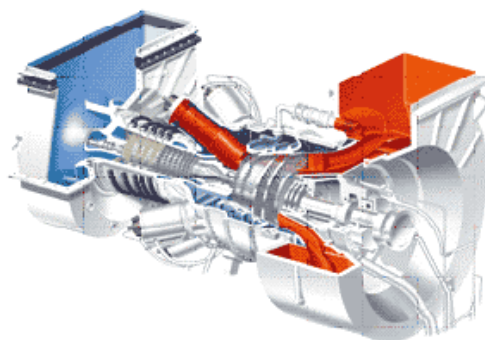


Рис. 2.1.27. Двигун SGT-400 ("Cyclone")

Використання двигуна в промислових когенераційних установках є вигідним за рахунок високого ККД простого циклу, економічного вироб-

лення електричної енергії в поєднанні з високою паропродуктивністю (понад 27 т/год при тиску 1,0 МПа). Разом узяті, ці фактори сприяють підвищенню загального ККД установки до 80 % і більше, що в підсумку приводить до істотного скорочення терміну окупності встаткування.

Двигун SGT-400 ("Cyclone") виготовляється заводом у Лінкольні з 1997 р. Основні технічні характеристики ГТА на його основі наведені нижче:

	Енергетичний агрегат	Привідний агрегат
Номінальна потужність, МВт	12,9	13,42
ККД, %	34,8	36,2
Витрата робочого тіла, кг/с	38,9	39,4
Міра підвищення тиску		16,7
Температура газу, К:		
початкова		1533
за ГТД	833	829
Частота обертання, об/хв:		
компресора		14100
силової турбіни		9500

Компресорна частина двигуна – однокаскадна, складається з 11 ступенів, перші з яких – трансзвукові. Вхідний напрямний апарат виконаний регульованим. Камера згоряння – трубчаста (секційна), протитокова. Використовується низькоемісійна система сухого спалювання палива ("DLE"), яка дозволяє знизити концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах до 25 та 50 ppm відповідно при роботі на газоподібному і рідкому паливі. У кожній із шести жарових труб є власний високорозрядний запальник. Як паливо можуть використовуватися природний газ або дистилатне паливо. Можливою є робота двигуна на двох видах палива.

Привід компресора здійснюється двоступінчастою, консольно розташованою турбіною. Обидва ступеня охолоджуються. Вільна силова турбіна також складається з двох ступенів. Напрямок її обертання – проти годинникової стрілки. Для зниження частоти обертання вихідного вала до 1500 або 1800 об/хв (залежно від частоти генерованого електричного струму 50 або 60 Гц) енергетична модифікація двигуна додатково оснащується редуктором.

Діапазон частоти обертання силової турбіни привідної модифікації SGT-400 (від 8000 до 10000 об/хв) у більшості випадків дозволяє застосовувати її для безпосереднього приводу встаткування (зокрема, компресорів); при цьому немає потреби в редукторі.

В опорах двигуна розміщені упорний та опорний підшипники ковзання сегментного типу. Для підведення повітря і відведення відпрацьованих газів використовуються завиткові пристрої. Застосовано інтегровану систему змащення ГТД та споживача. Основний маслонасос має привід від редуктора. Пусковий насос приводиться від електродвигуна перемінного струму. У складі системи є також аварійний насос із приводом від електродвигуна постійного струму.

Передбачено оперативну систему очищення проточної частини компресора при роботі двигуна під навантаженням і автономне очищення при зупиненому двигуні. Запуск SGT-400 здійснюється за допомогою гідравлічної системи, яка приводиться від електродвигуна перемінного струму. Система керування "Rustronic 2000" оснащена функціями місцевого керування й обробки інформації; монтується на спільній рамі.

Технічне обслуговування і ремонт можуть виконуватися в цеху або безпосередньо на робочій площадці. Конструкція двигуна передбачає наявність багатьох каналів для інспекції за допомогою бороскопа. Для полегшення ремонтних робіт корпус компресора виконаний з горизонтальним розніманням, впускний пристрій має горизонтальне і поперечне рознімання. Секційна конструкція камери згоряння забезпечує вільний доступ до жарових труб і запальників. Типовий інтервал для відновлення гарячої секції та капітального ремонту становить відповідно 24000 і 48000 год.

Підприємством створена глобальна мережа технічної підтримки замовника. В її рамках проводяться консультації та здійснюється практична допомога, виконується навчання обслуговуючого персоналу в цехах або на місці експлуатації, забезпечується постачання запасних частин і технічних засобів для капітального ремонту, можливою є також оренда газогенераторів, проведення реконструкції та модернізації встаткування, заключення контрактів на технічне обслуговування.

В агрегатах для вироблення електричної енергії, створюваних на основі SGT-400, генератор і редуктор монтуються на різних рамах. Здійснюється постачання двоблокових і триблокових рам, з яких збирають один нероз'ємний блок. У типовому компонованні для механічного приводу пропонується дві окремі рами для двигуна й споживача. Спеціальні рами відповідно до умов

експлуатації конкретного агрегату поставляються у варіанті для підйому єдиним блоком або з монтажем на трьох опорах для експлуатації на офшорних об'єктах.

Масогабаритні характеристики енергетичного та привідного (компресорного) агрегатів із SGT-400 відповідно становлять: довжина – 12,0 м, висота – 3,65 м, ширина – 2,7 м, маса – 60 і 44 т.

Агрегат із SGT-400 може монтуватися на трейлері й транспортуватися як пересувна енергоустановка в будь-яке місце експлуатації. Уже через кілька годин після доставки на площадку ГТА може працювати на повну потужність.

На основі двигуна SGT-400 можливе створення установок з комбінованим виробництвом теплової та електричної енергії.

2.2. "Rolls-Royce plc" (Великобританія)

	<i>Повне найменування:</i> "Rolls-Royce Public Limited Company". <i>Штаб-квартира:</i> м. Дербі, Великобританія. <i>Чисельність працюючих:</i> 35600 чол. (2005 р.).

Відомості про компанію

Задум компанії виник в отелі "Midland Hotel" у Манчестері (Англія) 1 травня 1904 р. під час зустрічі Чарльза Роллза, гонщика, який почав свій бізнес у 1902 р. продажем британським аристократам машин з континенту, та Генрі Ройза, проектувальника і виробника електромоторів та кранів, який був незадоволений продаваними машинами і мріяв розробити свою власну (рис. 2.2.1). Формально їхні зусилля об'єдналися 15 березня 1906 р. при створенні підприємства **"Rolls-Royce Ltd."***. У тому ж році з'явилася і перша модель автомобіля компанії – шестициліндровий "Silver Ghost" ("Срібна примара"), названа наприкінці року "кращим автомобілем світу". У 1908 р. "Rolls-Royce Ltd." переїжджає з Манчестера у Дербі.

Необхідно відзначити, що протягом усього періоду існування компанії аж до нашого часу серійність виробництва автомобілів була відносно невеликою (наприклад, у 1996 р. виготовлено трохи більше 1300 од.). Їхнє постачання здійснювалося і здійснюється винятково на



Рис. 2.2.1. Чарльз Роллз (1877–1910)
та Генрі Ройз (1863–1933)

* Підприємство Г. Ройза "Royce & Co." було засновано у 1884 р., тому й історію компанії іноді відраховують із цієї дати.

замовлення й у строгій відповідності з індивідуальними запитами клієнтури. Лімузини компанії часто обираються власниками найбільших трансконтинентальних корпорацій та главами урядів, широко використовуються для представницьких цілей. З 1953 р. "Rolls-Royce Ltd." є офіційним постачальником королівського двору Великобританії.

Також треба відзначити, що цілком нові автомобілі фірми з'являються досить рідко. Так, наприклад, після "Silver Ghost" наступна модель – "Phantom" – з'явилася лише у 1925 р. У 1949 р. була презентована "Silver Dawn", у 1955 р. – "Silver Cloud", у 1965 р. – "Silver Shadow". У 1980 р. почалося виробництво восьмої за всю історію компанії моделі "Silver Spur", у 1998 р. – дев'ятої (і дотепер останньої) – "Silver Seraph".

У перші ж роки існування визначилася і друга головна виробнича галузь компанії – авіаційні двигуни. Виробництвом останніх "Rolls-Royce Ltd." почала займатися у 1914 р. відразу після початку Першої Світової війни, коли, задовольняючи потребам національної оборони, компанія розробила свій перший авіаційний поршневий двигун "Eagle". Сумарна потужність виготовлених у роки війни цих двигунів складає приблизно половину від сумарної потужності авіадвигунів країн-союзників. Двигунами "Eagle" оснащувалися також літаки компанії "Vickers", на яких були здійснені перший прямий трансатлантичний переліт та перший переліт з Англії в Австралію.

У 1931 р. "Rolls-Royce Ltd." включає до свого складу іншого значного англійського виробника фешенебельних легкових автомобілів – підприємство "Bentley Motors Ltd.", зберігши при цьому його торгову марку*.

Під час Другої Світової війни, починаючи з 1940 р., 12-циліндровим двигуном "Merlin" оснащуються літаки "Hurricane", "Spitfire" та багато інших, які використовувалися у повітряній битві за Британію. Замовлення на "Merlin" (усього було випущено близько 160 тис.) перетворили "Rolls-Royce Ltd." з відносно невеликої компанії у провідного виробника авіаційних двигунів в Англії.



Рис. 2.2.2. Френк Вітл (1907–1996)

З 1942 р. компанія починає займатися виробництвом авіаційних ГТД. З ініціативи Міністерства авіації Великобританії з метою створення серійного турбореактивного двигуна в цей час об'єдналися зусилля підприємства Ф. Віттла (рис. 2.2.2) "Power Jets Ltd." (як безпосереднього розроблювача і створювача цього двигуна) та компанії "Rover Co., Ltd." (як лідера в освоєнні турбокомпресорів для автомобільних дизелів). Несформовані відносини між ними послужили причиною створення нового виробничого співтовариства – цього разу підприємства Ф. Віттла і компанії

* Виробництво автомобілів торгових марок "Rolls-Royce" і "Bentley" в 1946 р. було переміщено у м. Крю і, частково, в 1959 р. у Лондон.

"Rolls-Royce Ltd.". Результатом їхньої спільної роботи став двигун **W.2B/23**, який у березні 1943 р. досяг проектної тяги 725 кгс.

Цим двигуном, що одержав у серії найменування "Welland", оснащувався серійно виготовлюваний з 1944 р. винищувач "Meteor I" компанії "Gloster", який з липня того ж року завдяки своїй високій швидкості (до 850 км/год) використовувався для знищення німецьких літаків-снарядів V.1.

До кінця війни "Rolls-Royce Ltd.", уже без особистої участі Ф. Віттла, під керівництвом Стенлі Гукера на основі W.2B/23 розробила двигун **W.2B/26 "Derwent"**, який відрізнявся від останнього конструкцією камери згоряння. Нові жароміцні сплави, створені на той час англійськими металургами, дозволили значно підняти температуру газу, ККД і тягу двигуна (до 905 кгс). У свою чергу, вже "Derwent" у 1944 р. був вихідним для двигунів **RB.41 "Nene"** (третього серійного ТРД компанії тягою 2270 кгс) та експериментального **RB.50 "Trent"** (першого турбогвинтового двигуна)*.

У післявоєнний період "Rolls-Royce Ltd." залишається світовим лідером у створенні авіаційних ГТД. Першим двигуном компанії з осьовим компресором став запущений у серійне виробництво в 1950 р. ТРД "**Avon**" (первісна назва **AJ.65**). Першою модифікацією RA.7/Mk.101 з тягою 2950 кгс обладнувалися бомбардувальники "Canberra B.2" та "Canberra B.6" компанії "English Electric", винищувачі "Hunter" компанії "Hawker" і "Swift" компанії "Supermarine". Модифікація RA.7/Mk.114 з тягою 3335 кгс використовувалася на лайнерах "Comet C.2", RA.26 (4535 кгс) – на літаках "Comet C.3", "Caravelle" та "Hunter F.6". Найбільша потужність була досягнута в модифікації RA.29/Mk.301/2 з форсажною камерою – 7420 кгс. Виробництво двигуна "Avon" продовжувалося до 1974 р. Усього було виготовлено близько 11 тис. од.

У 1953 р. компанія першою в світі починає застосування ГТД у цивільній авіації. Першим таким двигуном став турбогвинтовий "**Dart**", установлений на літаку "Viscount" компанії "Vickers". Ця подія стала вихідною для універсалізації застосування ГТД в авіаційній техніці. У 1958 р. турбореактивним двигуном "Avon" оснащується лайнер "Comet C.4", який виконував трансатлантичні перельоти. У 1960 р. у цивільній авіації в складі літака "Boeing 707" починає використовуватися турбовентиляторний двигун "**Conway**". Широко застосовуються в 50–60-х роках в авіації ГТД "**Tyne**" та **RB163 "Spey"**.

* Компанія "Rolls-Royce Ltd." надає своїм двигунам як назви (як правило, річок Великобританії), так і літеро-чисельні позначення. До початкової букви "W" ("Whittle") незабаром додалися буква "B", яка означає м. Барнольдсвік (у цьому місті знаходився завод "Rover Co., Ltd.", на який переїхала з Регбі група Ф. Віттла і який був потім переданий "Rolls-Royce Ltd." в обмін на завод з виробництва танків у м. Ноттінгем), а також у 1944 р. буква "R", що означає "Royce". Буква "A" ("Axial") використовувалася в деяких моделях з осьовим компресором. Символи "Mk" в англійських текстах є традиційним скороченням слова "Mark" (марка, модель). Необхідно відзначити, що по закінченні війни виробництво ГТД було переміщено з Барнольдсвіка на головний завод компанії в Дербі.

Необхідно відзначити, що в період між двома світовими війнами іншими провідними виробниками авіаційних двигунів у Великобританії були компанії "Armstrong-Siddeley Motors Co.", "Blackburn Engines Co.", "Bristol Aero Engines Ltd.", "The de Havilland Engine Co." та "Napier Aero Engines". Наприкінці 50-х – першій половині 60-х років реорганізація цих підприємств привела у кінцевому рахунку до того, що всі можливості британської авіадвигунобудівної промисловості виявилися зосередженими в одній корпорації "Rolls-Royce Ltd."

Першим до складу "Rolls-Royce Ltd." у 1961 р. влилося підприємство "Napier Aero Engines". Паралельно відбувалася консолідація інших чотирьох компаній, яка привела до появи підприємства "Bristol Siddeley Engines Ltd.". Вхідження цього підприємства у 1966 р. до складу корпорації "Rolls-Royce Ltd." стало завершенням процесу об'єднання.

В епоху появи широкофюзеляжних авіалайнерів наприкінці 60-х років "Rolls-Royce Ltd." веде роботи зі створення турбовентиляторного двигуна **RB211** за замовленням американської компанії "Lockheed Aircraft Corp." для реактивного лайнера L-1011 "TriStar". Наслідком невдало укладеного контракту (з фіксованими цінами) та існуючих проблем з роботою двигуна стало банкрутство "Rolls-Royce Ltd." у лютому 1971 р. Унаслідок цього вона була націоналізована британським урядом та надалі розділена на дві частини: підрозділ, що займається виробництвом ГТД, був у квітні 1987 р. приватизований під назвою **"Rolls-Royce plc"**; частина ж компанії, яка займалася створенням і виробництвом автомобілів, піддалася реструктуризації та була приватизована у 1973 р. як **"Rolls-Royce Motor Holdings Ltd."**. Остання купується у 1980 р. компанією "Vickers Ltd.", яка у свою чергу в 1998 р. перепродає її німецькому концерну "Volkswagen AG".

У 2003 р. завод з виробництва автомобілів марки "Rolls-Royce" ("Rolls-Royce Motor Cars Ltd.") був переданий іншому німецькому автомобілебудівному концерну "BMW AG". Компанія "Volkswagen AG" у цей час зберігає у своїй власності лише лінію автомобілів під маркою "Bentley" ("Bentley Cars Ltd.").

У 1995 р. "Rolls-Royce plc" купує американську компанію "Allison Engine Company", яка в останні роки займалася створенням ефективних двигунів для цивільної авіації, включаючи двигун AE3007 для регіональних пасажирських літаків компанії "Embraer", а також виконанням ряду військових замовлень.

У 1999 р. "Rolls-Royce plc" покупкою акцій "Cooper Energy Services" установлює повний контроль над підприємством "Cooper Rolls Inc." (США), яке займалося з 70-х років створенням промислових агрегатів на основі авіаційних ГТД "Rolls-Royce plc". Після цього дане підприємство було перейменоване на **"Rolls-Royce Energy Systems Inc."**. Також у цей час здобувається підприємство "National Airmotive Corp." (штат Каліфорнія, США), яке займається ремонтом і обслуговуванням ГТД. На сьогодні воно є частиною "Rolls-Royce Engine Services".

Останні місяці 1999 р. ознаменувалися для "Rolls-Royce plc" покупкою компанії "Vickers plc", яка, у першу чергу своїми підрозділами "Ulstein" та "KaMeWa", істотно розширила галузь виготовлюваних "Rolls-Royce plc" суднових енергетичних установок.

На сьогодні виробнича діяльність компанії здійснюється **за чотирма основними напрямками**: цивільна авіація (53 % від загального обсягу реалізованої у 2005 р. продукції), військова авіація (21 %), суднова (17 %) і стаціонарна (8 %) енергетика*.

Компанія "Rolls-Royce plc" має у розпорядженні широкую мережу споживачів своєї продукції, яка містить у собі більше ніж 600 цивільних авіаліній, 4000 корпоративних та сервісних авіаційних операторів, 160 військово-повітряних сил і більше ніж 2000 суден, що входять до складу 70 військово-морських та комерційних флотів. Енергетичні споживачі компанії виявлені майже в 120 країнах. Загальна чисельність працівників "Rolls-Royce plc" нараховує 35,6 тис. чол., включаючи 22 тис. у Великобританії, 5 тис. в інших країнах Західної Європи і майже 8 тис. у Північній Америці.

Сумарний обсяг реалізованої продукції "Rolls-Royce plc" у 2005 р. склав 6,6 млрд фунтів стерлінгів, з яких 54 % за рахунок сервісного обслуговування. Наявні в цей час замовлення компанії оцінюються на суму більше 25 млрд фунтів.

До складу корпорації входять такі найстаріші виробники енергетичного встаткування, як "Rolls-Royce", "Brown Brothers", "Ulstein", "KaMeWa", "Rauma", "FFJet", "Brattvaag", "Vickers", "Bergen", "Frydenboe", "Tenfjord" та ін.

У даний час "Rolls-Royce plc" є другим за величиною у світі (після американської "General Electric Co.") виробником **авіаційних двигунів**, при створенні яких компанія часто співробітничала з такими фірмами, як "MTU Aero Engines GmbH" (Німеччина), "Turbomeca S.A." (Франція), "Pratt & Whitney Corp.", "General Electric Co." та "Honeywell International, Inc." (США).

Для цивільної авіації випускаються турбовентиляторні й турбогвинтові двигуни RB211 (літаки L-1011 "TriStar", моделі "747", "757", "767" компанії "Boeing", а також російський Ту-204), "Trent" ("Boeing 747", "Boeing 777", "Boeing 787", моделі A330, A340, A350, A380 компанії "Airbus"), V2500 (сімейства "Airbus A320" і MD-90 компанії "McDonnell Douglas"), AE3007 (ERJ 135, ERJ 140 та ERJ 145 компанії "Embraer"), AE2100 ("Saab 2000"), BR700 ("Boeing 717"), FJ44, "Tay" ("Boeing 727");

для бойових літаків пропонуються двигуни "Adour" ("Jaguar"), EJ200 ("Eurofighter Typhoon"), F136 (F-35 "Joint Strike Fighter"), "Pegasus" ("Harrier", "Sea Harrier"), RB199 (сімейство "Tornado"), "Spey" (F-4 "Phantom II");

для вертольотів – AE1107C "Liberty" (CH-47 "Chinook", CH-53 "Super Stallion"), "Gem", "Model 250", MTR390 ("Eurocopter Tiger"), RTM322 (EH101, NH90, WAH-64 "Apache"), T800 (RAH-66 "Comanche");

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.rolls-royce.com>.

для військово-транспортної авіації – AE1107C "Liberty", AE2100 (C-130 "Hercules", C-27 "Spartan"), "Model 250", T56 (C-130 "Hercules"), "Tay", TP400-D6 ("Airbus A400M");

для навчальних і тренувальних літаків – "Adour", FJ44, "Model 250", "Viper" ("Jet Provost", "Dominie");

для тактичної авіації – AE1107C "Liberty" (V-22 "Osprey"), AE2100 (P-3 "Orion"), AE3007 (R-99A, R-99B та P-99 компанії "Embraer"), BR710 ("Gulfstream G550", "Global Express"), "Model 250", "Spey" ("Nimrod"), T56 (E-2C "Hawkeye"), T800 (CTS800 "SuperLynx"), "Tay" ("Gulfstream IV/IV-SP");

для безпілотних літальних апаратів – AE3007 (RQ-4 "Global Hawk"), "Model 250", "Viper" ("Jindivik").

Корпорація "Rolls-Royce plc" є одним зі світових лідерів у галузі виробництва **суднових енергетичних установок**. Входження до її складу кількох найстаріших енергомашинобудівних компаній дає їй підставу вважати себе піонером у двох важливих технологічних галузях ХХ ст. – використанні газотурбінних агрегатів у надводних кораблях і застосуванні ядерних енергетичних установок на підводних човнах ВМФ Великобританії.

В останні роки до складу корпорації влилися такі провідні виробники суднової продукції, як "Bird-Johnson" (гребні гвинти), "Brown Brothers" (кермові пристрої та стабілізатори), "KaMeWa" (гребні гвинти й водометні рушії), "Michell Bearings" (упорні та опорні підшипники) і "Clarke Chapman" (палубні вантажні пристрої та механізми). Акумуляована внаслідок цього в рамках "Rolls-Royce plc" технологічна потужність та широкий діапазон виготовлюваних товарів і послуг дають можливість корпорації самостійно проектувати, створювати, поставляти споживачу й підтримувати в експлуатації різні типи суднових енергетичних установок, прив'язаних до конкретних потреб замовника.

Починаючи з 1959 р., коли був спущений на воду перший британський атомний підводний човен "Dreadnought", аж до сьогодні підприємства "Rolls-Royce plc" – єдині постачальники ядерних енергетичних установок для підводного флоту Великобританії. Новий клас човнів-ракетноносців типу "ASTUTE" буде оснащуватися реактором компанії PWR2. Генерована цим реактором потужність у 6,5 разів перевищує потужність реактора першого атомного англійського підводного човна, життєвий цикл – більше ніж у 4 рази.

Виготовлювані компанією для потреб військово-морських та цивільних флотів ГТД, середньооборотні дизелі, гребні гвинти фіксованого і регульованого кроку, водометні рушії, зубчасті передачі призначені для енергоустановок потужністю 2,6...50 МВт. За замовленням флоту США в останні роки був створений унікальний газотурбінний агрегат WR-21 із проміжним охолодженням повітря і регенерацією. У даний час "Rolls-Royce plc" веде роботи зі створення так званого "Магнітного пропульсивного двигуна" ("Permanent Magnet Propulsion Motor"). Ці роботи складають частину загальної програми розробки повністю електрифікованого корабля ("Integrated Full Electric Propulsion"). На найближчий

період намічене відпрацьовування цього двигуна на кораблях невеликої водотоннажності.

У галузі **стаціонарної енергетики** "Rolls-Royce plc" пропонує енергетичні агрегати, створені на основі конвертованих авіаційних двигунів власної розробки, потужністю 4...51 МВт. Ці агрегати поставляються споживачеві у вигляді енергетичних модулів, повністю готових до негайного введення у дію і розрахованих на експлуатацію в найрізноманітніших кліматичних умовах.

Привідні агрегати у тому ж діапазоні потужностей також створюються компанією на основі власних конвертованих авіаційних ГТД. Агрегати на основі двигунів "Avon" та RB211 випускаються під торговою маркою "Coberra".

У даний час в експлуатації знаходяться більше 2500 промислових ГТА, виготовлених "Rolls-Royce plc". Сумарний наробіток агрегатів типу "Coberra" перевищив 35 млн год. Ця цифра одержана в результаті експлуатування більше 700 двигунів, з яких близько 200 використовуються на морських нафтових і газових платформах. Привідні ГТД сімейств "501" та "601" підприємства "Rolls-Royce Corp." загальною кількістю 800 од. напрацювали в сумі більше 20 млн год.

Виробництвом газотурбінних двигунів енергетичного, суднового та привідного призначення, а також агрегатів на їхній основі займаються наступні підрозділи компанії:

"Rolls-Royce Power Engineering plc" з основними виробничими центрами в мм. Брістоль і Ковентрі (Англія);

"Rolls-Royce Corp." (м. Індіанapolis, США);

"Rolls-Royce Energy Systems Inc." (м. Маунт Вернон, США).

2.2.1. Науково-виробничий центр у мм. Ковентрі (Великобританія) і Маунт Вернон (США)

Науково-виробничий центр у Ковентрі* веде своє походження з 1904 р., коли відома компанія з Ньюкасла **"Sir W.G. Armstrong Whitworth & Co. Ltd."** перенесла туди своє автомобільне виробництво.

Паралельно із цим у Ковентрі в 1906 р. інженером Г. Дізі засновується компанія **"Deasy Motor Company"**, яка також займалася виробництвом автомобілів. У 1912 р. після прибуття до неї Дж. Сіддлі (рис. 2.2.3) її назва змінюється на **"Siddeley-Deasy Company"**. У роки Першої Світової війни компанія починає випускати авіаційні двигуни, освоює виробництво літака R.E.8; чисельність працівників зростає до 5000 чол.

У 1919 р. компанія "Sir W.G. Armstrong



Рис. 2.2.3. Джон Сіддлі (1886–1956)

* Місто у Центральній Англії з населенням 301 тис. чол. (2001 р.). Адреса підприємства: Ansty, Coventry, CV7 9JR, England.

Whitworth & Co. Ltd." купує "Siddeley-Deasy Co.", зливає її зі своїм автомобільним виробництвом і на їхньому місці засновує свою філію "**Armstrong-Siddeley Company**".

У 1927 р. Дж. Сіддлі викуповує "Armstrong-Siddeley Co." у "Sir W.G. Armstrong Whitworth & Co. Ltd.".

У 1935 р. "Armstrong-Siddeley Co." входить до складу авіабудівельної компанії "Hawker Aircraft Ltd.", яка після цього одержує найменування "**Hawker Siddeley Corp.**". У її рамках виробництвом авіаційних двигунів займається підприємство "**Armstrong-Siddeley Motors Company**".

Серед поршневих двигунів компанії 30–40-х років найбільш відомими моделями були "Leopard", "Jaguar", "Panther", "Mongoose", "Puma", "Lynx", "Cheetah" та "Nimbus".

Компанія "Armstrong-Siddeley Motors Co." розпочала роботи над ГТД за замовленням британського уряду в 1939 р. Першою розробкою став турбогвинтовий **ASM.1 "Mamba"** потужністю 1185 кВт, який запускався за допомогою порохового заряду і використовувався у кінці 40-х – початку 50-х років на експериментальних легких протичовневих літаках SB.6 "Seamew" та DC3 "Dakota". Здвоєний двигун ASM.1 одержав найменування **ASMD.4 "Double Mamba"** і мав сумарну потужність 2240...2990 кВт. Він застосовувався на протичовневих літаках AEW.3 "Gannet", що серійно випускалися з 1953 р.

У 1947 р. на підприємство переводиться виробництво турбореактивних двигунів компанії "Metropolitan-Vickers Electrical Co. Ltd." (м. Манчестер). Двигун **F.9 "Sapphire"**, створений цією компанією, у 50-х роках був найкращим ГТД, який випускала "Armstrong-Siddeley Motors Co.". Двигун оснащувався 10-ступінчастим осьовим компресором, кільцевою камерою згоряння і розвивав тягу більше 4535 кгс. Їм обладнувалися англійські перехоплювачі "Javelin", винищувачі "Hunter" та "Lightning", бомбардувальники "Victor". Двигун F.9 "Sapphire" за ліцензією випускався також у США під назвою J65.

Подальший розвиток турбогвинтового двигуна "Mamba" призвів на початку 50-х років до видалення редуктора і створення турбореактивного двигуна "**Adder**". Для безпілотних літальних апаратів типу "Jindivik" компанія розробила його модифікацію, яка серійно випускалася з 1953 р. і мала назву "Viper". Компресорна 7-ступінчаста частина двигуна була геометрично подібною осьовому компресору двигуна "Sapphire". Поліпшені модифікації ТРД "Viper" аж до кінця XX ст. використовувалися також для приводу різноманітних навчальних і тренувальних літаків ("Jet Provost", "Strikemaster", "Dominie", "Shackleton" та ін.).

У рамках проведеної британським урядом програми укрупнення виробників військової продукції "Armstrong-Siddeley Motors Co." у 1958 р. виводиться зі складу "Hawker Siddeley Corp." і поєднується з двигунобудівною компанією

з Брістоля "Bristol Aero Engines Co.", внаслідок чого утворюється підприємство **"Bristol Siddeley Engines Ltd."**.

У 1966 р. науково-виробничий центр у м. Ковентрі разом з компанією "Bristol Siddeley Engines Ltd." входить до складу корпорації **"Rolls-Royce Ltd."**.

У 60–90-х роках виробничі потужності підприємства в Ковентрі зосереджуються головним чином на розробці та виготовленні промислових ГТА, для чого використовувалися авіаційні турбореактивні двигуни (зокрема, "Avon" і RB211), які серійно випускалися компанією "Rolls-Royce Ltd.". Створення промислових агрегатів простої теплової схеми здійснювалося в рамках підприємства **"Rolls-Royce Industrial & Marine Gas Turbines Ltd."**, до складу якого входив також завод у Брістолі, що займався виробництвом суднових ГТА. Завдання зі створення когенераційних і комбінованих установок виконувало підприємство **"Rolls-Royce Industrial Power Systems Ltd."**. Після реорганізації 1996 р. обидва ці підприємства були поєднані під назвою **"Rolls-Royce Power Engineering plc"**.

* * *

Для випуску промислових (привідних та енергетичних) газотурбінних агрегатів на основі газогенераторів авіаційних двигунів власної розробки "Rolls-Royce plc" у 1978 р. створила спільне підприємство з американською компанією "Cooper Cameron Corp.", яке одержало найменування **"Cooper Rolls Incorporated"**. Це підприємство було засновано на базі підрозділу "Cooper-Bessemer Rotating Equipment Division" американської компанії у м. Маунт Вернон (штат Огайо)*, який спеціалізувався на виробництві турбокомпресорів. Створенню підприємства багато в чому сприяло широке використання двигунів "Rolls-Royce plc" на авіалініях США.

У рамках підприємства "Cooper Rolls Inc." газогенератори авіаційних двигунів "Rolls-Royce plc" ("Avon", RB211) комплектувалися вільною силовою турбіною (розробленою американською стороною), яка проходила під торговою маркою "Cooper-Bessemer". Найменування виготовлюваних агрегатів – "Coberra" – складено з перших букв їхніх виробників ("Cooper-Bessemer-Rolls-Royce"). В останні роки "Cooper-Bessemer Rotating Division" займався також виробництвом систем цифрового керування і контролю газотурбінних агрегатів "En-Tronic".

У 1999 р. "Rolls-Royce plc" установив повний контроль над підприємством "Cooper Rolls Inc.", яке після цього було перейменовано на "Rolls-Royce Energy Systems Inc."**. Сьогодні "Coberra", "Cooper-Bessemer" та "En-Tronic" є зареєстрованими торговими марками компанії "Rolls-Royce plc".

Підприємство "Rolls-Royce Energy Systems Inc." має у своєму розпорядженні філії у мм. Калгарі (Канада) та Бутл (Великобританія).

* Місто з населенням 14375 чол. (2000 р.).

** Адреса підприємства: 105 North Sandusky Street, Mount Vernon, OH 43050, U.S.A.

У даний час заводи у м. Ковентрі й Маунт Вернон для потреб стаціонарної енергетики, а також для використання як механічний привід випускають ГТА, засновані на конвертованих газогенераторах авіаційних двигунів компанії "Rolls-Royce plc". Можна назвати такі агрегати:

"Avon 2648" ("Coberra 2648") та "Avon 2656" ("Coberra 2656") потужністю 15...16 МВт і ККД 29...30 %;

RB211-6556 ("Coberra 6556"), RB211-6562 ("Coberra 6562"), RB211-6762 ("Coberra 6762") та RB211-6761 ("Coberra 6761") потужністю 26...32 МВт і ККД 35...40 %;

"Trent 60 DLE" та "Trent 60 WLE" потужністю 52...58 МВт і ККД 40...42 %.

На основі виготовлюваних агрегатів простої теплової схеми здійснюється випуск комбінованих та когенераційних установок.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун "Avon"

Промисловий газотурбінний двигун "Avon" створений на базі авіаційного ТРД того ж найменування, який був уперше введений в експлуатацію у 1950 р. на літаках "Canberra B.2" компанії "English Electric Co." та серійно виготовлявся як для військового, так і для цивільного застосування аж до 1974 р. Промислові ГТД, що випускаються в цей час, базуються на газогенераторах двигунів "Avon 1535".

Компанія "Rolls-Royce Ltd." першою у світовій практиці почала використовувати газогенератори авіаційних ТРД (у т. ч. і ті, що вже виробили свій літний ресурс) для масового створення промислових агрегатів. Саме ГТД "Avon", випуск якого почався у 1964 р., став першим подібним двигуном.

В історії газотурбобудування газогенератор авіадвигуна "Avon" (рис. 2.2.4) займає місце не тільки першого, але і найбільш вдалого та найбільш широко застосовуваного у наземних установках. До 2006 р. було виготовлено 1203 промислових ГТД "Avon" (529 – енергетичних, 674 – привідних), які напрацювали в сумі 53,4 млн год. Випуском агрегатів цього типу займалося багато підприємств в Англії, США та інших країнах. До їхнього числа можна віднести такі компанії, як "Cooper Rolls Inc.", "English Electric Co.", "Ruston Gas Turbines Ltd.", "Sulzer Escher Wyss AG" та ін.

Промислові ГТД "Avon" пристосовані працювати на рідкому чи газоподібному паливі або поєднувати їх. Вони широко застосовуються для генерування електроенергії, перекачування газу, транспортування нафти, а також для енергопостачання різноманітних технологічних виробництв.

Промислові двигуни на основі газогенератора "Avon" випускаються підрозділом корпорації "Rolls-Royce plc" у м. Маунт Вернон (США) ("Rolls-Royce Energy Systems Inc.") під торговою маркою **"Coberra 2000"** (табл. 2.2.1). За

всю історію цим підприємством було виготовлено більше 370 таких ГТД сумарною потужністю 5,6 млн кВт, які були продані 60 компаніям у 29 країнах та відробили до 2000 р. у сумі близько 24 млн год. Із часом потужність двигуна зросла на 68 %, ККД – на 20 %*.

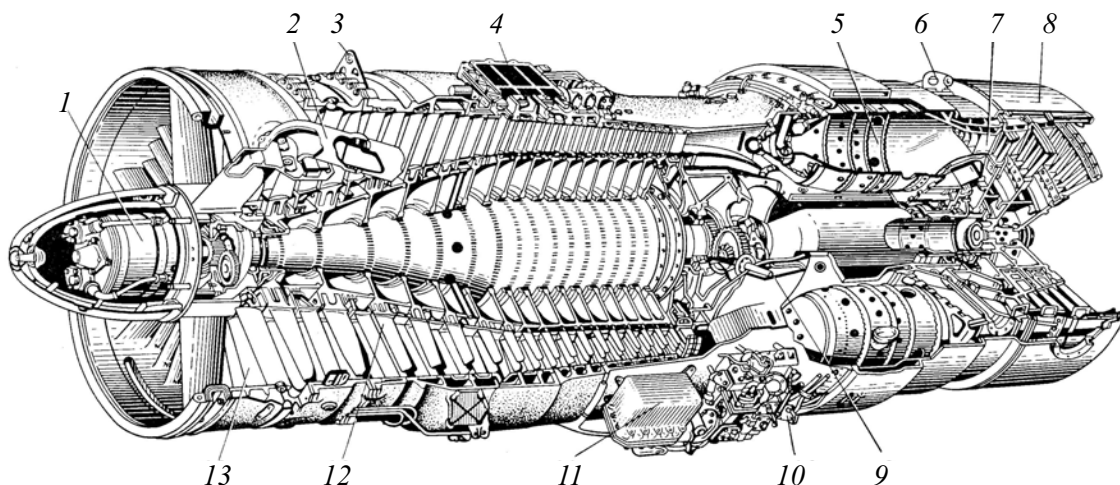


Рис. 2.2.4. Газогенератор двигуна "Avon":

1 – пусковий двигун; 2 – трубопровід подачі гарячого повітря на антизледеніння; 3, 6 – цапфи підвіски; 4 – антипомпажний клапан; 5 – КЗ; 7 – сопловий апарат турбіни; 8 – турбіна; 9 – привід допоміжних механізмів; 10 – система регулювання; 11 – маслоохолоджувач, охолоджуваний паливом; 12 – компресор; 13 – поворотний напрямний апарат компресора

Таблиця 2.2.1. Характеристики агрегатів на основі двигуна "Avon"

Параметри**	Привідні		Енергетичні***	
	Coberra 2648	Coberra 2656	Avon 2648	Avon 2656
Номінальна потужність, МВт	15,2	15,7	14,6	15,0
ККД, %	29,4	30,3	28,2	29,1
Витрата робочого тіла, кг/с	77,2	76,8	77,2	
Міра підвищення тиску	8,8			
Температура газу, К:				
перед силовою турбіною	889	891	889	891
за ГТД	715	710	715	710
Частота обертання, об/хв:				
газогенератора	7550			
силової турбіни	5500	4950	5500	4950
Маса****, т	22,7	23,6		24,5

* Перша модифікація двигуна "Coberra 2000" мала потужність 9,3 МВт та ККД 25,3 %.

** Параметри наведені для агрегатів, які оснащені низькоемісійною камерою згоряння.

*** Енергетичні ГТА, що випускаються підприємством у м. Маунт Вернон, також як і привідні, проходять під торговою маркою "Coberra".

**** Без урахування повітроприймного та газовихлопного пристроїв.

У "Coberra 2000" вміщені газогенератор авіаційного двигуна, який поставляється базовим заводом у Ковентрі (Англія), та створена "Rolls-Royce Energy Systems Inc." вільна силова турбіна, що випускається під торговою маркою "Cooper-Bessemer" (рис. 2.2.5). На сьогодні використовуються дві модифікації силової турбіни – RT48 та RT56; обидві виконані двоступінчастими.

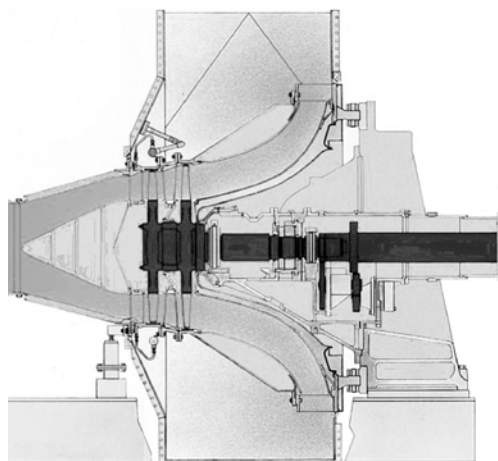


Рис. 2.2.5. Силова турбіна двигуна "Coberra 2000"

Газогенератор двигуна "Avon" має однокаскадну схему. Осьовий 17-ступінчастий компресор приводиться в обертання триступінчастою турбіною. Корпус компресора виконаний з подовжніми розніманнями і складається із чотирьох частин: перші дві – алюмінієві, дві інші – з молібденової сталі. Лопатки поворотного вхідного напрямного апарата і перший ряд напрямних лопаток виготовлені з нержавіючої сталі, лопатки наступних семи рядів – з алюмінієвого сплаву, інші – з титану. Дисковий складений ротор

спирається на два підшипники кочення. Вал ротора тонкостінний, перемінного діаметра; виконується з хромомолібденової, а диски ротора – з нержавіючої сталі. Робочі лопатки перших ступенів приєднані до дисків шарнірним кріпленням. Матеріал робочих лопаток – алюмінієвий сплав для перших десяти та нержавіюча сталь для останніх семи ступенів. Вхідний напрямний апарат автоматично регулюється на всіх режимах роботи компресора. За 4-м та 7-м ступенями встановлені антипомпажні клапани.

Турбіна компресора виконана консольною. Увесь ротор газогенератора спирається на три підшипники кочення. Перші два диски ротора турбіни встановлені на валу, останній диск кріпиться до другого.

Робочі лопатки ялинковими хвостовиками закріплені в пазах дисків. Диски інтенсивно охолоджуються повітрям. Матеріал вала ротора – хромонікелева сталь, дисків – "Rex 448", робочих лопаток – "Nimonic 115" або "Nimonic 105".

Камера згоряння в стандартній конфігурації – прямоотокова, трубчасто-кільцева, має 8 жарових труб, дві з яких оснащені запальниками. Відносно невисока початкова температура газу обумовлює невелику концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах: NO_x – не більше 85 ppm, CO – не більше 95 ppm.

Нові модифікації двигуна оснащуються розробленою "Rolls-Royce plc" низькоемісійною камерою згоряння ("Dry Low Emission"), яка забезпечує при роботі на газоподібному паливі концентрацію NO_x , CO та незгорілих вуглеводнів

у відпрацьованих газах не вище ніж відповідно 40, 50 та 50 ppm у широкому діапазоні режимів роботи ГТД. Подібними камерами згоряння можна також переоснастити двигуни "Avon", які вже експлуатуються.

Пуск двигуна здійснюється електричним або повітряним стартером потужністю 33 кВт, розміщеним в обтічнику компресора. Час пуску з холодного стану складає 2 хв; подальший набір потужності до повного навантаження відбувається за 11 с.

Час експлуатації ГТД "Avon" на режимі номінальної потужності до капітального ремонту становить не менше трьох років.

Енергетичні ГТА на основі двигуна "Avon" оснащуються чотириполісними генераторами, які виробляють перемінний струм частотою 50 або 60 Гц. Для зниження частоти обертання вихідного вала використовується редуктор.

На базі виготовлюваних агрегатів простої теплової схеми можливе створення парогазових та когенераційних установок.

Двигун RB211

Промисловий газотурбінний RB211 (рис. 2.2.6) створений на базі авіаційного турбовентиляторного двигуна тієї ж назви, який застосовується з кінця 60-х років на пасажирських авіалайнерах L-1011 "TriStar" компанії "Lockheed", а також літаках B-747, B-757 та B-767 "Boeing Co.". Серійно виготовляється з 1974 р. За цей період неодноразово вдосконалювався, відбиваючи на собі всі прогресивні зміни конструкції базової авіаційної моделі. Наслідком цього стало збільшення номінальної потужності з 15 до 32 МВт, ККД – з 30 до 40 %. Модифікації, що випускаються у цей час, базуються на авіаційних двигунах RB211-24G та RB211-24GT.

Двигун з успіхом експлуатується в найрізноманітніших кліматичних умовах як привід генераторів електричного струму, компресорів і насосів плаваючих бурових платформ, у складі компресорних станцій трансконтинентальних газопроводів, для забезпечення виробничого процесу нафтопереробних підприємств та інших енергоємних виробництв.

До 2006 р. загальне число виготовлених промислових RB211 становило 396 од. (60 – енергетичних, 336 – привідних), сумарний наробіток яких досяг 13 млн год, у т. ч. 5,3 млн год на морських нафтових і газових платформах. Двигуни експлуатувалися у 20 країнах 50 різними компаніями.

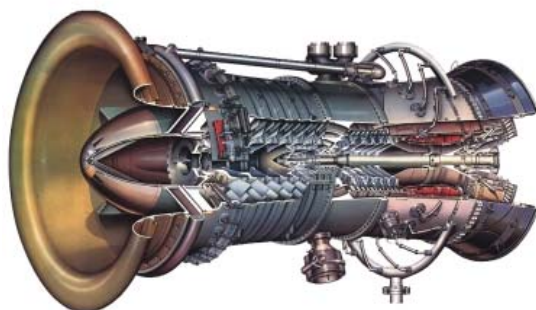


Рис. 2.2.6. Двигун RB211

Двигун виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною. Компресор низького тиску 7-ступінчастий та компресор високого тиску 6-ступінчастий приводяться в обертання одноступінчастими турбінами (рис. 2.2.7). Ротор ТКНТ установлений на трьох опорах, ТКВТ – на двох. Вал ТКНТ проходить усередині порожнього вала ТКВТ.

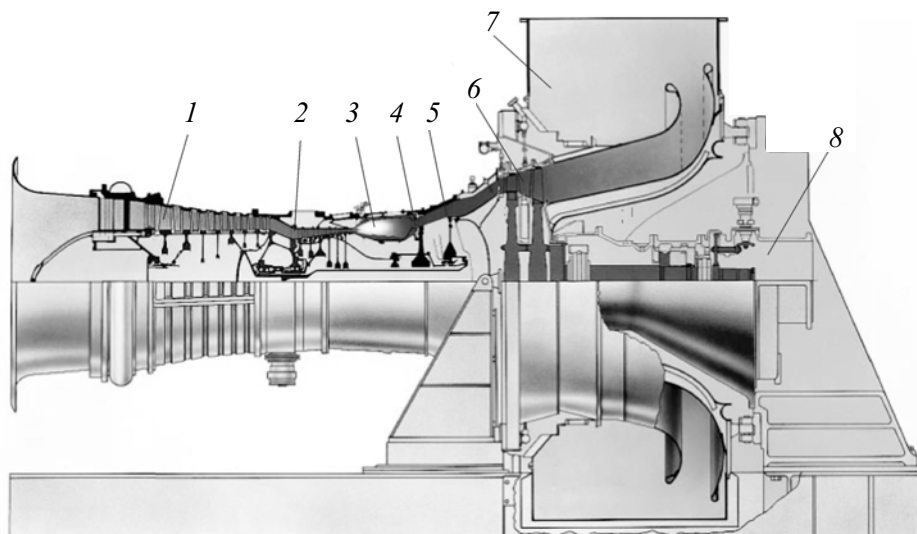


Рис. 2.2.7. Подовжній переріз двигуна RB211:

1 – КНТ; 2 – КВТ; 3 – кільцева КЗ; 4 – ТВТ; 5 – ТНТ; 6 – СТ; 7 – газовипускний пристрій;
8 – вал відбирання потужності

Вхідний напрямний апарат КНТ виконаний регульованим, що в сукупності з перепускними клапанами та двокаскадною конструкцією гарантує надійну роботу двигуна при запуску і на часткових режимах роботи, а також забезпечує невелику споживану потужність стартера (близько 150 кВт).

Ротори компресорів мають дисково-барабанну конструкцію, турбін – дискову. Консольний ротор дво- або триступінчастої силової турбіни спирається на два підшипники кочення, що розташовані всередині газопускного пристрою. Особливістю конструкції двигуна є з'єднання газопускного пристрою з корпусом силової турбіни за допомогою компенсаторів сифонного типу. Аналогічний компенсатор установлений між корпусами ТВТ і ТНТ.

Газогенератор двигуна має модульну конструкцію (складається з п'яти окремих модулів), що дозволяє проводити заміну окремих вузлів без розбирання іншої його частини. Використання самоцентрувальних сполучних муфт виключає необхідність проведення додаткового балансування.

Стандартна комплектація двигуна передбачає наявність прямої токової кільцевої камери згоряння, оснащеної 16-ма паливними форсунками та пристосованої з однаковою ефективністю працювати на рідкому або газоподібному паливі, а також поєднувати їх. Останні модифікації RB211 оснащуються

низькоемісійною камерою згоряння ("Dry Low Emission"), яка забезпечує при роботі на газоподібному паливі концентрацію NO_x та CO у відпрацьованих газах не більше 25 ppm у широкому діапазоні режимів роботи ГТД.

Низькоемісійна камера згоряння складається з дев'яти секцій, розташованих навколо двигуна і спрямованих радіально до його осі. Застосування такої камери не веде до зміни довжини ГТД. Вона повністю відповідає існуючому стандартну інсталяції. Кожна із секцій може бути демонтована окремо для проведення інспекції або ремонтних робіт менше ніж за годину.

Робота двигуна на номінальному режимі, при запуску, зупинці та перехідних режимах контролюється за допомогою програмної цифрової системи керування. Подача палива регулюється за допомогою електрогідравлічної дозуючої системи.

Відносно малі маса і габарити двигуна істотно полегшують проведення монтажних робіт. Повна заміна ГТД здійснюється бригадою з трьох чоловік менше ніж за 12 год, заміна газогенератора – за 8 год. Час експлуатації промислового RB211 на режимі номінальної потужності до капітального ремонту становить більше трьох років. Початкове розкручування ротора ГТД при запуску може здійснюватися за допомогою гідравлічної системи або повітряним чи газовим турбодетандером.

Підрозділом корпорації "Rolls-Royce plc" у м. Маунт Вернон (США) ("Rolls-Royce Energy Systems Inc.") промислові двигуни RB211 випускаються під торговою маркою "**Coberra 6000**" (табл. 2.2.2). Базові газогенератори авіаційного двигуна комплектуються на цьому підприємстві вільними силовими турбінами типів RT56, RT62 або RT61 торгової марки "Cooper-Bessemer"*. Цією ж філією виробляються системи цифрового керування і контролю типу "En-Tronic". У свою чергу виробничий центр у Ковентрі крім газогенераторів поставляє все необхідне (обслуговуюче двигун) устаткування, включаючи повітроприймний пристрій та теплозахисний кожух.

Двоступінчаста силова турбіна RT56 була розроблена на початку 70-х років для першого покоління промислових RB211. Із середини 80-х років двигуни комплектуються двоступінчастою турбіною типу RT62, яка пристосована ефективно взаємодіяти з більш потужними газогенераторами моделей RB211-24C і RB211-24G. Силова турбіна RT61 є останнім триступінчастим варіантом для промислових RB211.

Відмітними рисами всіх трьох варіантів силової турбіни є: невелика відстань між опорами, що забезпечує необхідну жорсткість ротора; оптимальний зовнішній діаметр, що гарантує необхідну колову швидкість і навантаження ступенів; оптимальна для монтажу й експлуатації відстань до газогенератора; консольне розташування дисків, що дозволяє вилучити стояки опорних вінців із проточної

* У назві ГТД останні дві цифри позначають тип силової турбіни. Наприклад, двигун "Coberra 6556" оснащений силовою турбіною RT56.

частини; мінімальні втрати тиску у вихлопному дифузори; охолодження дисків турбіни; використання бандажів для робочих лопаток усіх ступенів та стільникових вставок для ущільнення радіальних зазорів; використання матеріалів з високим вмістом нікелю, хрому і молібдену; наявність додаткового вбудованого допоміжного приводу для забезпечення роботи масляної системи*.

Таблиця 2.2.2. Характеристики агрегатів на основі двигуна RB211

Параметри**	Привідні				Енергетичні***			
	Coberra 6556	Coberra 6562	Coberra 6762	Coberra 6761	RB211 6556	RB211 6562	RB211 6762	RB211 6761
Рік початку виробництва	1990	1993	1999	2000	1990	1993	1999	2000
Номінальна потужність, МВт	26,0	29,5	30,2	32,6	24,1	27,5	29,4	30,9
ККД, %	35,8	38,0	38,7	40,1	34,1	36,2	37,8	39,1
Витрата робочого тіла, кг/с	92,2	94,5	95,5	99,0	88,9	91,6	94,8	99,0
Міра підвищення тиску	20,1	20,8	21,5		21,0	20,8	21,5	
Температура газу, К: перед силовою турбіною за ГТД	1005 761	1035 764	— 766	1063 778	1005 768	1035 773	—	1063 781
Частота обертання, об/хв: ротора низького тиску силової турбіни	6622 4950	6696 4800	—	6300 4850	6622 4950	6696 4800	—	6300 4850
Маса****, т	26,3			25,9	26,3			25,9

Енергетичні ГТА з двигуном RB211 з метою полегшення транспортування, збирання і керування виконуються з окремих модулів. Загальна площа, зайнята агрегатом простої теплової схеми, не перевищує 250 м². Довжина рами стандартного блока становить близько 17 м, ширина – 3,5 м, висота – 10 м.

До складу ГТА входять такі модулі:

повітроприймний пристрій, який призначений для аеродинамічного

* Силова турбіна та газогенератор у ГТА на основі двигуна RB211 мають роздільні системи змащення.

** Параметри наведені для агрегатів, оснащених низькоемісійною камерою згоряння.

*** Енергетичні ГТА, що виробляються підприємством у м. Маунт Вернон, також як і привідні, випускаються під торговою маркою "Coberra".

**** Маса ГТА наведена без урахування повітроприймної та газовипускної систем. Маса газогенератора базового авіаційного двигуна становить 2,54 т.

направлення потоку повітря у проточну частину компресора, а також забезпечення його очищення й шумоглушіння;

газовипускний пристрій для відведення відпрацьованих газів від двигуна в атмосферу і глушіння утвореного при цьому шуму;

блок допоміжних механізмів, що включає у себе механізми паливної та масляної систем й інші обслуговуючі пристрої;

генераторний блок, до складу якого входить генератор перемінного струму частотою 50 або 60 Гц зі своїми системами збудження, змащення та охолодження*;

блок газотурбінного двигуна, що включає у себе також теплозвукоізолюючий кожух й обслуговуючі ГТД механізми та пристрої; передача потужності до генератора здійснюється через редуктор, який понижує частоту обертання.

Енергоблоки забезпечуються також системою поєднувальних трубопроводів, системами електропостачання й вентиляції, протипожежною системою. Загальна маса енергетичного ГТА становить близько 248 т, з них маса газогенератора двигуна з обслуговуючим устаткуванням – 3,9 т, іншої частини блока ГТД – 76,1 т, генераторного блока – 101,0 т. Перший енергетичний агрегат RB211 був введений в експлуатацію у 1983 р. на нафтовій платформі "Mobile Beryl".

На базі виготовлюваних агрегатів простої теплової схеми ведеться створення парогазових та когенераційних установок. Технічні характеристики деяких варіантів ПГУ з одним або двома двигунами RB211 наведені в табл. 2.2.3.

Таблиця 2.2.3. Характеристики парогазових установок на базі RB211

Параметри	Моделі двигунів					
	RB211-6562		RB211-6762		RB211-6761	
Кількість ГТД	1	2	1	2	1	2
Потужність, МВт:						
на клеммах генератора	37,7	75,4	39,7	79,5	42,6	85,3
ГТД	26,7	53,4	28,6	57,2	31,1	62,3
паротурбінної частини	12,0	24,1	12,2	24,4	12,6	25,2
ККД на клеммах генератора, %	50,2		51,4		52,8	
Частота струму, Гц	50/60					

Двигун "Trent"

Газотурбінний "Trent" (рис. 1Д**) був створений на базі авіаційного турбовентиляторного двигуна того ж найменування, обраного багатьма авіалініями для приводу літаків "Boeing 777" та аеробуса А330. Виготовляється з 1996 р. Перший двигун був установлений у липні 1998 р. на електростанції

* Компанія "Rolls-Royce plc" надає перевагу чотириполюсним генераторам перемінного струму.

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

компанії "Whitby Cogen" у м. Монреаль (Канада). До 2006 р. "Rolls-Royce plc" ввів у експлуатацію 11 таких ГТД (близько 85 тис. год сумарного наробітку); існували замовлення на постачання ще 9 двигунів.

Промисловий "Trent" поєднує у собі конвертований газогенератор базового авіадвигуна та вільну силову турбіну. Газогенератор виконаний трикаскадним (рис. 2.2.8). Повітря послідовно стискується в 2-ступінчастому компресорі низького тиску, 8-ступінчастому компресорі середнього тиску та 6-ступінчастому компресорі високого тиску. Ці компресори приводяться в обертання одноступінчатими турбінами високого і середнього тисків, а також 5-ступінчастою турбіною низького тиску. Компресор середнього тиску має ступені зі змінюваною геометрією.

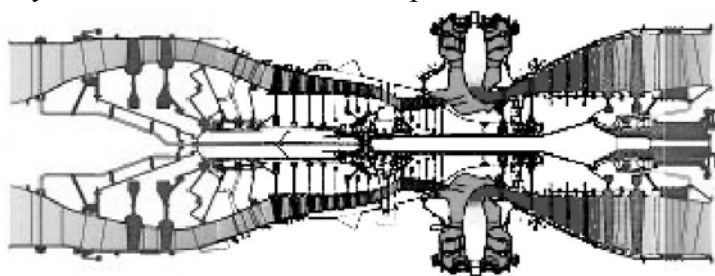


Рис. 2.2.8. Подовжній переріз газогенератора двигуна "Trent"

Сьогодні випускаються кілька модифікацій цього двигуна. Привідна модифікація, а також енергетична модель "Trent 60 DLE" оснащуються розробленою компанією "Rolls-Royce plc" низькоемісійною камерою згоряння ("Dry Low Emission"), яка забезпечує при роботі на газоподібному паливі концентрацію NO_x та CO у відпрацьованих газах не більше 25 ppm у широкому діапазоні режимів роботи ГТД. При роботі на рідкому паливі для припинення утворення NO_x використовується впорскування води. Дана камера згоряння виконана секційною; вона складається з восьми радіально розташованих щодо осі двигуна окремих камер.

Для енергетичної модифікації "Trent 60 WLE", використовуваної головним чином у складі установок з утилізацією тепла відпрацьованих газів, застосовується кільцева камера, що являє собою дещо видозмінену камеру згоряння базового авіаційного двигуна. Зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах досягається введенням пари або води (так звана система "Wet Low Emission"). Частота обертання силової турбіни енергетичних модифікацій відповідає частоті обертання генератора струму, що виключає необхідність застосування додаткового редуційного пристрою. Для використання як механічний привід можливе створення модифікацій з необхідною частотою обертання силової турбіни.

Система керування двигуна "Trent" розроблена разом з компанією "Woodward Governor Co.". Програмна цифрова система контролює вихідну потужність і перехідні операції, підведення повітря, подачу палива в камеру згоряння за допомогою електрогідравлічної паливодозуючої апаратури.

Передбачено систему аварійної зупинки ГТД. Двигун має модульну конструкцію і складається із шести основних вузлів, кожний з яких може бути замінений без розбирання всього ГТД. Використання самоцентрувальних сполучних муфт виключає необхідність проведення додаткового балансування. Основні технічні характеристики різних модифікацій двигуна "Trent" наведені в табл. 2.2.4.

Таблиця 2.2.4. Характеристики модифікацій двигуна "Trent"

Параметри	Trent (привідний)	Trent 60 DLE	Trent 60 WLE
Номінальна потужність на вихідному валу, МВт	52,5	51,8	58,0
ККД на вихідному валу, %	42,5	42,4	40,7
Витрата робочого тіла, кг/с	154	152	166
Міра підвищення тиску	34,9	35,0	
Температура газу за ГТД, К	714	713	700
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3400	3000/3600	
Маса*, т	28,6	–	

Гарні масогабаритні показники двигуна значно полегшують проведення монтажних робіт. Його повна заміна здійснюється бригадою з трьох чоловік менше ніж за 12 год, заміна газогенератора – за 8 год. Енергетичні ГТА з двигуном "Trent" містять у собі крім самого ГТД також усі обслуговуючі механізми та системи, електрогенератор, повітроприймний та газовипускний пристрої, систему контролю, необхідне електровстаткування. Маса такого агрегату становить близько 280 т, з яких маса блока ГТД – 108 т, блока електрогенератора – 110 т. Площа під установлення займає не більше 250 м² (під розміщення ПГУ зайнята площа не перевищує 600 м²). У складі ГТА використовуються двополюсні генератори перемінного струму частотою 50 або 60 Гц із повітряним охолодженням.

На основі виготовлюваних агрегатів простої теплової схеми можливе створення парогазових та когенераційних установок. Технічні характеристики деяких варіантів парогазових установок з одним або двома ГТД "Trent 60 DLE" наведені у табл. 2.2.5.

Таблиця 2.2.5. Характеристики парогазових установок на базі "Trent 60 DLE"

Параметри	Кількість двигунів			
	1	1	2	2
Потужність, МВт:				
на клеммах генератора	64,0	64,1	128,9	129,2
ГТД	50,0		100,7	
паротурбінної частини	14,1	14,2	28,2	28,4
ККД на клеммах генератора, %	53,1	52,8	53,1	52,8
Частота струму, Гц	50	60	50	60

* Без урахування повітроприймного та газовипускного пристроїв.

2.2.2. Науково-виробничий центр у м. Брістоль (Великобританія)

Науково-виробничий центр у м. Брістоль* веде свою історію з 1910 р., коли в невеликому містечку Філтон, розташованому на північному краї Брістоля, поруч із місцевим аеродромом було засноване авіабудівельне підприємство **"British & Colonial Aeroplane Company"**, яке в 1920 р. перейменоване на **"Bristol Aeroplane Company"**.

У роки Першої Світової війни компанія випустила кілька винищувачів типу "Boxkite" та F2.B "Fighter". Популярність до "Bristol Aeroplane Co." прийшла в період між двома війнами й особливо під час Другої Світової війни, коли серійно у великих кількостях вироблялися такі вдалі конструкції, як винищувач "Beaufighter" та легкий бомбардувальник "Blenheim". Також у цей період випускалися літаки типу "Beaufort", "Bolingbrook", "Bombay", "Brigand", "Buckingham", "Buckmaster", "Bulldog". До кінця Другої Світової війни завод у Філтоні був одним з найбільших у світі авіабудівельних підприємств.

Компанія "Bristol Aeroplane Co." брала активну участь у післявоєнному ренесансі британської цивільної авіації. У 1949 р. уперше піднявся в повітря найбільший на той час у світі пасажирський лайнер "Brabazon". У великих кількостях у 50-х роках вироблялися пасажирські лайнери типу "Britannia" та вантажні літаки "Freighter". Успішно пройшла випробування модель "188" (попередник літака "Concorde"). Серійно випускалися вертольоти "Belvedere" та "Sycamore".

Необхідно відзначити, що компанія істотно зміцнилася у 1920 р. після приєднання до неї іншого брістольського підприємства **"Cosmos Engineering Company"**, яке розташовувалося в пригороді Фішпондз. Це підприємство було утворене в перші роки XX ст. ірландським інженером Дж. Брезілом та лондонським комерційним агентом С. Стрейкером під назвою **"Brazil Straker Company"** і до початку Першої Світової війни займалося виробництвом легкових автомобілів та автобусів. Відразу після початку війни "Brazil Straker Co." починає освоювати випуск поршневих двигунів компанії "Rolls-Royce Ltd.". З 1917 р. підприємство самостійно веде розробку поршневих радіальних двигунів з повітряним охолодженням. Першим істотним результатом досліджень, який набув надалі широку популярність, став створений під керівництвом Роя Феддена авіаційний 9-циліндровий однорядний двигун "Jupiter" потужністю 325...435 кВт, серійне виробництво якого почалося у 1918 р. та продовжувалося до 1930 р. Двигун застосовувався на англійських пасажирських авіалайнерах HP42 "Hannibal", DH.61 "Giant Moth", DH.66 "Hercules", військових літаках "Bulldog", "Gamecock", "Sideshow", випускався за ліцензією у 14 країнах. У Радянському Союзі під назвою М-22 для приводу літаків

* Місто на південно-заході Англії з населенням 381 тис. чол. (2001 р.). Адреса підприємства: 31 Fishponds, Bristol, BS16 1XY, England.

И-16 його було випущено кілька тисяч одиниць*. Необхідно відзначити, що в 1918 р. "Brazil Straker Co." перейшла у власність англо-американської компанії "Cosmos", після чого її назва змінилася на "Cosmos Engineering Co.".

У 30-х роках науково-виробничий центр у Брістолі розробив нову лінію авіаційних поршневих двигунів ("Titan", "Mercury", "Pegasus", "Phoenix", "Hydra", "Perseus", "Aquila", "Taurus", "Hercules", "Centaurus"), найбільш потужні з яких продавалися до 60-х років.

У 1946 р. "Bristol Aeroplane Co." створює підрозділ "Bristol Cars", який на базі довоєнних моделей німецької фірми "BMW" організував виробництво автомобіля "Bristol 400".

Першим досвідом у галузі створення газотурбінних двигунів став турбогвинтовий **"Theseus"** потужністю 1655 кВт. Єдиним його застосуванням були деякі версії транспортного літака HP81 "Hermes" компанії "Handley Page", на які він установлювався у 1946-1949 рр. замість поршневих двигунів "Hercules".

Компанія "Bristol Aeroplane Co." наприкінці 40-х років розробила на основі "Theseus" свій перший вдалий ГТД, який одержав назву **"Proteus"**. Цей турбогвинтовий двигун, що розвивав потужність 2820...3315 кВт, оснащувався протитоковою камерою згоряння і мав двовальний ротор. Одна з турбін приводила в обертання компресор (12 осьових ступенів та один відцентровий), інша – повітряний гвинт. Використовувався він головним чином на пасажирських літаках сімейства "Britannia" (з 1952 по 1975 р.). Перша модифікація під назвою "Proteus 600" потужністю 2820 кВт використовувалася також у 1952 р. на експериментальних літаючих човнах "Princess", де застосовувалася у спареному вигляді (два двигуни працювали через підсумовуючий редуктор на один гвинт – "Coupled Proteus").

На основі авіаційного ГТД "Proteus 705" компанія створила його конвертовану судову версію потужністю 2,5...3,0 МВт, що пройшла серію досліджень на фрегаті "Exmouth" (як маршовий двигун) та встановлювалася на швидкохідних патрульних катерах британського флоту "Brave" і "Bold". Початкова температура газу судового ГТД становила 1125 К, міра підвищення тиску – 7,3, ККД – 24 %. Конвертована версія знайшла також і деяке промислове застосування.

Наступним вдалим проектом компанії став двокаскадний турбореактивний двигун **"Olympus"**. Уперше запущений у 1950 р., він розвив початкову тягу 4535 кгс і до 1953 р. проходив випробування на літаках "Canberra" компанії "English Electric Co.". Серійне виробництво двигуна "Olympus 201" тягою 7710 кгс почалося в 1955 р. і з 1956 р. він установлювався на стратегічних бомбардувальниках "Vulcan" компанії "Avro". Бомбардувальники "Vulcan" з ядерною зброєю на борту випускалися до 1965 р. (усього виготовлено 134 од.); їхня експлуатація продовжувалася до 1984 р.

* У т. ч. і заводом № 29 у м. Запоріжжі (нині ВАТ "Мотор Січ").

У 1956 р. з ініціативи британського уряду в "Bristol Aeroplane Co." відбулася реорганізація. Від неї відокремлюється підрозділ, що виробляв авіаційні двигуни, який після цього одержує найменування **"Bristol Aero Engines Ltd."**. У 1958 р. він поєднується з іншою двигунобудівною компанією "Armstrong-Siddeley Motors Co." (м. Ковентрі)*, внаслідок чого утворюється підприємство **"Bristol Siddeley Engines Ltd."**. Головна ж частина "Bristol Aeroplane Co." ввійшла до складу новоствореної авіабудівельної корпорації "British Aircraft Corp."

У другій половині 50-х років науково-виробничий центр у Брістолі починає працювати над конструкцією турбовентиляторного двигуна. Групою під керівництвом Стенлі Гукера (рис. 2.2.9) (колишнього головного конструктора турбореактивних двигунів "Rolls-Royce Ltd.") розробляється однокаскадний **"Orpheus"**, на базі якого в 1958 р. створюється один з найвідоміших двигунів компанії – **BE.53 "Pegasus"**.



Рис. 2.2.9. Стенлі Гукер (1907–1984)

Двигун "Pegasus" розроблявся паралельно з багатоцільовим військовим літаком "Harrier" компанії "Hawker Siddeley", для якого він призначався. Відмітною рисою двигуна була наявність змінюваного вектора тяги. Застосування поворотних реактивних сопел давало можливість літаку здійснювати як традиційний лінійний рух, так і строго вертикальний зліт із площадки обмежених розмірів. "Pegasus" мав двокаскадний компресор з консольно розташованим переднім вентиляторним ступенем. Особливістю КНТ була відсутність вхідного напрямного апарата.

Для зменшення шкідливого впливу гіроскопічних явищ на маневреність літака при посадці ротори двигуна оберталися у протилежних напрямках.

Різні модифікації літака "Harrier" з 1960 р. аж до сьогодні використовуються на службі в британській авіації, ВМФ, морському корпусі США та флотах Індії, Італії, Іспанії і Таїланду. Протягом експлуатації більше 1000 двигунів "Pegasus" напрацювали в сумі близько 1 млн год. Двигун випускається також за ліцензією американською "Pratt & Whitney Corp."

У 1961 р. до "Bristol Siddeley Engines Ltd." приєднуються двигунобудівні підприємства "Blackburn Engines Company" та "The de Havilland Engine Company".

В історії підприємства в Брістолі 60–70-і роки відзначені спільним із французькою фірмою "SNECMA" проектом зі створення двигуна для надзвукового пасажирського літака типу "Concorde". За основу був узятий турбореактивний двигун "Olympus 320" тягою 9070 кгс. Англійська сторона виконувала роботи з удосконалення проточної частини двигуна та його систем, "SNECMA"

* Див. інформацію про науково-виробничий центр у м. Ковентрі.

займалася створенням регульованого вхідного напрямного апарата, вихідного реактивного сопла, додаткової камери згоряння й системи шумоглушіння. Розроблений унаслідок цього "Olympus 593" став першим і дотепер єдиним у світі цивільним ТРД із форсажною камерою згоряння. Ця камера значно збільшила довжину двигуна, проте тяга при цьому зросла до 13885 кгс (в останній модифікації "Olympus 593-22R" – до 16870 кгс). Літаки "Concorde" знаходилися в комерційній експлуатації із січня 1976 р. по жовтень 2003 р.

У 1966 р. компанія "Bristol Siddeley Engines Ltd." увійшла до складу корпорації **"Rolls-Royce Ltd."**.

Окремою виробничою галуззю підприємства в Брістолі з другої половини 60-х років стає створення ГТА для британського ВМФ. На сьогодні це підприємство – єдине у Великобританії, яке займається виробництвом суднових ГТА. Ці агрегати створюються на основі власних серійно виготовлюваних авіаційних двигунів.

Розробка суднових агрегатів велася у 60–90-х роках у рамках підприємства **"Rolls-Royce Industrial & Marine Gas Turbines Ltd."**, до складу якого входив також завод у Ковентрі, що займався створенням промислових ГТА. Після реорганізації 1996 р. це підприємство одержало назву **"Rolls-Royce Power Engineering plc"**. Філія підприємства ("Rolls-Royce Marine AS") розташована у м. Ульстейнвік (Норвегія).

У другій половині 60-х років науково-виробничий центр у Брістолі організував на базі авіаційного турбогвинтового двигуна **"Tyne"** випуск його суднової модифікації потужністю 4 МВт, яка в 70–90-х роках широко використовувалася як маршовий двигун на кораблях найрізноманітнішого призначення (фрегати проектів 21 та 22, есмінці проекту 42 тощо).

На базі авіаційного турбореактивного двигуна **"Olympus"** наприкінці 60-х років підприємство створює однойменний судновий двигун потужністю 16 МВт, виробництво першої модифікації якого ТМ1А почалося у 1973 р. Модифікація ТМ3В використовувалася як прискорювальний ГТД на легких авіаносцях класу "Invincible", фрегатах проекту 21, есмінцях проекту 42 та ін.

Турбовентиляторний двигун **"Spey"** послужив основою для створення у 80-х роках суднового двигуна SM1A потужністю 13 МВт. Ця модель, а також наступна SM1C потужністю 18 МВт застосовувалися для оснащення фрегатів проектів 22 і 23 британського флоту, голландських фрегатів класів "Karel Doorman" та "De Zeven Provinciën" тощо.

У співтоваристві з американською "Westinghouse Electric Corp." підприємство в Брістолі у другій половині 90-х років розробляє для морського флоту газотурбінний агрегат **WR-21** потужністю 25 МВт та ККД 42 % із проміжним охолодженням повітря й регенерацією тепла відпрацьованих газів.

На основі авіаційного двигуна "Trent 800", який з 1997 р. широко застосовується для приводу літаків "Boeing 777", науково-виробничий центр у перші роки ХХІ ст. створює його суднову версію MT30, що має потужність 36 МВт і ККД 41 %.

У даний час для потреб суднової енергетики підприємство в Брістолі виготовляє такі газотурбінні агрегати:

"Tyne RM1C" потужністю 4 МВт та ККД 30 %;

"Olympus TM3B" потужністю 16 МВт і ККД 27 %;

"Spey SM1C" потужністю 19 МВт та ККД 37 %;

WR-21 із проміжним охолодженням повітря й регенерацією потужністю 25 МВт і ККД 42 %;

MT30 потужністю 36 МВт та ККД 41 %.

Нижче наводяться характеристики суднового газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун "Tyne"

Судновий "Tyne" був створений на базі авіаційного турбогвинтового двигуна тієї ж назви, який знаходився в експлуатації з 1960 р. і мав схему з двокаскадним компресором та блокованою турбіною низького тиску. Корабельний ГТД спочатку виконувався у двох модифікаціях: Mk.621 та RM1A.

У першому варіанті при конвертуванні авіаційного ГТД його конструктивна схема залишилася незмінною: триступінчаста ТНТ одночасно з приводом компресора передавала потужність споживачеві. Протягом конвертування магнієві сплави були замінені на алюмінієві, також введені антикорозійні покриття. На вході до двигуна встановлені пристрої для промивання проточних частин турбін і компресорів. Ця модифікація вперше застосована на судні на підводних крилах "Dolphin" у 1966 р.

На відміну від попередньої **модифікація "Tyne RM1A"** виконана двокаскадною з вільною силовою турбіною. Підвищення тиску повітря здійснюється послідовно у 6-ступінчастому компресорі низького тиску та 9-ступінчастому компресорі високого тиску. Підведення повітря до КНТ відбувається через вхідний пристрій, обладнаний вісьма порожніми радіальними стояками. Подача через ці стояки гарячої повітряно-масляної суміші або повітря з КВТ запобігає зледенінню корпусу.

Ротор КНТ – дисковий. Перший диск виконаний разом з валом, інші приєднуються до вала за допомогою радіальних штифтів. В опорах ротора знаходяться два роликових підшипники кочення. Ротор КВТ також дисковий, збірний; спирається на передній роликовий та задній кульковий підшипники. Камера згоряння – трубчасто-кільцева, має 10 жарових труб. У трубах №№ 3 та 8 розміщуються електроіскрові запальники палива.

Одноступінчаста турбіна високого тиску виконана охолоджуваною. Її робочі лопатки (121 шт.) обладнані бандажними полицями. Сопловий апарат має 50 лопаток. Турбіна низького тиску також одноступінчаста. У її склад входить 101 обандажена робоча лопатка. Двоступінчаста турбіна гвинта виконана

з відбиранням потужності з боку відведення газів. Усі турбінні соплові й робочі лопатки виготовлені зі сплавів з високим вмістом нікелю.

З 1975 р. ведеться випуск модифікації "Tyne RM1C". Основні характеристики ГТА становлять: номінальна потужність на вихідному валу ГТД – 4,0 МВт, ККД на вихідному валу ГТД – 30,0 %, витрата робочого тіла – 21 кг/с, міра підвищення тиску – 12,5, початкова температура газу – 1213 К, температура газу перед силовою турбіною – 902 К, температура газу за ГТД – 714 К, частота обертання силової турбіни – 13970 об/хв, маса – 14,1 т, довжина – 5,6 м, ширина – 2,1 м, висота – 2,6 м.

Двигуни "Tyne" входять до складу комбінованої газо-газотурбінної установки есмінців з керованою ракетною зброєю проекту 42 (до 1982 р. мав назву клас "Sheffield"). Два ГТД "Tyne" виконують роль маршових, два "Olympus TM3B" – прискорювальних двигунів. Сьогодні флот Великобританії оснащений вісьмома подібними есмінцями водотоннажністю 4820 т (клас "Birmingham") та чотирма есмінцями водотоннажністю 5200 т (клас "Manchester"), що були спущені на воду в період з 1976 по 1985 р.

Маршові двигуни "Tyne RM1C" разом із прискорювальними "Olympus TM3B" складають енергетичну установку типу "COGOG" восьми побудованих у 1974–1980 рр. фрегатів проекту 21, шість з яких у середині 90-х років були продані Пакистану, ще два – потоплені Аргентиною під час Фолклендського конфлікту 1982 р.

Двигуни "Tyne" застосовуються як маршові й в складі енергетичних установок "COGOG" багатоцільових фрегатів проекту 22 "Broadsword" водотоннажністю 4400...4900 т. У 1976–1990 рр. було побудовано 14 таких кораблів, з яких чотири в середині 90-х років продано Бразилії, два – Румунії, один – Чилі, ще три виведені зі складу флоту.

За ліцензією "Tyne RM1C" випускається компанією "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." та використовується нею для оснащення ВМФ Японії.

Двигун "Olympus"

Судновий "Olympus", серійно виготовлюваний з кінця 60-х років, був створений на базі авіаційного ТРД того ж найменування, який у 60–90-х роках використовувався на стратегічних бомбардувальниках "Vulcan" та надзвукових пасажирських авіалайнерах "Concorde". Модифікації суднового двигуна в попередній період у деякій мірі застосовувалися в промисловості.

Двигун виконаний за двокаскадною схемою з вільною силовою турбіною (рис. 2.2.10). В алюмінієвому передньому корпусі двигуна розміщується передній роликовий підшипник компресора низького тиску та вхідний напрямний апарат. Корпус 5-ступінчастого КНТ складається з двох частин і відлитий з алюмінієвого сплаву. Дисковий ротор, робочі та напрямні лопатки виконані з нержавіючої сталі. У проміжному силовому корпусі, розміщеному між

компресорами, закріплені спрямні лопатки КНТ та вхідний напрямний апарат КВТ. Через вісім порожніх стояків, до яких кріпиться корпус підшипників, відводиться повітря для охолодження турбін. Тут розміщені два кулькових упорних підшипники КНТ та передній роликовий підшипник КВТ. На проміжному корпусі укріплена коробка приводів. На КНТ навішані тахогенератор КНТ та паливний насос низького тиску, на КВТ – паливний насос високого тиску, головний масляний насос, чотири відкачувальні насоси, тахогенератор КВТ і привід стартера.

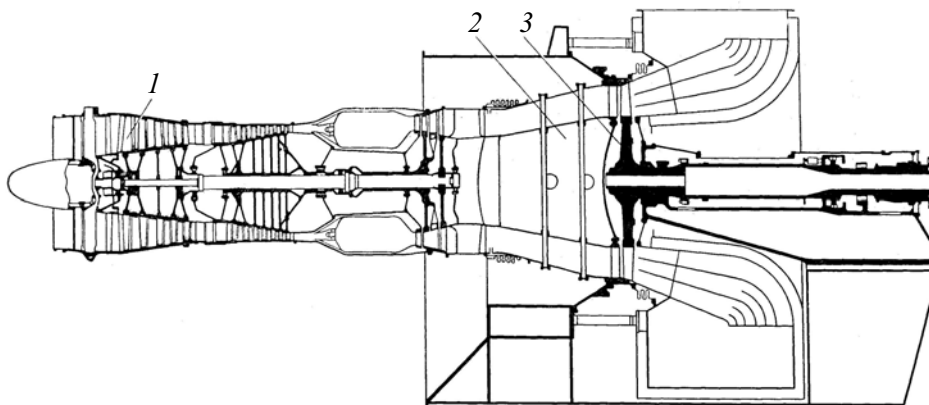


Рис. 2.2.10. Подовжній переріз двигуна "Olympus TM1A":

1 – газогенератор; 2 – проміжний корпус; 3 – СТ

Конструкція 7-ступінчастого КВТ аналогічна конструкції КНТ. Задня опора КВТ складається з двох радіально-упорних кулькових підшипників. Між корпусом КВТ і камерою згоряння розташований задній корпус.

Камера згоряння трубчасто-кільцевого типу з вісьмома жаровими трубами має горизонтальне рознімання. Жарові труби можуть бути демонтовані без розбирання турбокомпресора.

Турбіни компресорів – одноступінчасті. Диск ТВТ розташований консольно. Робочі лопатки обох турбін обладнані бандажами.

У процесі конвертування в конструкцію базового двигуна "Olympus 201" були внесені такі зміни: замінений матеріал деяких деталей і вузлів (зокрема литі корпусні деталі з магнієвих сплавів замінені на деталі з алюмінієвих сплавів, робочі лопатки КНТ виготовлені з нержавіючої сталі, для робочих лопаток ТВТ використаний сплав "Nimonic 115"); установлені підшипники, що мають більшу працездатність у морських умовах; дороблена конструкція камери згоряння для забезпечення роботи на дизельному паливі, внутрішня поверхня жарових труб покрита карбідом вольфраму для зменшення зносу внаслідок ерозії. Збільшена маса робочих лопаток обумовила необхідність переконструювання всієї роторної частини. Нові ротори ретельно випробовувалися з проведенням тензометрування.

З газогенератора гарячі гази надходять у силову турбіну через проміжний корпус, обладнаний гнучким компенсатором, завдяки якому стає непотрібним точне центрування газогенератора і силовій турбіні. Для двигуна "Olympus" розглядалися різні конструкції силовій турбіні. Першою з них була одноступінчаста версія ТМ1А. Проте із часом перевага була надана двоступінчастому варіанту ТМ3В.

Основні характеристики суднового ГТА з двигуном "Olympus ТМ3В" становлять: номінальна потужність на вихідному валу ГТД – 16,0 МВт, ККД на вихідному валу ГТД – 27,2 %, витрата робочого тіла – 108,6 кг/с, міра підвищення тиску – 10,5, температура газу за ГТД – 703 К, частота обертання КНТ – 6315 об/хв, частота обертання КВТ – 7515 об/хв, частота обертання силовій турбіні – 5660 об/хв, маса – 30,8 т, довжина – 9,2 м, ширина – 2,7 м, висота – 3,7 м.

Перша модифікація двигуна під найменуванням "Olympus ТМ1А" була встановлена наприкінці 60-х років на фрегаті "Bristol". Основне суднове застосування знайшла модифікація "Olympus ТМ3В", яка випускається з 1973 р. і відрізняється від попередньої версії конструкцією силовій турбіні.

У 1974 р. спускається на воду корабель "Amazon" – головний з восьми побудованих фрегатів проекту 21. Він став першим кораблем у Великобританії, оснащеним всережимною газотурбінною енергетичною установкою типу "COGOG", яку складали маршові двигуни "Tyne RM1A" та прискорювальні ГТД "Olympus ТМ3В". Два кораблі цього проекту ("Ardent" і "Antelope") були знищені під час Фолклендського конфлікту з Аргентиною у 1982 р. Інші шість у 1993–1994 рр. продані Пакистану, надалі перейменовані на клас "Tariq" і дотепер входять до його ВМФ.

Два маршових і два прискорювальних двигуни "Olympus ТМ3В" формують енергетичну установку типу "COGAG" англійських легких авіаносців класу "Invincible" водотоннажністю 20400 т. Три кораблі (R05 "Invincible", R06 "Illustrious" та R07 "Ark Royal") введені в експлуатацію у 1980–1985 рр. Робота двигунів забезпечує повну швидкість ходу в 28 вузлів, швидкість на маршовому ході становить 18 вузлів.

Одним з найзначніших у флоті Великобританії є клас есмінців з керуваною ракетною зброєю проекту 42 (раніше клас мав назву "Sheffield"). Кораблі обладнані комбінованою газо-газотурбінною установкою: два двигуни "Tyne" є маршовими, два "Olympus ТМ3В" – прискорювальними. Есмінці будувалися трьома партіями. Перші дві водотоннажністю 4820 т склалися з десяти одиниць – у період з 1976 по 1983 р. Після знищення під час Фолклендського конфлікту 1982 р. головного корабля "Sheffield" цей клас есмінців отримав назву "Birmingham". Третя партія водотоннажністю 5200 т, що складалася із чотирьох одиниць, будувалася з 1984 по 1985 р. Вона одержала назву "Manchester".

У період з 1979 по 1990 р. до ВМФ Франції були введені сім ракетних есмінець класу "Georges Leagues" водотоннажністю 4200 т. Кораблі обладнані комбінованою дизель-газотурбінною установкою. Два дизелі сумарною потужністю 7,8 МВт забезпечують маршовий рух, два двигуни "Olympus TM3B" забезпечують повну швидкість ходу.

У 80–90-х роках двигунами "Olympus TM3B" оснащувалися також бельгійські фрегати "Wielingen" та голландські фрегати класу "L".

З кінця 70-х років "Olympus TM3B" за ліцензією випускається компанією "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." і використовується нею для оснащення ВМФ Японії.

Двигун "Spey"

Газотурбінний "Spey" належить до суднових двигунів другої генерації компанії "Rolls-Royce plc", для яких характерними є використання модульної конструкції, велика компактність, головним чином за рахунок скорочення габаритів систем газовипуску й підведення повітря, а також більш низька питома витрата палива.

Двигун являє собою повністю укомплектований агрегат, змонтований у закритому контейнері. Його формують газогенератор та вільна силова турбіна, встановлені на спільній фундаментній рамі, на якій монтуються також системи газовипуску й підведення повітря.

Судновий "Spey" був створений на базі авіаційного турбовентиляторного двигуна тієї ж назви, який випускається з 1964 р. і добре зарекомендував себе в процесі експлуатації на пасажирських лайнерах "Trident", "1-11" та "Caravelle" (модель RB.163), а також військових літаках "Buccaneer S.2", F-4 "Phantom II", "AMX", "Nimrod" й інших (модель RB.168). Авіаційні версії двигуна працювали до 2005 р. більше 50 млн год льотного часу.

При проектуванні намагалися вносити мінімальні зміни у базову конструкцію. Газогенератор суднового двигуна "Spey" виконаний двокаскадним, осьовим (рис. 2.2.11). Компресор низького тиску – 5-ступінчастий, з титановими лопатками; компресор високого тиску – 11-ступінчастий. Обидві турбіни компресорів двоступінчасті. Камера згоряння – трубчасто-кільцева з 10-ма жаровими трубами. Консольний ротор двоступінчастої силової турбіни обертається в підшипниках ковзання. У проточній частині силової турбіни радіальні зазори регулюються.

Газогенератор має зовнішній кожух, порожнина якого поєднується з випускним ежектором. Рух вентиляційного повітря крізь нього забезпечує зниження температури корпусних деталей.

Передбачена можливість заміни турбокомпресора в суднових умовах не через повітроприймну шахту, а безпосередньо через машинне відділення. У цьому випадку стає непотрібним демонтаж повітроочисного пристрою. Системи

й агрегати двигуна спроектовані таким чином, що до них забезпечений вільний доступ усередині теплозвукоізолюючого кожуха, в якому є двері для обслуговуючого персоналу і досить широкі проходи між двигуном та стінками контейнера.

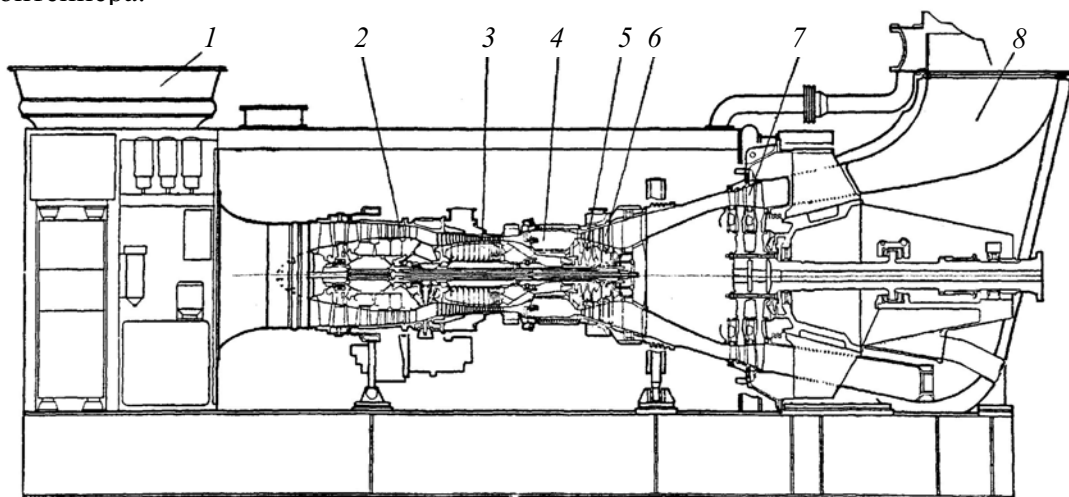


Рис. 2.2.11. Подовжній переріз агрегату з двигуном "Sprey SM1A":
1 – приймання повітря; 2 – КНТ; 3 – КВТ; 4 – КЗ; 5 – ТВТ; 6 – ТНТ; 7 – СТ;
8 – газовипускний пристрій

У разі потреби ГТД може встановлюватися на подовженій рамі, на якій можливим є також розміщення редуктора. У конструкції двигуна передбачені спеціальні системи постійного спостереження за станом тих його елементів, що працюють при високих температурах.

Виготовлення головного зразка двигуна "Sprey SM1A" було завершено у 1980 р. Перші два ГТД поставлені на фрегат "Brave" (проект 22М) ВМФ Великобританії на початку 1983 р.

Для суден на підводних крилах та повітряній подушці була розроблена полегшена модифікація двигуна – SM1B. Вона поставляється без фундаментної рами й кожуха, що зменшує її масу на 50 %.

З 1987 р. виробляється **модифікація SM1C**, у якій за рахунок збільшення початкових параметрів газу перед турбіною (температура зросла на 100 К, міра підвищення тиску в КНТ – 2,6...3,1) було досягнуто підвищення потужності на 40 %, ККД при цьому збільшився до 37,4 %.

У конструкцію двигуна були внесені наступні зміни: збільшений зовнішній діаметр КНТ; збільшене число лопаток у КНТ і змінений їхній профіль з метою підвищення запасу стійкості проти помпажу; соплові та робочі лопатки 1-го ступеня й диски ТВТ, камера згоряння також змінені, а їхня конструкція аналогічна авіаційному двигуну "Тау". Зміни в камері згоряння дозволили знизити температуру стінок жарових труб до 1200 К; у силовій турбіні застосовані стільникові ущільнення.

У 1989 р. була представлена полегшена версія двигуна SM1C, яка одержала найменування **SM2C** (табл. 2.2.6).

Таблиця 2.2.6. Характеристики модифікацій двигуна "Spey"

Параметри	SM1A	SM1C	SM2C
Номінальна потужність, МВт	12,8	19,5	
ККД, %	35,3	37,5	37,4
Витрата робочого тіла, кг/с	58,3	66,7	
Міра підвищення тиску	18,5	21,9	
Температура повітря за КВТ, К	724	760	
Температура газу, К:			
перед силовою турбіною	885	983	
за ГТД	678	731	
Частота обертання, об/хв:			
ротора низького тиску	7550	8093	
силової турбіни	5220	5500	
Маса, т	25,5	25,6	15,9
Габарити, м	7,5×2,3×3,4		6,0×2,3×2,8

Сьогодні "Spey" є одним з найбільш розповсюджених у світі суднових двигунів. Він експлуатується на кораблях дев'яти типів. До 2003 р. його сумарний наробіток перевищив 500 тис. год. Ресурс до капітального ремонту SM1A становить 7500 год, SM1C – 5000 год.

Найбільш відомими застосуваннями двигуна у британському флоті є фрегати проекту 23 (клас "Duke", головний корабель "Norfolk") повною водотоннажністю 4900 т (16 од., три з яких продані флоту Чилі) та проекту 22 (клас "Cornwall") водотоннажністю 4900 т (4 од.). У голландському флоті він використовується на восьми багатоцільових фрегатах класу "Karel Doorman" водотоннажністю 3300 т (два з них у 2004 р. продані флоту Чилі, ще два у 2005 р. – Бельгії) та чотирьох фрегатах класу "De Zeven Provinciën".

Двигуни "Spey SM1A" та "Spey SM1C" за ліцензією випускаються компанією "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." та використовуються нею для оснащення ВМФ Японії. Дев'ять есмінців класу "Murasame" із цими двигунами експлуатуються у складі морських сил самооборони Японії.

Агрегат WR-21

Газотурбінний агрегат WR-21 створювався за замовленням військово-морського відомства Департаменту оборони США. Призначений для фрегатів, амфібійних кораблів, великих суден допоміжного флоту, а також для спеціальних високошвидкісних комерційних суден. Основним підрядчиком виконання замовлення у грудні 1991 р. була визначена американська компанія "Northrop Grumman Corp.". Протягом 1992 р. визначилися основні

субпідрядники цієї роботи – "Westinghouse Electric Corp." (первинна розробка конструкції, інжинірингові роботи), "Rolls-Royce plc" (газогенератор, силова турбіна), "AlliedSignal Inc." (регенератор, повітроохолоджувач), а також французька компанія "DCN International" (тестові випробування). Найменування WR-21 одержав за назвами двох основних своїх виробників – "Westinghouse Electric Corp." та "Rolls-Royce plc".

Агрегат виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною. Використано теплову схему з проміжним охолодженням повітря між компресорами та регенерацією тепла відпрацьованих газів (рис. 2.2.12). Необхідно відзначити, що WR-21 створювався на базі авіаційного турбовентиляторного двигуна RB211, який серійно випускається "Rolls-Royce plc" для широкофюзеляжних пасажирських літаків компаній "Boeing" та "Lockheed".

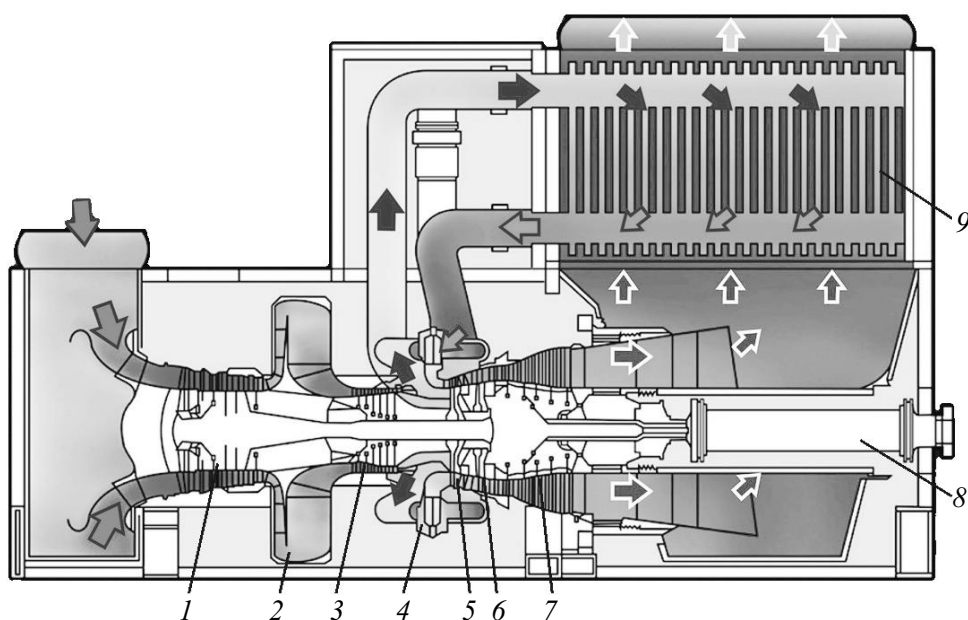


Рис. 2.2.12. Подовжній переріз агрегату WR-21:

1 – КНТ; 2 – повітроохолоджувач; 3 – КВТ; 4 – КЗ; 5 – ТВТ; 6 – ТНТ; 7 – СТ;
8 – вал відбирання потужності; 9 – регенератор

Агрегат WR-21 має модульну конструкцію. До нього входять 16 конструктивних модулів: КНТ, проміжний корпус, КВТ, центральний модуль високого тиску, ТВТ, сопловий апарат ТВТ, ТНТ, сопловий апарат ТНТ, механізм керування поворотними регульованими сопловими лопатками, силова турбіна, опорний вінець силової турбіни, насосні агрегати, привід допоміжних механізмів, проміжний охолоджувач, контрольні системи, регенератор.

Компресор низького тиску 7-ступінчастий оснащений регульованим вхідним напрямним апаратом. Робочі лопатки всіх ступенів виготовлені з титанового сплаву. Ротор КНТ – дисково-барабанного типу; напрямні лопатки розміщені

в алюмінієвому корпусі з горизонтальним розніманням. На корпусі КНТ змонтовані десять запобіжних клапанів, необхідних для узгодження роботи обох компресорів на режимі малої потужності.

Компресор високого тиску – 6-ступінчастий, осьового типу. Робочі лопатки перших трьох ступенів виконані з титанового сплаву, 4-го – із хромокобальтової сталі, інших – зі сплаву "Nimonic 901". Диски 1-го та 2-го ступенів виготовляються з титанового сплаву, 3-го – із хромокобальтової сталі, інших ступенів – зі сплаву IN 901. Для корпусу й напрямних лопаток використана корозійностійка сталь із 12%-м вмістом хрому. Корпуси обох компресорів мають отвори для доступу бороскопа та розташовані таким чином, щоб можна було здійснити огляд кожного ступеня з двох сторін.

Схема проміжного охолодження компресорного повітря – двоконтурна. Повітря, що виходить із КНТ, охолоджується в теплообміннику, в якому циркулює за замкнутим контуром прісна вода з добавкою гліколю (50 на 50 %; витрата теплоносія – 24600 кг/год). У свою чергу, тепло від прісної води відбирається у другому контурі теплообміну, через який прокачується забортна вода.

Перший контур повітроохолоджувача вписаний у конструкцію агрегату, що забезпечує мінімальні втрати тиску повітря при проходженні його через теплообмінні поверхні. Основними елементами повітроохолоджувача є п'ять теплообмінних пластинчастих матриць, виготовлених з мідно-нікелевого сплаву. Повітроохолоджувач протягом експлуатації може бути байпасований – і повітря в цьому випадку може надходити з КНТ у КВТ безпосередньо. Система проміжного охолодження спроектована з урахуванням мінімального обслуговування в експлуатації. Очищення теплообмінника з повітряної сторони здійснюється автоматично під час роботи агрегату за допомогою спеціальних промивних форсунок, які також можуть використовуватися і для промивання проточної частини КВТ.

Повітря після КВТ підігрівається відпрацьованими газами у регенераторі, з якого надходить до камери згоряння. Регенератор – пластинчастий, складається з двох модулів, у кожний з яких входять теплообмінник, колектори входу й виходу, пневматичний привід клапанів та корпус.

Незвичайною, порівняно з іншими ГТД, є конструкція камери згоряння. Вона складається з дев'яти радіально розташованих жарових труб, кожна з яких оснащена своєю паливною форсункою й двома запальниками. Така форма камери згоряння обрана не тільки з аеродинамічних та компоновальних міркувань, але і для забезпечення зручності обслуговування в процесі експлуатації. Радіальне компоновання камери забезпечує можливість організації процесу горіння, який забезпечує знижений рівень емісії оксидів азоту.

Після виходу з камери згоряння та повороту на 90° гази надходять до турбінної частини ГТА. Турбіни високого та низького тисків виконані осьовими,

одноступінчастими. Обидва ряди лопаток ТВТ, а також соплові лопатки ТНТ охолоджуються компресорним повітрям. Силова турбіна 5-ступінчаста також осевого типу. Поворотні регульовані соплові лопатки її 1-го ступеня мають два граничних положення: повністю закриті при 40%-й потужності та повністю відкриті при 100%-й.

Поворотні соплові лопатки, розвертаючись зі зміною потужності, спричиняють зміну масової витрати газу через силову турбіну, підтримку оптимальної температури циклу на часткових навантаженнях та підвищення паливної економічності агрегату.

Регенератор, проміжний охолоджувач та поворотні соплові лопатки силової турбіни є основними факторами, які забезпечують зниження питомої витрати палива в агрегаті WR-21 порівняно з традиційними судновими ГТА простої теплової схеми. Характеристики WR-21 на режимах 100% та 40%-ї потужності наведені нижче:

	Режим 100%-ї потужності	Режим 40%-ї потужності
Потужність, МВт	25,2	9,3
ККД, %	42,3	41,4
Витрата робочого тіла, кг/с	73,0	39,0
Міра підвищення тиску	16,2	8,1
Температура газу, К:		
перед силовою турбіною	1124	
за ГТД	628	
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3600	2600
Маса, т	54,4	
Габарити, м	8,0×2,6×4,5	

Блок допоміжних механізмів, що приводиться ротором каскаду високого тиску, містить у собі радіальний привідний вал, кутовий привід та редуктор, на якому розміщені електричний стартер, паливний насос і масляний суфлер.

Агрегат WR-21 разом з повітроохолоджувачем та регенератором уміщений у контейнер і в такому вигляді поставляється на судно. Відповідно до вимог військово-морських сил США цей контейнер забезпечує захист від радіоактивного, біологічного й хімічного впливів, значно знижує рівень акустичного та термічного впливу агрегату на машинне відділення. Так, температура на поверхні контейнера не перевищує 50 °С. Конструкція контейнера цілком пристосована для поточного ремонту, обслуговування у суднових умовах та заміни окремих його вузлів.

За програмою модернізації військово-морських сил США спочатку планувалося до 2020 р. одержати більше 100 агрегатів WR-21. Цим ГТА також передбачалося оснащувати есмінці класу "D" британського флоту проекту 45. Проте, необхідно відзначити, що процес створення WR-21 супроводжувався

безупинною протидією з боку споконвічного конкурента "Westinghouse Electric Corp." – компанії "General Electric Co.", чий двигуни LM2500 і передбачалося замінити на кораблях флоту США. Уже у 1995 р. Конгрес США розглядав питання щодо припинення фінансування цього проекту. У даний час, незважаючи на успішно проведені у 1999-2000 рр. тестові випробування ГТА, замовлень на його виготовлення поки не отримано.

За даними на 2000 р. вартість одного WR-21 складала 8,85...9,25 млн дол.

Двигун MT30

У червні 1999 р. "Rolls-Royce plc" почала роботи зі створення високо-економічного й надійного суднового газотурбінного двигуна нового покоління, який міг би добре працювати у складі суднових енергоустановок як з механічною, так і з електричною передачею потужності до рушія. Цей ГТД створювався на базі авіаційного двигуна "Trent 800", який з 1997 р. широко використовується для приводу літаків "Boeing 777". Суднова версія цього ГТД одержала найменування MT30 ("MT" – "Marine Trent"). Протягом конвертування в базовий авіадвигун вносилися лише найнеобхідніші зміни, внаслідок чого MT30 та "Trent 800" мають 80 % спільних деталей (рис. 2Д та 3Д).

Спеціально для створення MT30 улітку 2000 р. "Rolls-Royce plc" прийняла програму реконструкції випробних стендів підприємства в Брістолі, для чого було виділено близько 9 млн фунтів стерлінгів. У 2002 р. увесь комплекс передбачених робіт був завершений і площадка використовувалася для дослідження різних суднових ГТА у найширшому діапазоні потужностей. Випробування першого двигуна MT30 почалися у вересні 2002 р.

Двигун виконаний двокаскадним з вільною силовою турбіною (рис. 2.2.13). Повітря послідовно стискається у 8-ступінчастому КНТ та 6-ступінчастому КВТ. Перші два ступеня КНТ мають регульовані напрямні лопатки.

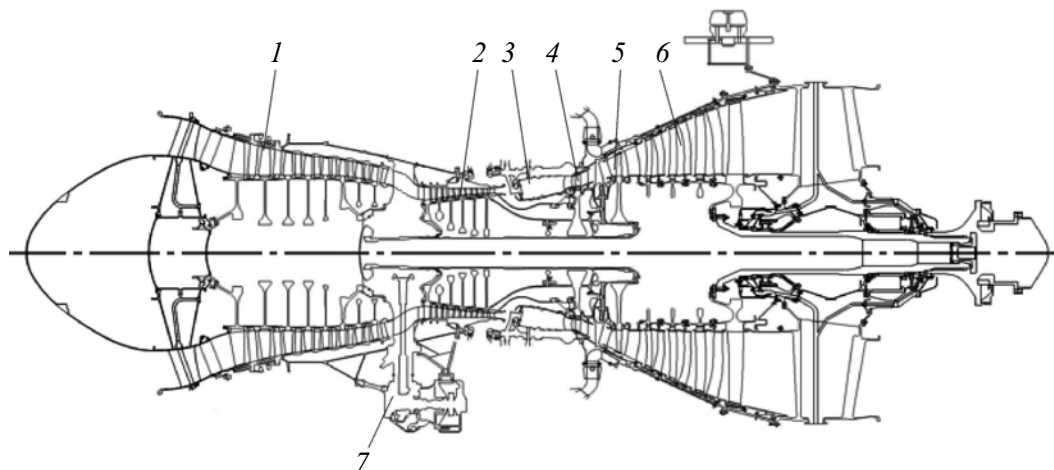


Рис. 2.2.13. Подовжній переріз двигуна MT30:

1 – КНТ; 2 – КВТ; 3 – КЗ; 4 – ТВТ; 5 – ТНТ; 6 – СТ; 7 – зовнішня коробка приводів

Камера згоряння – кільцева, одержана шляхом конвертування камери згоряння базового двигуна для роботи на рідкому паливі.

Обидві турбіни компресорів виконані осьовими, одноступінчастими. Корисна потужність генерується 4-ступінчастою силовою турбіною, яка може мати частоту обертання 3300 об/хв (для механічної передачі потужності судовому рушію) або 3600 об/хв (для електричної передачі потужності). Силова турбіна для MT30 розроблена з використанням технологій промислового ГТД "Trent" й агрегату WR-21. Пуск двигуна здійснюється за допомогою гідравлічної або повітряної системи.

Двигун MT30 має модульну конструкцію. Можливість швидкої заміни окремих вузлів дозволяє істотно скоротити час робіт, пов'язаних з ремонтом та монтажем ГТД. Унаслідок високої питомої потужності габарити 36-мегаватного MT30 не перевищують розмірів сучасних судових 25-мегаватних двигунів. На кораблях він здатний вигідно замінити два традиційні прискорювальні ГТД за зайнятим простором й витратами на експлуатацію. Основні технічні характеристики двигуна становлять: номінальна потужність на вихідному валу – 36 МВт, ККД на вихідному валу – 40,9 %, витрата робочого тіла – 113 кг/с, міра підвищення тиску – 24, температура газу за ГТД – 739 К, маса ГТД – 6,2 т, маса ГТА – 22 т, маса ГТА разом з генератором струму – 77 т, габарити ГТД – 6,1×2,3×2,3 м.

Витрата палива MT30 у порівнянні з високооборотними дизелями навіть на режимі 70%-го навантаження не гірша від номінальної паливної економичності використовуваних у цей час на судах ГТА.

Система керування двигуном забезпечує виконання попереджувальних, моніторингових та контрольних функцій, включаючи захист ГТД від перевищення частоти обертання ротора. Резервне електроживлення, що входить до неї, гарантує нормальну роботу цієї системи при відключенні основного енергопостачання. Моніторинг та контроль здійснюються цілком дистанційно, без присутності обслуговуючого персоналу в машинному відділенні, шляхом виведення сигналів на панель у вигляді легко інтерпретованої графіки.

Проектний ресурс гарячої частини двигуна до капітального ремонту становить 12000 год, ресурс іншої частини – 24000 год.

Двигун MT30 традиційно для компанії "Rolls-Royce plc" надходить споживачеві у вигляді єдиного агрегату (модуля), який включає в себе також установлене на рамі двигуна обслуговуюче встаткування, системи, тепло-звукоізолюючий контейнер, елементи підведення повітря й відведення відпрацьованих газів (рис. 2.2.14). Заміна модуля здійснюється не більше ніж за 12 год.

Контейнер двигуна обладнаний системами автоматичної вентиляції, виявлення пожежі та пожежогасіння. Виймання ГТД та його окремих вузлів здійснюється з бічної сторони контейнера. Його звукоізолюючі якості повинні гарантувати рівень

шуму на відстані 1 м не більше 85 дБ. Залежно від компонування машинного відділення конкретного судна можлива зміна конфігурації повітропідвідних і газопідвідних елементів.

На суднах з електричною передачею потужності модуль із МТ30 доповнюється двополюсним генератором перемінного струму, який розташований у звукоізолюючому контейнері.

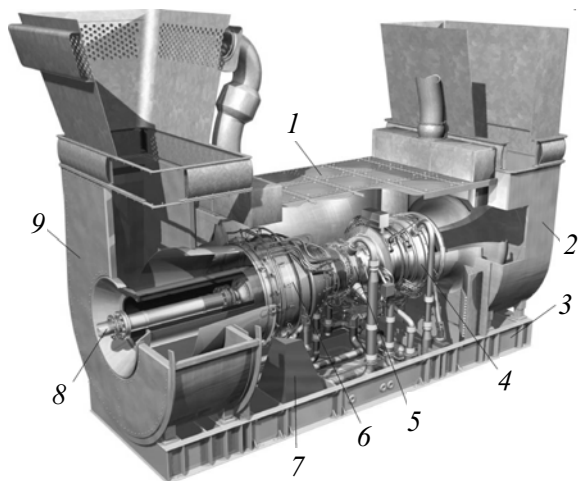


Рис. 2.2.14. Агрегат із двигуном МТ30:

1 – контейнер; 2 – повітропідвід;
3 – рама; 4 – газогенератор ГТД;
5 – КЗ; 6 – СТ; 7 – блок агрегатів
системи змащення; 8 – вал відби-
рання потужності; 9 – газовипуск

2.2.3. Науково-виробничий центр у м. Індіанapolis (США)

Науково-виробничий центр у м. Індіанapolis (штат Індіана, США)*, який у цей час під назвою "Rolls-Royce Corporation" входить до складу "Rolls-Royce North American Inc.", був заснований у 1915 р. Джеймсом Еллісоном (рис. 2.2.15) під найменуванням "**Allison Engine Company**" як невелике підприємство з обслуговування й ремонту автомобілів (зокрема їхніх двигунів), що брали участь у мотогонках на місцевому треку "Indianapolis Motor Speedway". (Дж. Еллісон був одним із власників і організаторів створення



Рис. 2.2.15. Джеймс
Еллісон

у 1909 р. цього треку.) Єдиною постійною продукцією підприємства в той час були підшипники для опор авіаційних двигунів; також часто випускалися різні привідні вали, ресори, ланцюгові передачі. Іншою (меншою за значенням) виробничою галуззю було вдосконалення застарілих моделей двигунів типу "Liberty" з метою застосування їх в авіації та судновій енергетиці.

Наприкінці 20-х років Міністерство оборони США фінансувало розробку серії нових двигунів,

* Місто з населенням 794 тис. чол. (2004 р.). Адреса підприємства: 420, 2001 South Tibbs Avenue, Indianapolis, IN 46206-0420, U.S.A.

які планувалося серійно випускати на заводі компанії "Continental Motors" в Алабамі. Керівник "Allison Engine Co." Н. Гілмен вирішив узяти участь у конкурсі й у 1928 р. представив розроблений компанією проект робочого циліндра поршневого двигуна підвищеної потужності, який був відхилений.

У 1929 р., незабаром після смерті Дж. Еллісона, підприємство переходить у власність компанії "Fisher Brothers" із Детройта, яка спеціалізувалася головним чином на виробництві корпусів для автомобілів "Cadillac" та "Buick". Нові власники порекомендували продовжити дослідження та розробити конструкцію 6-циліндрового двигуна для "сімейного літака". Однак незабаром підприємство разом з "Fisher Brothers" купується детройтською автомобілебудівною корпорацією "General Motors Corp.", і в умовах Великої Депресії початку 30-х років фінансування проекту припиняється.

Незважаючи на вказані причини, Н. Гілман продовжує конструкторську розробку двигуна, який одержав робочу назву V-12. Надалі певний інтерес до проекту виявив військово-морський флот США, який мав потребу в надійному двигуні потужністю 1000 к. с. (745 кВт) для своєї авіації. З 1935 р. розробку починає курирувати Міністерство оборони, й у грудні 1936 р. під найменуванням V-1710-C успішно проходить перші випробування 12-циліндрова модель "С". У квітні 1937 р. проходять контрольні випробування двигуна на ресурс 150 год. Із цього моменту V-1710 визнається найбільш досконалим авіаційним двигуном США і запускається в масове виробництво. Ним оснащується нове покоління винищувачів P-38 "Lightning", P-39 "Airacobra", P-40 "Warhawk" та P-51A "Mustang". Необхідно відзначити, що в роки Другої Світової війни V-1710 був єдиним американським поршневим авіадвигуном з рідинним (етиле-нгліколь) охолодженням.

Певні труднощі з реалізацією цього двигуна виникли у перші роки війни на підприємстві, реорганізованого на початку 30-х років у "**Allison Division**" компанії "General Motors Corp.". Одноступінчасте механічне наддування V-1710 не дозволяло ефективно використовувати двигун на висотах більше 5000 м, що обмежувало бойові можливості американської авіації. Унаслідок цього перевагу почали надавати двигунам "Merlin" англійської компанії "Rolls-Royce Ltd.". Нова двоступінчаста система наддування, розроблена конструкторами заводу в Індіанapolisі, істотно поліпшила технічні характеристики V-1710, сприяла доведенню його потужності з 1000 до 2200 к. с. та забезпечила домінуюче положення двигуна в авіації США (60 % усіх літаків). Усього в роки війни різних модифікацій V-1710 було випущено більше 70 тис. од.

По закінченні війни виробничі потужності заводу, які значно збільшилися у зв'язку з масовим випуском V-1710, виявилися практично незавантаженими. Для підтримки стратегічно важливого для оборони країни підприємства уряд США у 1947 р. приймає рішення передати в Індіанapolisі серійне виробництво відтворених "General Electric Co." у 1941–1945 pp. версій турбореактивних

двигунів Ф. Віттла з відцентровим компресором. Таким чином "Allison Division" третім з американських підприємств (після "General Electric Co." та "Westinghouse Electric Corp.") починає займатися виробництвом газотурбінних двигунів.

Першим серійно виготовлюваним ТРД став **J33** тягою 1815 кгс (за позначенням "General Electric Co." – I-40), який являв собою більш потужну модифікацію англійського двигуна "Derwent". Цим ТРД оснащувався перший американський серійний реактивний винищувач Р-80 "Shooting Star" компанії "Lockheed", а також похідні від нього винищувачі Т-33/TV-2 "T-bird" та F-94A/B. Двигун J33 використовувався також для приводу ряду керованих ракет типу "земля–земля" (XF-92, MGM-1 "Matador", SM-62 "Snark", MGM-13 "Mace"). До закінчення виробництва у 1955 р. підприємство випустило більше 6600 таких ТРД.

Крім J33 "Allison Division" одержав від "General Electric Co." також виконану нею розробку турбореактивного двигуна з осьовим компресором. Двигун **J35** установлювався на експериментальних винищувачах Р-84 та бомбардувальниках YB-49, а також на серійно виготовлюваних винищувачах F-84 "Thunderjet" і F-89 "Scorpion". До моменту закінчення виробництва у 1955 р. підприємство випустило близько 14 тис. таких ТРД.

На початку 50-х років завод в Індіанapolisі починає роботи зі створення турбогвинтових двигунів для військово-морського флоту США. Першими проектами були **T38** та його здвоєна модифікація під назвою **T40**. У зв'язку зі складністю конструкції привідних валів флот не реалізував проект розробки двигуна T40.

Підприємство "Allison Division" продовжило роботи в цьому напрямку й представило двигун **T56**, геометрично подібний T38, але з потужністю двигуна T40. Турбогвинтовий T56 був обраний як привід для військово-транспортного літака С-130 "Hercules" компанії "Lockheed" і в 1954 р. запущений у серійне виробництво. Двигун мав потужність 3975 кВт (для серії IV-A) при мірі підвищення тиску 11,5 та масовій витраті повітря 110...130 кг/с; з довжиною 3,71 м і діаметром 0,69 м він важив 880 кг. Двигун T56 застосовувався також на патрульних протичовневих літаках Р-3С "Orion", всепогодних тактичного попередження літаках Е-2С "Hawkeye" та Е-2С+ "Hawkeye II", транспортних С-2А "Greyhound". Усього було виготовлено більше 18 тис. цих двигунів. Цивільна версія T56 одержала найменування **T501-D**.

У 1970 р. "General Motors Corp." проводить чергову реорганізацію та поєднує два свої підрозділи "Detroit Diesel Engine Division", який займався створенням дизельних автомобільних двигунів, і "Allison Division" у єдиний **"Detroit Diesel Allison Division"**. У 1988 р. цей дивізіон розпадається й утворюється компанія **"Allison Engine Company"**, яка, як і раніше, залишається структурним підрозділом "General Motors Corp."

Подальшим розвитком двигуна T56 став турбовальний **T406** (надалі **AE1107C "Liberty"**) потужністю 4470 кВт, який установлюється з 1989 р.

на багатоцільових літаках з вертикальним злетом і посадкою V-22 "Osprey" компанії "Boeing". Сьогодні його розглядають як ефективне оновлення енергетичних установок транспортних вертольотів CH-47 "Chinook" та CH-53 "Super Stallion".

На основі T406 "Allison Engine Co." розробила двовальний турбогвинтовий двигун **AE2100**, оснащений (одним з перших у світі) повністю цифровою системою контролю і керування "FADEC" ("Full Authority Digital Engine Control"). Цим двигуном оснащується нове покоління регіональних пасажирських літаків "Saab 2000", військові транспорти C-130J "Hercules" та C-27 "Spartan", морські патрульні літаки далекої дії P-3 "Orion".

Двигун T406 став базовим і для турбовентиляторного двигуна **AE3007**, який забезпечує при мірі підвищення тиску 18...20 та витраті повітря 109...127 кг/с тягу 2945...4045 кгс і складається з вентилятора, 14-ступінчастого компресора й двох турбін – із двома та трьома ступенями. AE3007 використовується на регіональних пасажирських літаках ERJ 135, ERJ 140, ERJ 145 та "Legacy" компанії "Embraer". Військові версії двигуна встановлюються на безпілотних літальних апаратах RQ-4 "Global Hawk" компанії "Northrop Grumman" і літаках R-99A, R-99B та P-99 компанії "Embraer".

У 1995 р. англійська корпорація "Rolls-Royce plc" викупила "Allison Engine Co." у концерну "General Motors Corp."

* * *

На сьогодні науково-виробничий центр для потреб стаціонарної та суднової енергетики, а також для використання як механічний привід випускає два основних сімейства газотурбінних двигунів – "501" (потужністю 4...6 МВт, ККД 28...32 %) та "601" (потужністю 6...8 МВт, ККД 34 %).

До сімейства **"501"** належать такі модифікації:

501-KB5, 501-KB7 та 501-KH5 (для приводу генератора струму);

501-KC5 і 501-KC7 (для приводу механізмів);

501-KF5 та 501-KF7 (для суднового застосування).

До сімейства **"601"** входять модифікації 601-K9 та 601-K11 різноманітного призначення.

Остання цифра в найменуванні двигунів позначає орієнтовну потужність у тис. к. с. Наприклад, для двигуна 501-KF7 номінальна потужність становить 7020 к. с., для 601-K9 – 9000, для 601-K11 – 11000.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигуни сімейства "501"

Модифікації двигунів сімейства "501" (рис. 2.2.16 та 4Д), які випускаються в цей час, є подальшим розвитком моделей, одержаних у 70-х роках шляхом конвертування авіаційного турбогвинтового двигуна T56.

Ці ГТД традиційно поєднують переваги конвертованих авіаційних двигунів – малу масу та модульну конструкцію – з надійністю в експлуатації, яка забезпечує 5-річний термін роботи на базовому навантаженні до капітального ремонту.

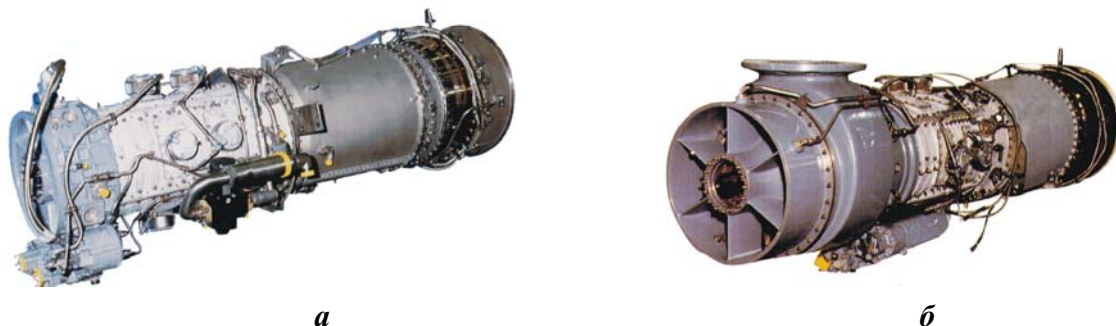


Рис. 2.2.16. Енергетичні двигуни 501-KB5 (а) та 501-KB7 (б)

Двигуни відрізняються високою маневреністю. Вихід на режим холостого ходу здійснюється не більше ніж за 75 с. Час набору повної потужності не перевищує 120 с. Двигуни характеризуються також гарною керованістю на перехідних режимах як при набиранні навантаження, так і при його скиданні. Контроль та керування параметрами ГТД здійснюються за допомогою цифрової електронної системи типу "En-Tronic".

Модульна конструкція спрощує обслуговування двигунів на станції. Малі маса й розміри максимально полегшують їхній монтаж. Значний наробіток в експлуатації базових авіаційних двигунів є основою для підвищеної надійності роботи конвертованих моделей, вимоги до яких значно менші.

Двигуни сімейства "501" використовуються у найрізноманітніших кліматичних умовах для приводу електрогенераторів та компресорів на морських платформах, для перекачування газу й нафти магістральними лініями; вони функціонують на нафтопереробних і металургійних заводах; застосовуються як пропульсивні на кораблях з динамічними принципами підтримання, а також для приводу генераторів корабельних електростанцій. Основні характеристики ГТД наведені в табл. 2.2.7.

Усі нові моделі двигунів оснащуються розробленою "Rolls-Royce plc" технологією "DLE" ("Dry Low Emission"). Вони пристосовані з однаковою ефективністю працювати на рідкому або газоподібному паливі, а також поєднувати їх. Концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах не перевищує (для газоподібного палива): NO_x – 25 ppm, CO – 50 ppm, незгорілих вуглеводнів – 20 ppm.

До 2006 р. сумарний наробіток промислових двигунів "501" перевищив 66 млн год. Ця цифра одержана в результаті експлуатації 1955 агрегатів (1489 – енергетичних, 466 – привідних) загальною потужністю більше 10 млн кВт, розміщених у 40 країнах світу на 500 об'єктах.

Таблиця 2.2.7. Характеристики двигунів сімейства "501"

Параметри	Привідні		Енергетичні			Суднові	
	501- КС5	501- КС7	501- КВ5	501- КВ7	501- КН5	501- КФ5	501- КФ7
Рік початку виробництва	1996	1998	1990	1992		1986	1998
Номінальна потужність*, МВт	4,10	5,37	4,10	5,52	6,75**	3,90	5,24
ККД, %	29,6	31,7	30,5	32,7	42,2	27,7	31,9
Витрата робочого тіла, кг/с	15,6	20,4	15,4	20,8	18,4	15,6	20,6
Міра підвищення тиску	9,4	13,5	10,2	13,5	10,2	10,1	13,4
Температура газу, К:	–		1330		1283	–	
початкова за ГТД	861	794	832	786	802	852	790
Частота обертання, об/хв:							
компресора	14200	14600	14200	14600			14600
силової турбіни	13600		14200	13800			
Маса, т	–		0,58	0,77	0,57	1,14	–
Габарити, м	–		2,2×0,8×0,9	2,6×1,1×1,2	2,3×0,8×0,9	2,6×1,4×1,4	–

* Потужність і ККД наведені на вихідному валу двигуна.

** З максимальною подачею пари в проточну частину (2,72 кг/с) при її температурі 755 К.

На базі виготовлюваних агрегатів простого термодинамічного циклу здійснюється створення парогазових та когенераційних установок.

Привідні та суднові модифікації, що випускаються в цей час, виконані двовальними*. Осьовий 14-ступінчастий (для двигунів 501-KC5 та 501-KF5) або 15-ступінчастий (для 501-KC7 і 501-KF7) однокаскадний компресор приводиться в обертання двоступінчастою турбіною компресора. Корисна потужність генерується двоступінчастою силовою турбіною. Температура газу на вході до неї для моделей 501-KC5 та 501-KC7 становить 1088 К. Камера згоряння – прямоотокова, трубчасто-кільцева, оснащена шістьма жаровими трубами.

Ротор газогенератора – двохопорний, з консольним розташуванням дисків турбіни. Передній роликовий підшипник цього ротора розташований під диском 1-го ступеня компресора, упорний кульковий підшипник – перед турбіною. Відбирання потужності в більшості моделей здійснюється з боку компресора, для чого вал силової турбіни проходить усередині порожнього вала газогенератора. Можливе виконання двигунів з відбиранням потужності з боку турбіни (рис. 2.2.17).

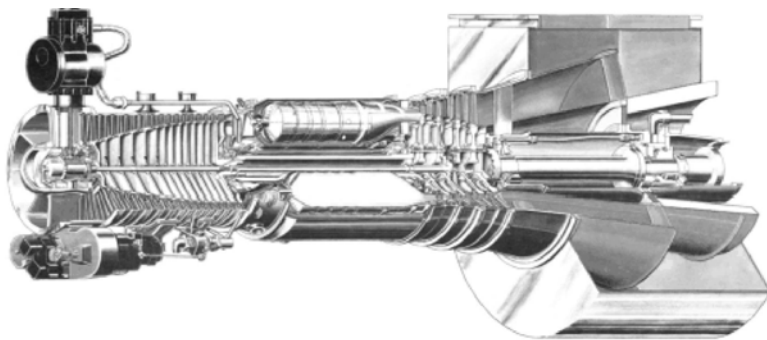


Рис. 2.2.17. Привідний двигун 501-KC5

Двигуни оснащуються електронною системою регулювання, яка забезпечує повну автоматичну послідовність пуску й зупинки, регулювання подачі палива, частоти обертання силової турбіни, газогенератора та ін. Система регулювання забезпечує також повний контроль несправностей двигуна й автоматичне регулювання змінюваної геометрії компресора.

Двигуни конструктивно складаються з п'яти монтажних модулів (вузлів): компресор, камера згоряння, турбіна компресора, силова турбіна, коробка приводів.

Енергетичні модифікації двигунів "501" виконуються одновальними. Потужність, генерована 4-ступінчастою осьовою турбіною, витрачається, з одного боку, на привід 14-ступінчастого (для 501-KB5) або 15-ступінчастого (для 501-KB7) осьового компресора, з іншого боку – передається спожива-

* Необхідно відзначити, що для створення суднових електроенергетичних установок можуть використовуватися й одновальні енергетичні модифікації сімейства "501".

чу (рис. 2.2.18). Камера згоряння – прямофока, трубчасто-кільцева, оснащена шістьма жаровими трубами.

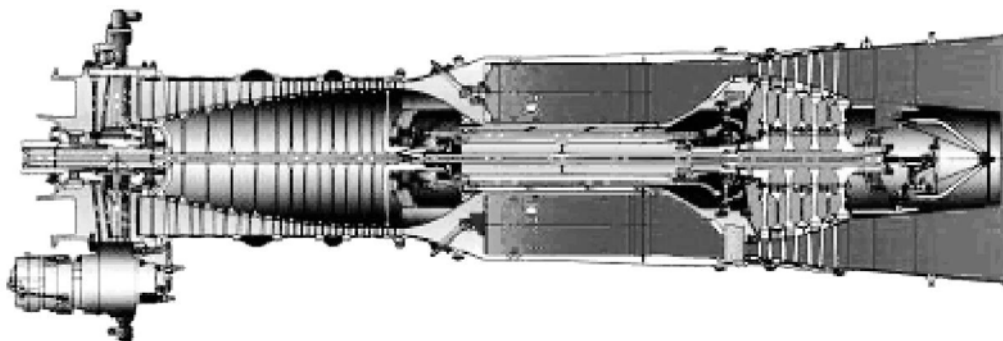


Рис. 2.2.18. Подовжній переріз енергетичного двигуна 501-KB5

Модель 501-KB7 у порівнянні з 501-KB5 має більш високі початкові параметри газу перед турбіною, вдосконалену систему охолодження соплових лопаток, збільшену на 35 % витрату робочого тіла, що стало основою для досягнення більшої потужності й ККД.

На базі модифікації 501-KB5 створена модель 501-KH5 з подачею водяної пари, одержаної внаслідок утилізації тепла відпрацьованих газів, у проточну частину двигуна. Це дозволяє більше ніж на 60 % збільшити потужність агрегату при зниженні питомої витрати палива до 35 %.

Енергетичні ГТА з двигунами "501" надходять споживачеві у вигляді єдиного блока агрегатів і пристроїв, який пройшов повне тестування на заводі й готовий до негайного введення у дію. Ці ГТА характеризуються невеликою зайнятою площею, швидким запуском та зупинкою, простотою транспортування й інсталяції, внаслідок чого оптимально задовольняють потребам ринку. Агрегати призначені для енергопостачання мереж із частотою струму 50 і 60 Гц. Ефективність, надійність та рентабельність енергетичних ГТА доповнені наданими компанією можливостями наступного їхнього вдосконалення, всебічної підтримки в експлуатації та спеціальною підготовкою обслуговуючого персоналу.

Енергомодулі розташовуються в спеціальному тепло- і звукоізолюючому контейнері. Повітропідвідний пристрій забезпечується фільтрами очищення та засобами шумоглушіння. Випуск відпрацьованих газів – осьовий, який зручно компонується з випускною шахтою або горизонтальним котлом-утилізатором. Відведення потужності від ротора двигуна виконується з боку компресора. Для зниження частоти обертання використовується редуктор. Вироблення перемінного струму здійснюється за допомогою чотиріполюсних електрогенераторів.

Створення суднових електроенергетичних модулів **AG9140** та **AG9140RF** потужністю 3 МВт науково-виробничий центр в Індіанapolisі веде на базі оновальної енергетичної модифікації 501-K4 минулих років. З урахуванням втрат у генераторі та редукторі (при зниженні частоти обертання від

14340 до 1800 об/хв) ККД енергомодулів становить 25,8 % при витраті повітря 14,1 кг/с.

Двигуни сімейства "601"

Двигуни сімейства "601"* створені науково-виробничим центром у співтоваристві з компаніями "Industria de Turbo Propulsores S.A." (Іспанія), "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.", "Kobe Steel Ltd." (Японія), а також Центром розвитку авіаційної промисловості з Тайваню. Виготовляються з 1996 р.; у цей час випускаються в двох основних модифікаціях – 601-K9 та 601-K11.

Двигуни виконані двовальними. У моделі **601-K9** (рис. 2.2.19) осьовий 12-ступінчастий однокаскадний компресор приводиться в обертання двоступінчастою осьовою турбіною. Вхідний напрямний апарат та перші чотири ступеня компресора оснащені поворотними напрямними лопатками. Ротор компресора складається з окремих сталевих дисків. За конструкцією він аналогічний ротору авіаційного двигуна ТУ06/АЕ2100. Відмітною рисою компресора також є високе значення втулкового відношення. Підведення повітря до ГТД здійснюється за допомогою радіального вхідного пристрою, виготовленого з литого алюмінію та оснащеного шістьма радіальними стояками. Також можливе постачання двигуна з осьовим вхідним пристроєм.

Модифікація **601-K11** (рис. 2.2.20) порівняно з 601-K9 обладнана двома додатковими передвключеними ступенями компресора з перемінною геометрією проточної частини.

Двигуни можуть оснащуватися або традиційною для компанії прямотоковою кільцевою камерою згоряння (див. рис. 2.2.19 та 2.2.20), яка оснащена 16-ма паливними форсунками та двома електроіскровими запальниками і забезпечує при роботі на газоподібному паливі концентрацію NO_x у відпрацьованих газах не більше 70...80 ppm, або розробленою "Rolls-Royce plc" (спочатку для двигуна RB211) низькоемісійною камерою згоряння ("Dry Low Emission"). Остання складається з трьох окремих секцій, розміщених над двигуном під деяким кутом до його осі (рис. 2.2.21). Кожна з них пристосована з однаковою ефективністю працювати як на рідкому, так і на газоподібному паливі, а також поєднувати їх.

* Спочатку маркувалися під номером "572"; є подальшим розвитком ГТД сімейства "570", перший представник якого був одержаний на початку 70-х років шляхом конвертування авіаційного турбовального двигуна 501-M62/XT-701. Потужність останнього становила 6 МВт, розроблявся він за замовленням Міністерства оборони США для серії важких вантажних вертольотів. Програма не була завершена внаслідок припинення фінансування. Конвертована модифікація 570-K потужністю 4,7...4,9 МВт випускалася з 1979 р. Її перший екземпляр був поставлений на завод компанії "Dow Chemical" у м. Фріпорт (штат Техас) у тому ж році. Суднова модифікація 570-KF використовувалася для оснащення двох шведських ракетних катерів класу "Stockholm" ("Spica III") (1985 р.), двох канадських есмінців класу "Iroquois" (1993 р.), приватних яхт підвищеної водотоннажності "Sherger", "Fortuna" (яхта короля Іспанії) та "Croupier". З 1985 р. випускалася вдосконалена версія двигуна 571-K потужністю 5,7...6,2 МВт. На початок 2000 р. усього було продано близько 200 двигунів типу 570-K, 571-K та 572-K.

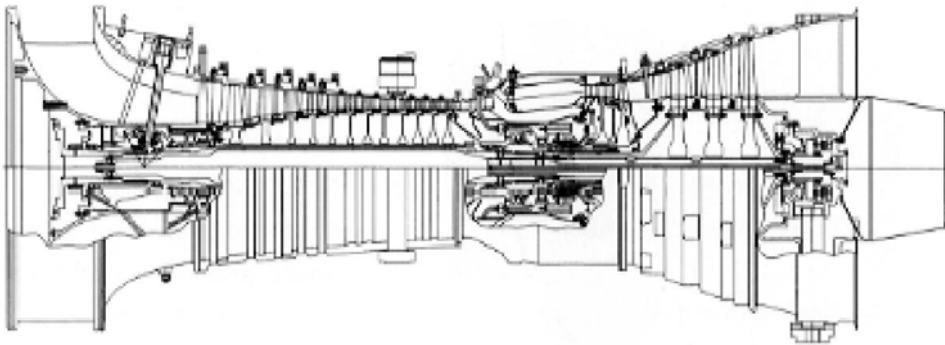


Рис. 2.2.19. Подовжній переріз двигуна 601-K9

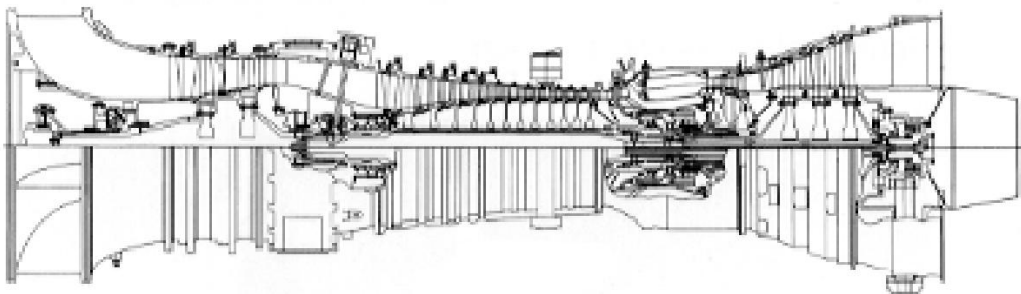


Рис. 2.2.20. Подовжній переріз двигуна 601-K11

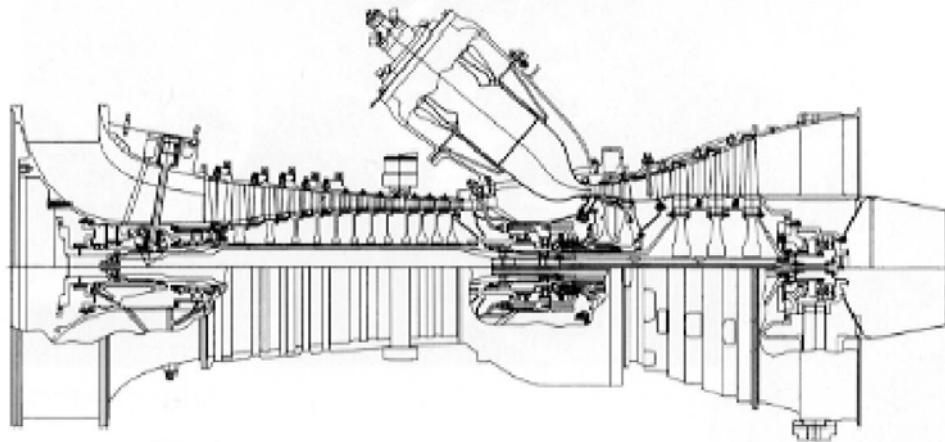


Рис. 2.2.21. Подовжній переріз двигуна 601-K9 з низькоемісійною камерою згоряння

Обидва ступеня турбіни компресора охолоджуються компресорним повітрям. Соплові лопатки 1-го ступеня виготовлені зі сплаву MAR-M509, 2-го – з IN792. Матеріалом робочих лопаток служить нікелевий сплав MAR-M246. Лопатки 2-го ступеня оснащені бандажними полицями. Диски турбіни виготовляються з матеріалу IN718.

Корисна потужність генерується триступінчастою вільною силовою турбіною. Відведення потужності здійснюється з боку компресора, для чого вал силової турбіни проведений крізь порожній вал газогенератора. Двигуни оснащуються цифровою електронною системою керування типу "En-Tronic". Ротор газогенератора спирається на радіальний роликовий (передня опора) та радіально-упорний кульковий (задня опора) підшипники. У задній опорі ротора силової турбіни знаходиться роликовий підшипник кочення типу "AFBMA Grade 5". Вал цієї турбіни своєю передньою частиною спирається на робоче шлицьове з'єднання.

Типовим для конвертованих авіаційних двигунів є компонування основних агрегатів і вузлів у окремі модулі. Кожен двигун складається з п'яти основних монтажних модулів: компресора, камери згоряння, турбіни компресора, силової турбіни, коробки приводів. Модульна конструкція дозволяє істотно скоротити час монтажних робіт і спростити обслуговування ГТД.

Двигуни сімейства "601" можуть бути використані як енергетичні (для приводу генератора струму), привідні (для приводу компресорів, насосів і т. п.), а також суднові (для забезпечення руху судна). Основні їхні технічні характеристики наведені нижче:

	601-K9	601-K11
Номінальна потужність на валу двигуна, МВт	6,71	8,20
ККД на валу двигуна, %	33,7	34,0
Витрата робочого тіла, кг/с	23,5	30,1
Міра підвищення тиску	14,8	19,4
Температура газу, К:		
перед силовою турбіною	1049	1039
за ГТД	802	777
Частота обертання, об/хв:		
компресора	15030	15150
силової турбіни	11500	
Маса*, т	1,36/1,68	1,72/2,04
Габарити, м	2,0×0,8×1,0	2,4×0,9×1,2

За цінами 2000 р. вартість одного ГТА з двигуном типу "601" становила 1,8... 2,9 млн дол. залежно від компонування. На основі виготовлюваних агрегатів простого термодинамічного циклу здійснюється виробництво парогазових та когенераційних установок.

Енергетичні модулі з двигунами "601" виконуються у вигляді єдиних блоків агрегатів та пристроїв, які пройшли повне тестування на заводі й готові до негайного введення у дію. Відмітними їхніми рисами є невелика зайнята площа, швидкі пуск та зупинка, простота транспортування й інсталяції. Вони виготовляються для енергомереж із частотою струму 50 і 60 Гц.

* Перше значення характеризує двигуни, оснащені традиційною камерою згоряння, друге – ГТД із низькоемісійною камерою згоряння. Габарити наведені для двигунів із традиційною камерою.

Енергомодулі розташовуються у спеціальному тепло- і звукоізолюючому контейнері. Повітропідвідний пристрій забезпечується фільтрами очищення та засобами шумоглушіння. Випуск відпрацьованих газів – осьовий, який зручно komponується з випускною шахтою або горизонтальним котлом-утилізатором. Для зниження частоти обертання між двигуном та генератором установлюється редуктор. У складі енергомодулів використовуються чотириполюсні генератори електричного струму.

2.3. "ALSTOM S.A." (Франція)

	<i>Повне найменування:</i> "ALSTOM Société Anonyme". <i>Штаб-квартира:</i> м. Леваллу-Перре, Франція. <i>Чисельність працюючих:</i> 65200 чол. (березень 2006 р.).

Відомості про компанію

Міжнародний концерн "ALSTOM S.A." веде своє походження з 1928 р., коли в результаті об'єднання французьких фірм "Société Alsacienne de Constructions Mécaniques" ("SACM") і "Compagnie Française Thomson-Houston" було створене машинобудівне підприємство "ALSTHOM S.A."

Одним з найстаріших промислових підприємств Ельзасу було "Société Alsacienne de Constructions Mécaniques" ("Машинобудівне товариство Ельзасу"). Воно виникло в 1839 р., коли Андре Кешлен у Мюлузі заснував майстерні з випуску локомотивів. Незабаром, об'єднавши кілька родинних підприємств, він організовує компанію "Elsässische Maschinenbau-Gesellschaft Grafenstaden". Після анексії Ельзасу Німеччиною у 1871 р. основне виробництво переноситься в розташований на французькій території Бельфор і компанія у 1878 р. перейменовується в "SACM". Крім локомотивів випускалися також телетайпи, поршневі двигуни та різноманітне озброєння.

У 1893 р. "Compagnie Française Thomson-Houston" була створена в Парижі як філія американської електротехнічної компанії "Thomson-Houston Electric Co.", що роком раніше стала одним зі співзасновників "General Electric Co." (США).

Розвиваючи машинобудівне виробництво, завод у Бельфорі з 1960 р. починає за ліцензією випускати газотурбінні двигуни сімейства "Frame 3" американської "General Electric Co." і незабаром стає одним з найбільш відомих її ліцензіатів.

У 1969 р. "ALSTHOM S.A." переходить у повну власність французького концерну "Compagnie Générale d'Electricité" ("CGE"). У 1976 р. власники концерну об'єднують "ALSTHOM S.A." з недавно придбаним ними суднобудівним підприємством із Сен-Назара "Chantiers de l'Atlantique". Новостворена компанія одержує назву "ALSTHOM Atlantique S.A."

Значною подією для цього підприємства стала розробка і створення у 70–80-х роках залізничної мережі високошвидкісних потягів типу "TGV", унаслідок чого "ALSTHOM Atlantique S.A." став на чолі консорціуму французьких, бельгійських і британських компаній, які брали участь у цьому будівництві.

У 1985 р. "ALSTHOM Atlantique S.A." перейменовано на **"ALSTHOM S.A."**.

Французький концерн "CGE" 22 червня 1989 р. підписує угоду з англійським "General Electric Company plc" ("GEC"), унаслідок чого з рівною пайовою участю створюється спільна компанія **"GEC ALSTHOM S.A."**, до складу якої ввійшли "ALSTHOM S.A." та енергомашинобудівне відділення "General Electric Co. plc". Головними сферами діяльності нової компанії стали енергетика, передача й розподіл електроенергії, залізничний транспорт, суднобудування, промислові системи, інжинірингові послуги.

* * *

Компанія **"General Electric Co. plc"**, яка не мала ніякого відношення до американського концерну "General Electric Co.", у 1989 р. була провідним британським виробником побутової та військової електроніки, засобів зв'язку і машинобудівної продукції. Заснована як "The General Electric Apparatus Co." у 1886 р. у Лондоні німецькими іммігрантами Г. Бінсвангером та Х. Хьорстом і спеціалізувалася спочатку на виробництві різних електротехнічних виробів. У 1889 р. змінює назву на "General Electric Co. Ltd."

Машинобудуванням "GEC" починає займатися у 1918 р. після входження до неї підприємства "Fraser & Chalmers Co.". У 20–30-х роках "General Electric Co. Ltd." стає міжнародною корпорацією та однією з найбільших британських компаній.

У 1967 р. у "GEC" вливається інша велика корпорація **"Associated Electrical Industries"** ("AEI"), яка поєднувала найстарші англійські підприємства "British Thomson-Houston Co.", "Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd.", "Edison Swan", "Siemens Bros." (філія німецької "Siemens & Halske AG"), "Hotpoint Co." та "W.T. Henley Co.". Перші два були найтісніше пов'язані з історією розвитку газотурбобудування.

Компанія **"British Thomson-Houston Company"** ("BTH"), яка спочатку мала найменування "Laing, Wharton and Down Co.", утворилася в 1886 р. і з 1896 р. оформилася як філія американської "Thomson-Houston Electric Co.". Наприкінці XIX ст. для виробництва електротехнічної продукції компанія будує в центральній частині Англії кілька фабрик, з яких із часом найбільш видатне положення займає підприємство у м. Регбі (графство Ворвікшир), яке було введено у дію в 1902 р. і з яким надалі асоціюється компанія "BTH".

У 1902 р. підприємство в Регбі здобуває ліцензію на випуск парових турбін Ч. Кьортіса, які стають незабаром одним з головних видів її продукції.

Регбі є батьківщиною першого у світі турбореактивного двигуна. У майстернях "BTH" з 1936 по 1941 р. працював Ф. Вітл, і в Регбі у квітні 1937 р. був побудований перший дослідний зразок ТРД.

У 50–60-х роках завод у Регбі створює ряд стаціонарних ГТА, з яких найкращі характеристики мав одновальний двигун L51C потужністю 5...7 МВт.

Одна з перших компаній, в якій були застосовані ГТД у судновій енергетиці – "British Thomson-Houston Co.". З жовтня 1951 по 1960 р. в експлуатації знаходився англійський танкер "Auris", оснащений спочатку газотурбогенератором "ВТН" потужністю 955 кВт (із регенерацією тепла відпрацьованих газів, ККД 21,8 %, початковою температурою газу 873 К, мірою підвищення тиску 4,0), а після заміни енергетичної установки у 1956 р. – газотурбогенератором потужністю 4045 кВт (із регенерацією та проміжним охолодженням, ККД 21,1 %).

Компанія "**Metropolitan-Vickers Electrical Company Ltd.**" у першій половині ХХ ст. була відома як виробник промислового електротехнічного встаткування, генераторів, вуличного освітлення, електроніки, парових турбін та дизельних локомотивів, була створювачем першого комерційного транзисторного комп'ютера "Metrovick 950" і першого британського ТРД з осьовим компресором (F.2 "Freda").

Вона виникла в Манчестері у 1899 р. як "British Westinghouse Electric & Mfg. Co." і була філією однойменної американської компанії. У 1916 р. з метою вивільнення від американського контролю, що перешкоджало одержувати урядові замовлення в роки Першої Світової війни, у компанію починає залучатися англійський капітал і в 1919 р. вона повністю викуповується корпорацією "Metropolitan Carriage, Wagon and Finance Co.". У вересні того ж року компанія переходить у власність "Vickers Ltd." і одержує свою нинішню назву.

У 1938 р. "Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd." укладає контракт із Міністерством авіації Великобританії на створення турбогвинтового двигуна F.1, проект якого був розроблений групою вчених з "Royal Aircraft Establishment" (м. Фарнборо) під керівництвом Алана Гріффита та Гейна Константа. Проте з 1940 р. компанія переорієнтується на виробництво ТРД і в 1943 р. випускає двигун F.2 "Freda" тягою 820 кгс, який успішно проходить випробування, але серійно не виробляється через його меншу надійність у порівнянні з двигунами Ф. Віттла, оснащеними відцентровим компресором. У 40-х роках створюються кілька ТРД більшої потужності (F.2/4 "Beryl" тягою 1390 кгс та ін.), з яких найкращими показниками відрізнявся F.9 "Sapphire". За вимогою Міністерства постачання з метою зменшення числа компаній, задіяних у виробництві авіаційних ГТД, "Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd." у 1947 р. продає своє відділення турбореактивних двигунів "Armstrong-Siddeley Motors Co."

У другій половині 40-х років підприємство одним з перших у світі починає роботи зі створення корабельних газотурбінних агрегатів, використовуючи для цього конструкції власних авіаційних ТРД. У 1947 р. успішно проходить випробування на артилерійському катері MGB 2009* створений на базі

* Ця канонерка вважається першим у світі кораблем з газотурбінною установкою.

F.2 двигун "Gatric", потужність якого становила 1865 кВт при ККД 13 %. У 1948 р. компанія одержує замовлення на виготовлення чотирьох прискорювальних ГТД G.2 потужністю 3300 кВт. Двигуни G.2 (ККД 17,5 %) застосовувалися у 50-х роках також на кораблях США та Італії.

Якщо застосування ГТД G.1 і G.2 носило експериментальний характер, то створений підприємством наприкінці 50-х років двигун G.6 потужністю 5,5 МВт якийсь час випускався серійно. При початковій температурі газу 1065 К та мірі підвищення тиску 6,3 його ККД становив 18,1 %. Конструкції виготовлюваних суднових двигунів у 40–50-х роках використовувалися компанією також для виробництва приводних та енергетичних ГТА.

У 60-х роках завод у Манчестері організував виробництво промислових ГТА потужністю 10...55 МВт на базі турбореактивних двигунів "Avon 1533" компанії "Rolls-Royce Ltd."

Холдингова компанія "**Associated Electrical Industries**" була створена у 1926 р. на базі "British Thomson-Houston Co." з ініціативи керівництва "General Electric Co." (США). У 1928 р. до неї увійшли також "Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd." та інші підприємства.

Необхідно відзначити, що всі підприємства "AEI" до реорганізації 1959 р. зберігали свою автономність, назву та випускали продукцію під власними торговими марками. Між "ВТН" і "Metropolitan Vickers Electrical Co. Ltd." існувало постійне суперництво, що пояснюється історично сформованими взаєминами між американськими "General Electric Co." та "Westinghouse Electric Corp.", філіями яких вони спочатку були.

У 1968 р. "General Electric Co. plc" установлює контроль над ще однією великою англійською корпорацією "**English Electric Company**". Разом з нею до "GEC" входять підприємства "Elliott Bros.", "The Marconi Co.", "Ruston & Hornsby Ltd.", "R. Stephenson & Hawthorn Co.", "Vulcan Foundry", "Willans & Robinson" та ін.

Компанія "English Electric Co." із центром у м. Престон була однією з провідних промислових корпорацій Великобританії, сфера діяльності якої охоплювала найрізноманітніші галузі: від літакобудування до комп'ютерної техніки (також виробництво тролейбусів, танків, дизелів і т. д.). У 50–60-х роках на базі свого паротурбінного виробництва компанія розробляла ГТА промислового типу, призначені для енергетичного, суднового та приводного застосування. З них можна виділити агрегати ЕМ-27Р потужністю 2200 кВт (виконувався з регенератором та без нього, початкова температура газів становила 1050 К, міра підвищення тиску – 5, ККД відповідно 23,8 та 18,4 %) і ЕМ-85 потужністю 5880 кВт (температура – 1063 К, міра підвищення тиску – 6, ККД – 21%). У 60-х роках компанія також випускала газотурбінні установки потужністю 10...60 МВт, які використовували як газогенератори авіаційні двигуни "Avon" фірми "Rolls-Royce Ltd.". Спеціально для цих установок була розроблена двоступінчаста вільна силова турбіна з консольним ротором.

До складу "English Electric Co." також входило підприємство **"Ruston & Hornsby Ltd."** з Лінкольна, яке займалося виробництвом привідних ГТД потужністю 0,8...4,0 МВт, призначених головним чином для нафтової промисловості*.

* * *

У 1996 р. до складу "GEC ALSTHOM S.A." ввійшли підприємства німецького концерну "AEG T&D". Після публічного продажу акцій компанія у грудні 1997 р. перетворюється у **"ALSTOM S.A."**. "Alcatel S.A." та "General Electric Co. plc" зберегли кожний по 24 % акцій "ALSTOM S.A."

У рамках концерну "GEC ALSTHOM S.A." виробництвом ГТД і комплектацією агрегатів на їх основі займалися науково-виробничі центри в м.м. Лінкольн, Манчестер (Великобританія); Бельфор, Нант (Франція); Ессен (Німеччина). Агрегати простої теплової схеми випускалися підприємством **"European Gas Turbines Ltd."** ("EGT"), парогазові та когенераційні установки – підприємством **"GEC ALSTHOM Combined Cycles Group"**.

У складі "EGT" завод у Лінкольні займався виробництвом двигунів "Hurricane", TB5000, "Typhoon", "Tornado", "Tempest" і "Cyclone" власної розробки, а також постачанням агрегатів RLM1600, RLM2500, RLM5000 та RLM6000 на основі однойменних двигунів "General Electric Co." (США). Заводи в Бельфорі та Ессені** спеціалізувалися в основному на випуску ГТД "General Electric Co." – MS3142, MS5382, PG6561, PG9171, PG9311 тощо. Завод у Нанті займався комплектацією і ремонтом суднових агрегатів на базі двигунів LM1600 та LM2500.

У рамках підприємства "GEC ALSTHOM Combined Cycles Group" на базі американських двигунів MS6001 і MS9001 вироблялися парогазові установки VEGA 106, VEGA 206, VEGA 109 та VEGA 209***.

У березні 1999 р. "ALSTOM S.A." та інша велика європейська компанія "ASEA Brown Boveri Ltd." ("ABB") оголосили про злиття свого енерговироблюючого бізнесу і створення із цією метою спільного (з пайовою участю 50 на 50 %) підприємства **"ABB ALSTOM Power Ltd."**, штаб-квартира якого розташувалася в Брюсселі (Бельгія). На момент створення підприємство нараховувало близько 54 тис. співробітників у більше ніж 100 країнах.

У травні 2000 р. "ALSTOM S.A." викупив у "ABB" її 50%-й пакет акцій і став одноосібним власником підприємства, яке після цього було перейменоване на "ALSTOM Power S.A." й далі реорганізоване в окремий департамент

* Див. інформацію про науково-виробничий центр у м. Лінкольн.

** Завод в Ессені (Німеччина) раніше складав основу компанії "AEG Kanis Turbinenfabrik GmbH".

*** Завод у Бельфорі в 1999 р. перейшов у повну власність "General Electric Co.", яка і раніше володіла деяким пакетом акцій цього підприємства. Сьогодні входить до складу підрозділу "GE Energy" та є одним із двох головних заводів "General Electric Co.", які серійно випускають її промислові ГТА.

корпорації. У результаті "ALSTOM S.A." успадкував увесь бізнес "ABB" (один з найдавніших в Європі) у галузі виробництва встаткування для генерування електроенергії, за винятком підприємств, пов'язаних з атомною енергетикою. До складу концерну ввійшли найстаріші європейські турбобудівні центри в м. Баден (Швейцарія), Маннгейм (Німеччина) та Фінспонг (Швеція).

На початок 2003 р. компанія "ALSTOM S.A." була однією з найбільших у світі в галузі виробництва систем, устаткування й послуг для генерування електричної, теплової та механічної енергії.

У 2003 р. концерн виявився на грані банкрутства. Ціна його акцій восени порівняно з 1998 р. зменшилася в 11 разів. Загальний борг склав 5 млрд євро. Зовсім збитковою виявилася придбана в "ABB" міжнародна мережа підприємств з ремонту й обслуговування турбінної техніки. Труднощі виникли в процесі експлуатації з недостатньо відпрацьованими газотурбінними двигунами GT24/GT26. У цій ситуації для покриття невідкладних боргових зобов'язань був проведений розпродаж ряду активів концерну, в т. ч. німецькій корпорації "Siemens AG" були продані турбобудівні підрозділи компанії в м. Лінкольн (Великобританія) та Фінспонг (Швеція).

На сьогодні активи "ALSTOM S.A." розподіляються таким чином: 55 % їх пов'язано з енергетикою, 15 % – з розподілом і передачею електроенергії; на машинобудування (головним чином залізничний транспорт) приходить 20 % активів, ще 10 % – на суднобудування. Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції склав 13,7 млрд євро.

Головними напрямками діяльності підрозділу **"ALSTOM Power"** є створення електростанцій, турбомашин, промислових турбінних агрегатів, котлового і природоохоронного встаткування, гідроенергетики та сервісні послуги. Доходи компанії за видами продукції розподіляються приблизно таким чином: сервісні послуги – 28 %, газотурбінні агрегати – 24 %, парові турбіни – 17 %, котлове встаткування – 15 %, природоохоронне встаткування – 7 %, продукція гідроенергетики – 7 %, інша продукція – 2 %*.

До складу департаменту входять 12 науково-дослідних і проектних лабораторій, 54 вироблюючі підприємства, 70 сервісних центрів. Місцеві представництва "ALSTOM Power" розташовані в 63 країнах. Сумарна чисельність працівників становить близько 34500 чоловік у більше ніж 70 країнах, з них за регіонами: Європа – 57 %, Азія – 23 %, Америка – 19 %, Африка і Близький Схід – 1 %.

Розробка ГТА ведеться на підприємстві компанії у м. Баден (Швейцарія) – "ALSTOM Schweiz AG". Дослідницькі лабораторії розташовані в баденському районі Даттвіл. Випробні стенди і роторне виробництво перенесені в м. Бірр (пригород Бадена). Загальним збиранням, а також створенням парогазових

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.alstom.com>.

і когенераційних установок, а також парових турбін займається завод у Маннгеймі (Німеччина) – "ALSTOM Power Generation AG" (чисельність працюючих – 1450 чол.)*. Турбінні лопатки поставляє підприємство у м. Бексбах (Німеччина) (210 чол.).

2.3.1. Науково-виробничий центр у м. Баден (Швейцарія) і Маннгейм (Німеччина)

Веде своє походження з 1 жовтня 1891 р., коли інженери Чарльз Браун і Вальтер Бовері (рис. 2.3.1) у м. Баден** заснували комерційне ТОВ "**Brown Boveri & Cie**" ("**BBC**"). Підприємство починало свою діяльність маючи штат зі 124 робітників. Незабаром після цього "BBC" стає однією з провідних європейських компаній, що виготовляли встаткування для передачі перемінного струму високої напруги.

У 1893 р. "BBC" виконує своє перше велике замовлення – постачання генераторів для першої європейської потужної теплової електростанції з виробництва трифазного струму в м. Франкфурт-на-Майні (Німеччина). Уже через чотири роки після заснування (у 1895 р.) підприємство випускає свою 1000-у електричну машину.

У 1900 р. "BBC" розширює виробництво та 15 червня засновує свою першу і протягом усього часу існування компанії найбільшу закордонну філію в м. Маннгейм (Німеччина), внаслідок чого здобуває статус корпорації. У цій філії після придбання у тому ж році ліцензії на виробництво парових турбін Ч. Парсонса (Англія) організовується турбобудівне виробництво й у 1901 р. випускається перша в Європі енергетична парова турбіна. З 1930 р. виробничі потужності філії в Маннгеймі, яка виготовляла у той час також електровстаткування для залізниць, перевищують виробничі потужності базового заводу в м. Баден.

З компанією "Brown Boveri & Cie" пов'язаний ряд визначних подій у світовому енергетичному паротурбобудуванні. Безпосередньо перед Першою Світовою війною випускається найпотужніша у світі на той період турбіна (30 МВт). У період між двома війнами для електростанції в Бельгії створюється турбіна потужністю 1675 кВт із початковим тиском пари 5 МПа та температурою



Рис. 2.3.1. Чарльз Браун (1863–1924) і Вальтер Бовері (1865–1924)

* Адреси підприємств відповідно: Brown Boveri Strasse 7, 5401 Baden, Switzerland та Boveristrasse 22, D-68309 Mannheim, Germany.

** Курортне містечко з населенням 16,5 тис. чол. (2003 р.) у 27 км від Цюриха в кантоні Ааргау.

440...450 °С. Незабаром для електростанції в Маннгеймі "BBC" виготовляє турбіну потужністю 7000 кВт, яка працювала на парі з тиском 16 МПа та температурою 430 °С. Турбіна, побудована для електростанції в Лангербрюгге, мала більш високі параметри пари: температура – 450 °С, тиск – 22,5 МПа.

У 1913 р. компанія спільно зі Швейцарським федеральним інститутом технології ("Eidgenössische Technische Hochschule") в м. Цюрих створює перший у світі компресор (відомий як "Comprex AWS") для наддування повітря у робочі циліндри дизельного двигуна. Компресор являв собою навішений на двигун повітряний насос. У 1923 р. закінчуються роботи зі створення першого турбонагнітача, і з наступного року на підприємстві вперше у світі починається промислове виробництво систем турбонаддування дизелів.

У перші десятиліття ХХ ст. "Brown Boveri & Cie" розробляє важливі технології та створює свої підрозділи в Італії, Австрії, Норвегії, Угорщині, Чехословаччині, Польщі, США, Канаді й Аргентині.

З 1929 р. починається виробництво, й у 1933 р. компанія одержує патент на виготовлення турбінних роторів з окремих кутих дисків і кілець шляхом зварювання. У даний час жорсткі зварені ротори, що застосовуються як для парових турбін, так і для ГТА, є відмітним фірмовим знаком підприємства. За десятиліття експлуатації не зареєстровано випадків їхньої поломки.

Необхідно відзначити, що в період з 1906 по 1933 р. "Brown Boveri & Cie" кілька разів фінансувала роботи німецького вченого Г. Гольцварта зі створення ГТД з ізохорним підведенням тепла в камері згоряння. Виробничі приміщення заводу в Маннгеймі використовувалися для виготовлення кількох дослідних зразків цього ГТД, найбільш вдалий з яких у 30-х роках знайшов застосування на сталеливарному заводі компанії "Thyssen" (м. Ессен, Німеччина).

У 1934 р. "BBC" уперше в світі побудувала багатоступінчастий осьовий компресор із прийнятною для практичного застосування ефективністю (його ККД становив 84 %). Проте у післявоєнний період компресорне виробництво було продане іншій швейцарській компанії "Sulzer AG".

У 1936 р. "Brown Boveri & Cie" створила, а в 1939 р. ввела в дію у м. Невшатель (Швейцарія) першу в світі стаціонарну газотурбінну електростанцію. Агрегат, виконаний за простою тепловою схемою й обладнаний багатоступінчастим осьовим компресором, мав потужність 4000 кВт при наступних параметрах газу перед турбіною: тиск – 400 кПа, температура – 823 К. Визначений протягом випробувань ефективний ККД становив 17,4 %. Побудова цього агрегату ознаменувала собою новий етап у розвитку енергетики й послужила початком промислового використання газотурбінної техніки.

У 1941 р. у Швейцарії з'явився перший у світі локомотив, обладнаний привідною газотурбінною установкою, створеною в компанії "BBC". Агрегат мав потужність 1650 кВт; побудований у 1949 р. фірмою "Swiss Locomotive Co." другий його екземпляр знаходився в експлуатації на Британських залізницях до 1959 р.

У 1949 р. "Brown Boveri Ltd." у Лімі (Перу) вводить у дію газотурбінну електростанцію потужністю 10 МВт. Уперше у світі ГТА був оснащений одночасно проміжним охолодженням повітря між компресорами, регенерацією тепла відпрацьованих газів і проміжним підігрівом газу між турбінами.

У другій половині 50-х років компанія випустила кілька газотурбінних енергопоїздів з установкою потужністю 6,2 МВт і ККД 19,1 %.

У післявоєнний період "Brown Boveri Ltd." розширює виробництво ГТД для енергетики, металургії, транспорту. У 1956 р. перша установка потужністю 6 МВт із початковою температурою газу 1023 К була розміщена на металургійному заводі у м. Сен-Дізьє (Франція). Одновальний ГТА потужністю 15 МВт у цей же період установлюється на заводі в м. Райнхаузен (Німеччина). У цих агрегатах тепло відпрацьованих газів використовувалося в регенеративних теплообмінниках одночасно для підігрівання повітря перед камерою згоряння і підігрівання доменного газу.

За подібною схемою виконувалися ГТА потужністю 18 МВт (ККД – 28 %, початкова температура газу – 1023 К, міра підвищення тиску – 2,4), перші з яких були введені в експлуатацію на металургійних заводах Люксембургу й Іспанії у 1958 р. Як паливо для таких ГТА використовувався доменний газ.

Надалі корпорацією створюється ГТА з проміжним охолодженням повітря й проміжним підігріванням газу потужністю 25 МВт (пізніше доведений до 30 МВт), який мав високі експлуатаційні показники і тому, незважаючи на порівняно невисоку економічність – 22...25 %, набув у 50–60-х роках широкого поширення. Перші два таких ГТА були встановлені у м. Ливорно (Італія) у 1956 р.

Якщо в 50-х роках перевага надавалася створенню газотурбінних установок складних теплових схем (з регенерацією та/або проміжним охолодженням), то після 1965 р. фірма перейшла на виготовлення в основному блокових транспортабельних агрегатів, виконаних за простою схемою. Починаючи з цього періоду більшість ГТА розробляються для роботи на двох видах палива – рідкому та газоподібному. Передбачається можливість подачі цих видів палива до камери згоряння разом або окремо.

Першим блоковим агрегатом став ГТА потужністю 15 МВт, розробка якого завершилася ще до 1965 р. При початковій температурі газу 1023 К та мірі підвищення тиску 7 його ККД становив 25 %.

Наприкінці 60-х років "Brown Boveri Ltd." організувала випуск пікових та резервних газотурбоеклектростанцій потужністю 13 МВт і більше, які базувалися на газогенераторах авіаційних двигунів "Avon" фірми "Rolls-Royce Ltd.". У таких енергоблоках ККД становив 26 % при мірі підвищення тиску 9,8 і початковій температурі газів 1138 К.

До початку 70-х років загальна кількість ГТА, виготовлених фірмою починаючи з 1939 р., перевищила 350 од.

У першій половині 70-х років компанією починається випуск уніфікованих ГТД сімейств **GT9** (з 1970 р.), **GT11** (з 1971 р.) та **GT13** (з 1973 р.), які мали у той час потужність відповідно 22, 35 і 60 МВт. Спочатку їхні параметри становили: міра підвищення тиску – 9...11; початкова температура газів – 1123...1143 К; ККД – 26...28 %. У 1985 р. загальна кількість виготовлених двигунів цих сімейств досягла 300 од. На той час вони напрацювали у сумі більше 4,2 млн год*. Зростання ККД їхніх модифікацій до 29...33 % відбулося за рахунок збільшення витрат повітря, міри підвищення тиску і температури газів, а також удосконалювання турбомашин; потужність збільшилася в 1,5...2,0 рази.

У 1984–1985 рр. починається виробництво двигунів сімейства GT8 початковою потужністю 45 МВт та моделі GT13E потужністю 143 МВт і ККД 33,7 %, які являли собою наступний етап у розвитку газотурбобудування компанії. Початкова температура газів збільшилася до 1333..1343 К, міра підвищення тиску – до 14,3...15,5.

Необхідно відзначити, що в галузі створення газотурбінної техніки в 60–70-х роках підприємство співробітничало з іншою швейцарською компанією "Sulzer Escher Wyss AG", наслідком чого стало створення ряду двигунів потужністю 4...10 МВт (серії "1", "3" та "7").

У числі досягнень компанії "BBC" слід зазначити створення нею у 1971 р. найпотужнішого (1300 МВА) у світі трансформатора електричного струму. У 1973 р. "Brown Boveri Ltd." почала виробництво стаціонарних паротурбінних агрегатів потужністю 1300 МВт.

Необхідно відмітити, що за період з 1920 по 1987 р. загальна чисельність працівників корпорації "BBC" зросла з 23 тис. до 94 тис. чол. (у 159 підрозділах на п'яти континентах), щорічний товарообіг – з 75 млн до 10,4 млрд швейцарських франків.

Наприкінці 70-х – початку 80-х років XX ст. структурні зміни у світовій економіці значною мірою вплинули на компанію. Реальним виходом із ситуації, що склалася, стало об'єднання "Brown Boveri Ltd." зі шведською енергетичною корпорацією "Almanna Svenska Elektriska Aktiebolaget" ("ASEA"), що привело до створення 1 січня 1988 р. нового підприємства – **"ASEA Brown Boveri Ltd."** ("**ABB**"), у якому об'єднані фірми володіли рівними 50%-ми пакетами акцій.

Відмітною рисою діяльності підприємства "ASEA Brown Boveri Ltd." у період з 1988 по 1999 р. (до створення спільного підприємства з концерном "ALSTOM S.A.") була активна політика розширення виробництва в країнах Азії, Центральної та Східної Європи, включаючи країни колишнього Радянського Союзу. За рахунок організації спільних підприємств, придбання фірм та інвестицій було створено більше 130 заводів, машинобудівних, сервісних і маркетингових центрів. Чисельність персоналу "ABB" у цих країнах перевищила 60 тис. чол.

* Загальна потужність усіх ГТД, випущених фірмою на той час, склала 15,7 ГВт, їхній сумарний наробіток – більше 20 млн год.

Одночасно із цим у США й Західній Європі інтенсивність розвитку підрозділів компанії знизилася і почався період їхньої консолідації та реструктуризації, який супроводжувався селективним скороченням персоналу (не менше 15 тис. робочих місць).

До середини 90-х років відносять початок нового етапу в розвитку газотурбобудування науково-виробничого центру в мм. Баден і Маннгейм. У 1993 та 1994 рр. починається виробництво наступних модифікацій двигунів GT11 та GT8 – **GT11N2** і **GT8C**. У цей же час підприємство вперше відмовилося від своєї традиційної схеми ГТД і почало випуск двигунів, оснащених не індивідуальною, а кільцевою камерою згоряння. Уперше це відбулося у 1993 р., коли були закінчені роботи зі створення двигуна **GT13E2**. У 1998 р. індивідуальна камера згоряння була замінена кільцевою і в сімействі GT8 (модифікація **GT8C2**).

У 1994 р. підприємство ввело газотурбінну технологію **GT24/GT26** з найбільшою на той час у світі одиничною потужністю агрегату 280 МВт, яка відкрила нові можливості на ринку для високоефективних ГТА з низьким рівнем викидів. Відмітною рисою цих двигунів, крім кільцевої камери згоряння, було застосування проміжного підігрівання газу в турбінній частині.

Продукція компанії

У галузі газотурбобудування науково-виробничий центр у мм. Баден і Маннгейм пропонує потенційному замовнику енергетичні агрегати простої теплової схеми потужністю 50...280 МВт, які відрізняються високою економічною ефективністю (32...39 %), готовністю до експлуатації та гнучкістю в застосуванні.

Для мереж із **частотою струму 50 Гц** можна виділити такі агрегати:

GT8C і GT8C2 (потужність 53 та 58 МВт; ККД відповідно 32,9 і 33,1 %);

GT13E2 (176 МВт; 37,1 %);

GT26 (287 МВт; 39,0 %);

для мереж із **частотою струму 60 Гц**:

GT8C (53 МВт; 32,9 %) та GT8C2 (58 МВт; 33,1 %);

GT11N2 (118 МВт; 34,5 %) і GT11NM (90 МВт; 34,8 %);

GT24 (191 МВт; 37,6 %).

На базі двигунів власної розробки компанія випускає ряд типових модульних ПГУ бінарного термодинамічного циклу ефективністю 49,9...57,8 %. У позначенні цих установок "ALSTOM S.A." використовує префікс "КА" ("Kombianlage" – комбінована установка), назву базового ГТД та суфікс, що вказує на кількість двигунів.

Необхідно відзначити, що науково-виробничий центр у мм. Баден і Маннгейм на сьогодні є одним з найбільших у світі виробників парових турбін. Паротурбінні агрегати випускаються для застосування у складі теплових електростанцій на органічному паливі, для атомних електростанцій, а також для комбінованих ПГУ. Їхній діапазон потужностей становить 100...1500 МВт.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигуни GT8C та GT8C2

Двигун **GT8C** (рис. 2.3.2,*а* та 2.3.3) є наступною модифікацією серед енергетичних двигунів сімейства GT8, що зарекомендували себе як одні з найнадійніших та перевірених часом у класі 50 МВт для виробництва струму частотою 50 і 60 Гц.

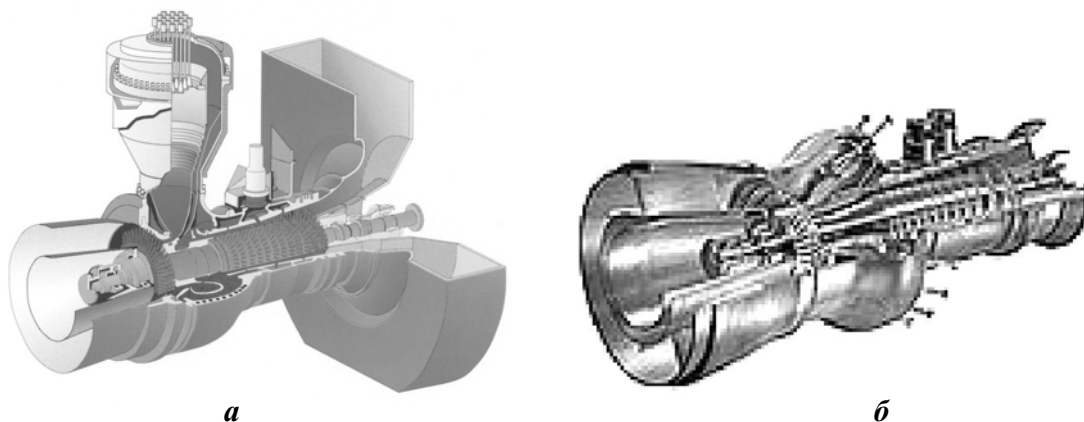


Рис. 2.3.2. Газотурбінні двигуни GT8C (*а*) та GT8C2 (*б*)

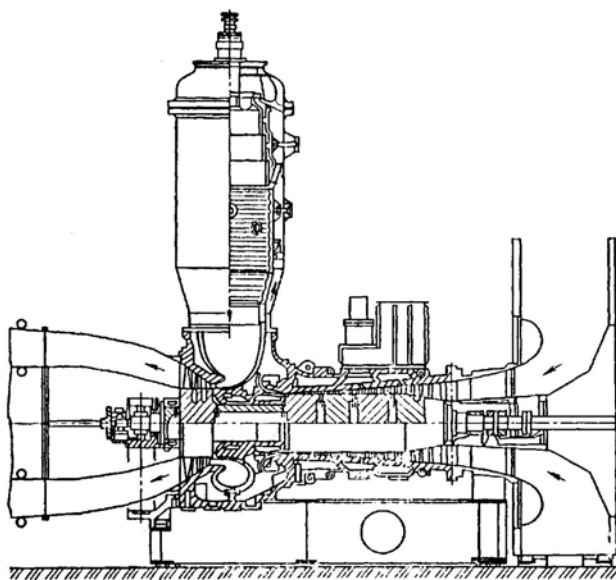


Рис. 2.3.3. Подовжній переріз двигуна GT8C

Завдяки своїй модульній конструкції він однаково добре підходить для найрізноманітніших варіантів зовнішнього чи внутрішнього розміщення, а також для установок комбінованого циклу і теплофікаційних установок. Модульна конструкція дозволяє істотно скоротити час із моменту одержання замовлення до введення в промислову експлуатацію. Для агрегатів простого циклу цей термін становить усього 4 міс., а для установок комбінованого циклу – 14.

При експлуатації GT8C гарантовані коефіцієнти надійності й готовності на рівні 99 і 95 % відповідно забезпечують надійну роботу електростанції та позитивну динаміку доходів.

Ефективність виробництва електроенергії в установках комбінованого циклу, створених на базі GT8C, перевищує 50 %. В установках когенерації коефіцієнт використання палива становить більше 85 %.

Двигуни сімейства GT8 виготовляються науково-виробничим центром у м. Баден і Маннгейм з 1984 р., модифікація GT8C – з 1994 р. На початок 2006 р. знаходилося в експлуатації або готувалося до відправлення споживачеві 49 машин сімейства GT8. На той час загальний їхній наробіток досяг 2 млн год. Перший GT8C був введений в експлуатацію у травні 1995 р.

З 1998 р. підприємство веде виробництво вдосконаленої модифікації двигуна GT8C, що одержала найменування **GT8C2** (див. рис. 2.3.2,б). Підвищення потужності було досягнуте за рахунок зниження втрат тиску внаслідок застосування кільцевої камери згоряння й удосконалення профілю лопаток компресора. Для останнього використані нормативи тривимірної методики розрахунків, що аналогічні раніше використаним при створенні двигуна GT24.

Модифікація зберегла всі кращі конструктивні особливості GT8C. Були вдосконалені повітрозабірник (масштабування з двигуна GT24), система охолодження та поліпшені аеродинамічні характеристики. Зменшення розмірів повітрозабірника привело до вивільнення простору для встановлення редуктора ближче до ГТД та відсутності проміжного вала і підшипників між ними. При цьому редуктор був розміщений на спільній із двигуном рамі.

Двигун GT8C2 працює на природному газі та дизельному паливі. Помірна температура на вході до турбіни (1373 К) залишилася тією ж, що й у GT8C. У результаті забезпечується тривалість терміну служби компонентів при досить високому значенні ККД двигуна.

Завдяки унікальній технології, пов'язаній із застосуванням EV-пальників ("Environmental Vortex"), газотурбінний двигун може працювати в умовах жорстких норм регулювання викидів шкідливих речовин в атмосферу. Гарантовані рівні викидів NO_x при роботі GT8C2 на природному газі (сухе заглушення) становлять менше 25 ppm і нижче 42 ppm при роботі на рідкому паливі (необхідне впорскування води). Основні технічні характеристики ГТД наведені у табл. 2.3.1.

Таблиця 2.3.1. Характеристики двигунів сімейства GT8

Параметри	Модифікації		
	GT8	GT8C	GT8C2
Номінальна потужність*, МВт	44,6	52,8	58,1
ККД, %	32,0	33,5	34,6
Витрата робочого тіла, кг/с	177	179	197
Міра підвищення тиску	15,5	15,7	17,6
Температура газу, К:			
початкова	1333	1373	
за ГТД	796	790	781
Частота обертання ротора, об/хв	6300	6210	
Маса, т	90	—	167
Габарити, м	7,8×3,2×7,9		11,5×5,3×5,0

* Потужність і ККД наведені на вихідному фланці редуктора.

Двигун конструктивно виконаний одновальним. Трансзвуковий 12-ступінчастий осьовий компресор має (порівняно з GT8C) поліпшені характеристики при роботі в умовах підвищеної температури навколишнього середовища. Його висока газодинамічна стійкість забезпечує надійне функціонування всього ГТД на перемінних режимах. Регульований вхідний напрямний апарат дозволяє зменшити споживану потужність на режимі запуску, керувати витратою повітря на режимах часткового навантаження, а також поліпшити ефективність установок комбінованого циклу при роботі на цих режимах. Число відборів/перепусків повітря з компресора – 3, число клапанів відбору/перепуску – 4.

Робочі лопатки 1-го ступеня виготовлені з титанового сплаву, інших ступенів – зі звичайної сталі з 12%-м вмістом хрому. Лопатки перших ступенів захищені від корозії спеціальним покриттям. Для збереження високого ККД лопатки і меридіональні обведення ретельно спрофільовані з урахуванням вторинних течій. Для зниження чисел Маху у відносному русі та втрат використає попереднє закручення потоку на вході до каналів робочих лопаток, що поліпшило також роботу ступенів на нерозрахованих режимах. Для покращення зривних і міцностних характеристик були збільшені хорди лопаток. Робочі лопатки 1-го ступеня компресора спроектовані так, щоб номінальна частота обертання лежала між другою і третьою кратностями їхньої власної частоти згинальних коливань за першою формою.

Зміна кута встановлювання вхідного напрямного апарата в діапазоні –30...+10° змінює відносну масову витрату повітря від 0,73 до 1,05. Відповідні зміни температури газів за турбіною становлять +50...–7 К. Вони можуть використовуватися для оптимального регулювання теплового навантаження при роботі з котлом-утилізатором.

Кільцева камера згоряння, оснащена 18-ма EV-пальниками, відрізняється

низькими викидами NO_x у всьому діапазоні навантажень, рівномірним розподілом температури газу на вході до турбіни, простотою технічного обслуговування. Заміна камери згоряння на місці експлуатації здійснюється з мінімальними втратами часу, оскільки остання поставляється в цілком зібраному вигляді.

При проектуванні розрахунок профілів лопаток триступінчастої осьової турбіни з метою досягнення високого ККД виконувався на основі тривимірних обчислень потоку. Для мінімізації втрат, пов'язаних з витокami робочого тіла, застосоване бандажування всіх робочих лопаток. Використовується ефективне повітряне охолодження соплових та робочих лопаток перших двох ступенів.

Діаметр проточної частини турбіни обраний так, щоб збільшення колових швидкостей забезпечувало спрацьовування теплоперепаду при помірному, оптимальному аеродинамічному навантаженні ступенів. Міра реактивності в них збільшується від 0,15 у кореня до 0,7 у вершини. Соплові лопатки 1-го ступеня працюють із числами Маху, що дорівнюють 0,80...0,85.

Ротор і обойма соплових апаратів турбіни ізолювані від потоку гарячих газів охолоджуваними термобар'єрними сегментами, що дозволило виготовити найбільш масивні деталі турбіни з простих низьколегованих сталей.

Для збереження при експлуатації рівномірних радіальних зазорів охолодження обойми здійснюється двома потоками повітря різних тисків. Повітря, що відбирається після компресора, охолоджує частину обойми високого тиску, сегменти газовпускного каналу, 1-й ряд соплових лопаток і наступні термобар'єрні сегменти. Повітря більш низького тиску із середини компресора охолоджує задню частину обойми і використовується також для охолодження соплових лопаток 2-го ступеня.

У перших модифікаціях двигуна GT8 соплові лопатки виконані з оребренням внутрішньої порожнини, в яку вставляється дефлектор. У лопатці 1-го ступеня, що виготовлена зі сплаву IN939, через дефлектор здійснюється душовання внутрішньої стінки біля вхідної кромки. Повітря з лопатки викидається крізь щілини у вихідній кромці, а також випускається на зовнішню поверхню профільної частини крізь кілька рядів отворів: на спинці з боку вхідної (3 ряди) і на коритці біля вихідної (2 ряди) кромки.

Повітря на охолодження робочих лопаток 1-го і 2-го ступенів турбіни підводиться через ротор, протікає всередині лопаток та виходить у проточну частину через вершину і вихідну кромку лопаток. Передбачено можливість попереднього охолодження цього потоку повітря поза ГТД. Робочі лопатки кріпляться в дисках "ялинковими хвостовиками". Полиці біля кореня лопаток виконані з консолями в осьовому напрямку, які перекривають виточення між гребенями дисків. Після збирання турбіни простір над консолями перекривається внутрішніми полицями соплових лопаток, які утворюють у кожному вінці бандажі. Під бандажами створюється плівка повітря, що перешкоджає прямому контакту ротора з гарячими газами. Другий пояс теплового захисту ротора

створюється повітрям, яке рухається в осьовому напрямку через зазори в хвостових з'єднаннях робочих лопаток з дисками.

Ротор ГТД – двохопорний. Упорний підшипник виконаний у вигляді єдиної конструкції з радіальним підшипником і розташований на холодній (компресорній) частині вала. Забезпечено доступ до підшипників без розбирання корпусу двигуна.

Особливістю роторів компанії є їхня зварна конструкція. Монолітний ротор, який складається з окремих кутих дисків, зварених між собою, забезпечує високу жорсткість, що необхідно при використанні лише двох опор, і відсутність вібрації під час експлуатації. Балансування ротора може здійснюватися на місці експлуатації.

Випуск відпрацьованих газів – осьовий; відрізняється легкістю монтажу і стикування з котлом-утилізатором. Мала нерівномірність параметрів потоку і невеликі аеродинамічні втрати у випускному пристрої поліпшують показники ГТД у цілому. У системі випуску передбачений люк для інспекції випускного пристрою та останнього ряду лопаток турбіни.

Горизонтальне рознімання корпусу двигуна істотно полегшує доступ до його вузлів та основних елементів проточної частини для ревізій і технічного обслуговування. Значно спрощує процедуру інспекцій те, що на розкриття та збирання корпусу потрібні мінімальні витрати часу і праці. На всіх режимах роботи відсутні деформації корпусу і витоки в місцях його з'єднань.

Запуск двигуна здійснюється за допомогою електрогенератора, який використовується як пусковий двигун (як синхронний електродвигун з регульованою частотою обертання). Час виходу з нерухомого стану на режим синхронізації становить усього 6 хв. Існує можливість вибору між швидким і нормальним навантаженнями (час розганяння – 10 та 17 хв відповідно). Пусковий пристрій обладнаний системою самозахисту та самодіагностики, що гарантує надійність його роботи.

На базі газотурбінних двигунів GT8C та GT8C2 для задоволення потреб електрогенеруючих компаній в устаткуванні, яке вимагає невисоких початкових інвестицій і максимально коротких термінів монтажу й введення в експлуатацію, створені парогазові установки **КА8С-1**, **КА8С2-1** та **КА8С2-2**. Технічні рішення, що закладені в конструкцію ПГУ, забезпечують їхню простоту обслуговування. Це, у свою чергу, виражається у високій надійності та готовності установок.

Дані парогазові установки відповідають усім сучасним вимогам ринку щодо гнучкості режимів експлуатації. Це досягається через застосування самоблокувальних і синхронізованих муфт типу "SSS" та через компоновання, яке оптимізується для спрощення технічного обслуговування установок.

Парогазові установки виконані з утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари. Їхні технічні характеристики наведені в табл. 2.3.2.

Таблиця 2.3.2. Характеристики парогазових установок типу КА8С

Параметри	КА8С-1	КА8С2-1	КА8С2-2
Потужність, МВт:			
на клеммах генератора	75,0	81,5	156,1
ГТД	53,9	57,2	114,7
паротурбінної частини	22,7	26,0	44,6
ККД на клеммах генератора, %	49,9	50,2	50,3

Двигуни GT11N2 та GT11NM

Двигун GT11N2 (рис. 2.3.4) є подальшим розвитком енергетичного GT11, більше 220 екземплярів різних модифікацій якого (з них близько 90 – представники сімейства GT11N) знаходяться у цей час в експлуатації по всьому світі. Сумарний наробіток двигунів типу GT11 перевищує 8 млн год (з них сімейства GT11N – більше 2,5 млн год).

Двигун GT11N2 створювався з метою задоволення попиту на агрегати потужністю 115 МВт, які могли б працювати для мереж частотою струму 50 і 60 Гц. Завдяки міцній конструкції та паливній гнучкості ГТД ідеально підходить для роботи як у простому циклі з економічним виробленням електроенергії, так і в комбінованому, забезпечуючи високий рівень ефективності та низькі викиди шкідливих речовин.

Залежно від призначення GT11N2 може використовувати різні види палива навіть у режимі їх одночасного спалювання. Двигун може бути обладнаний EV-пальниками для природного газу (варіант № 1), пальниками для мазуту й нафти (варіант № 2) або пальниками для мазуту, сирі нафти чи важкого дизельного палива і низькокалорійного газу (варіант № 3).

Двигун характеризується гарною ремонтпридатністю. Виняткова легкість доступу, перевірені компоненти, жорстка конструкція і просте компонування GT11N2 сприяють швидкому виконанню технічного обслуговування та скорочують час планових і непланових простоїв.

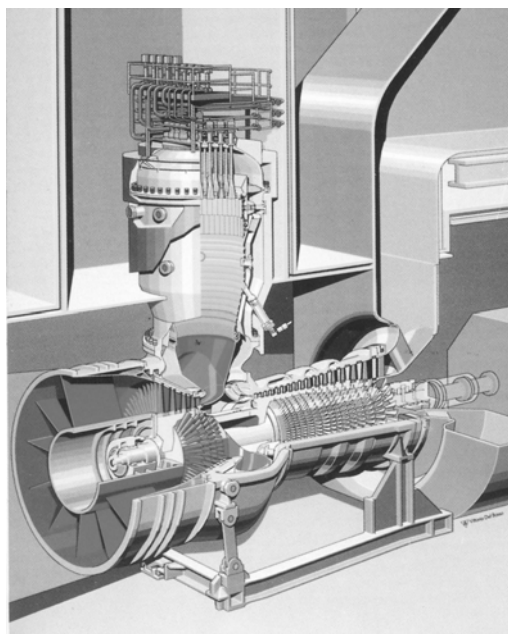


Рис. 2.3.4. Двигун GT11N2

Застосування випробуваної технології EV-пальників* дозволяє двигунам GT11N2 задовольняти вимогам жорстких норм з охорони навколишнього середовища. При роботі на природному газі в режимі номінального навантаження показники викидів NO_x (сухе заглушення) становлять не більше 25 ppm. Двигун також відрізняється дуже високою конкурентоздатністю у складі ПГУ, забезпечуючи ефективний ККД більше 51 %.

Досвід експлуатації GT11N2, загальний наробіток яких становить більше 400 тис. год, гарантує надійну роботу електростанцій і позитивну динаміку доходів.

Двигуни сімейства GT11 виробляються з 1971 р., модифікація GT11N – з 1989 р., GT11N2 – з 1993 р., GT11NM – з 1997 р. Перший GT11N2 був введений у дію в березні 1994 р. на електростанції в штаті Кентуккі (США). На початок 2006 р. реалізовано 37 таких двигунів, були замовлення ще на 19 ГТД. Основні технічні характеристики двигунів GT11N2 та GT11NM наведені нижче:

	GT11N2	GT11NM
Номінальна потужність, МВт	118,4	90,2
ККД, %	34,5	34,8
Витрата робочого тіла, кг/с	400	315
Міра підвищення тиску	15,5	12,5
Температура газу, К:		
початкова	1358	—
за ГТД	804	775
Частота обертання ротора, об/хв	3600	
Маса, т	190	
Габарити, м	9,5×5,5×10,0	

Двигун виконаний одновальним. Осьовий компресор має у своєму складі 14 дозвукових ступенів, які оптимізовані за аеродинамічною ефективністю й водночас мають низьку сприйнятливості до зміни числа Маха і кута атаки робочим тілом. Перші три ступеня оснащені поворотними напрямними апаратами для регулювання повітряного потоку при запуску ГТА і для забезпечення високого ККД та низького рівня викидів при роботі на частковому навантаженні. Число відборів та перепусків повітря – 2, число клапанів відбору/перепуску – 3.

Камера згоряння – індивідуальна (виносна), однотрубчаста. Її конструкція забезпечує легкий доступ до основних елементів та скорочення простоїв при інспекції, також відрізняється простотою візуального огляду гарячої частини, включаючи 1-й ряд соплових і робочих лопаток турбіни. Допускається впорскування значної кількості води або пари з метою зниження емісії NO_x

* Розробка низькоемісійного пальника типу "EV" ("Environmental Vortex") науково-виробничим центром у Бадені почалася у 1987 р. Із самого початку ставилося завдання не тільки домогтися зниження емісії шкідливих речовин, але і знайти технологічне рішення, яке дозволяє поліпшити всі інші параметри камери згоряння. Уперше EV-пальники знайшли застосування у виносній камері згоряння двигуна GT11N у 1990 р.

і підвищення потужності. Залежно від потреб замовника можливе використання різних типів пальників з досить простою їхньою заміною (у разі потреби) на місці експлуатації.

Окрім звичайних видів палива для ГТД – природного газу і дизельного палива – GT11N2 може використовувати особливі його види: сиру нафту, топковий мазут, низькокалорійні гази від сталеливарного виробництва, крекінг-установок та установок для газифікації вугілля.

Така унікальна гнучкість ГТД забезпечується індивідуальною камерою згоряння, яка легко адаптується до будь-якого виду палива. Для задоволення вимог замовника пропонуються камери згоряння трьох типів з різною конфігурацією пальників.

Камера згоряння з пальниками типу "EV" – низькоемісійна, оснащена 36-ма пальниками даного типу, які забезпечують низький рівень викидів без упорскування води. Пальники розраховані на використання двох видів палива – газоподібного і рідкого. Сумарний наробіток таких камер, установлених у різних ГТД компанії "ALSTOM S.A.", складає більше 400 тис. год. Ця камера ідеально підходить для роботи в простому та комбінованому циклах, в яких важливі низький рівень викидів і високий ККД.

Камера згоряння з пальником типу "SB" ("Single Burner") має одну паливну форсунку і великий внутрішній об'єм. Добре підходить для спалювання сирової нафти і важкого дизельного палива. Простота і міцність устаткування в поєднанні з тривалим перебуванням паливної суміші забезпечують надійність експлуатації цих камер при використанні специфічних видів палива. Крім того, камера згоряння цього типу ідеально підходить для роботи в режимах пікового навантаження в простому циклі, оскільки розрахована на впорскування значної кількості води. Це дозволяє збільшити вихідну потужність ГТД, порівняно з номінальною, на 15 % і більше.

Камера згоряння з пальниками типу "LBTU" ("Low BTU"). За останні 20 років науково-виробничим центром у мм. Баден і Маннгейм побудовано більше 20 двигунів для сталеливарного виробництва. Наробіток цих ГТД на низькокалорійних видах палива перевищує 2,5 млн год. Камера з пальниками "LBTU" розрахована саме на використання низькокалорійних газів (теплота згоряння порядку 3000 кДж/кг), таких, як доменний газ, газ від крекінг-установок та газ, одержуваний при газифікації вугілля. Додаткова перевага камери цього типу полягає у наявності повітряного байпасу, який також може бути використаний для простого й ефективного відбирання повітря в обсязі більше 30 % від витрати на вході до компресора.

Механічна енергія генерується 4-ступінчастою осьовою турбіною, при проектуванні якої використані сучасні норми і методики розрахунку аеродинамічних параметрів. Перші два ступеня мають повітряне конвективно-плівкове охолодження лопаток.

Ротор двигуна складається з окремих кутих дисків, з'єднаних зварюванням між собою. Відрізняється високою жорсткістю та надійністю у роботі, дає можливість заміни комплекту лопаток і повторного балансування на місці експлуатації без відправлення на завод-виробник. Використано дві опори. Підшипники обох опор винесені за межі гарячої частини двигуна. Доступ до підшипників можливий без розкриття корпусу ГТД.

Відбирання потужності здійснюється з боку компресора. У модифікації, призначеної для виробництва струму частотою 50 Гц, між ГТД і генератором додатково встановлюється високошвидкісний редуктор з передаточним числом 1,2, який знижує частоту обертання з 3600 до 3000 об/хв. Питомі зусилля в зубчастій передачі та переданий крутний момент аналогічні характеристикам редуктора двигуна GT8C.

Редуктор цілком відповідає загальноприйнятим нормам проектування, конструювання і стандартам безпеки. Колова швидкість на полюсній лінії зубчастої передачі – менше 150 м/с. Шевронний тип передачі виключає появу осьових зусиль.

Зовнішні корпуси двигуна для спрощення збирання і технічного обслуговування виконані з горизонтальним розніманням. Корпус гарячої частини має роздільні охолоджувані порожнини для оптимізації розподілу охолодного повітря. Осьова система випуску відпрацьованих газів забезпечує підвищений ККД агрегату завдяки рівномірному розподілу параметрів потоку за перетином і низькій втраті тиску в каналі. Відрізняється простотою монтажу і можливістю прямого підключення котла-утилізатора. Для інспекції системи випуску і робочих лопаток останнього ступеня турбіни передбачений люк-лаз.

Запуск двигуна здійснюється за допомогою генератора, який використовується як пусковий двигун (як синхронний електродвигун з регульованою частотою обертання). Існує можливість вибору між швидким та нормальним пусками. Для гарантії надійності є система самозахисту. Час виходу з нерухомого стану на режим синхронізації становить 6 хв.

Підхід компанії "ALSTOM S.A." до вирішення питань технічного обслуговування GT11N2 обґрунтований величезним досвідом, отриманим у процесі експлуатації попередньої моделі ГТД – GT11N. У результаті GT11N2 вимагає меншого обсягу техобслуговування порівняно з будь-яким агрегатом аналогічної потужності. Операції з обслуговування і ремонту – від заміни комплекту лопаток до повторного балансування – виконуються на місці монтажу (що характерно для всіх ГТД цієї фірми).

На базі GT11N2 розроблені **парогазові установки KA11N2-1, KA11N2-2 та KA11N2-3**. Сьогодні користується попитом на ринку газотурбінної техніки лише перша з них.

Установка KA11N2-1 являє собою апробоване рішення з гнучким використанням палива. Її конструкція відповідає всім вимогам до електростанцій,

що генерують струм із частотою 50 і 60 Гц. Дана ПГУ відрізняється високою надійністю й експлуатаційною готовністю. Конструкція KA11N2-1 забезпечує можливість її будівництва і пуску в експлуатацію в гранично короткий термін. Компактне й оптимізоване з точки зору технічного обслуговування і ремонту компонування забезпечує низьку вартість її експлуатації власниками.

Установка виконана за одновальною схемою, характерною рисою якої є розміщення ГТД і парової турбіни в одну лінію зі спільним валом, що приводить у дію один спільний генератор. В основі концепції енергетичного блока з одним валом лежить така схема розташування встаткування: газотурбінний двигун – генератор – самоперемикальна й самосинхронізована муфта – парова турбіна. Муфта забезпечує можливість цілком незалежної роботи ГТД. Перевагами такої схеми є: порівняно невеликий зайнятий простір і висота будівлі; короткі терміни будівництва; висока експлуатаційна гнучкість; незалежний запуск ГТД; висока оперативна готовність до виробництва електроенергії.

Одноциліндрова однопотокова парова турбіна, що входить до складу ПГУ, використовує одну випускну лінію. Осьовий випуск пари зменшує втрати тиску і скорочує обсяг будівельних робіт. Гнучка несуча опора спрощує конструкцію корпусу і кріплень. Монтажна площадка, необхідна при установці великих парових турбін з кількома валами, не потрібна. Початкові параметри пари для турбіни становлять: тиск – 7,0 Мпа і температура – 783 К. Збирання модуля парової турбіни для зменшення часу монтажних робіт на станції виконується попередньо.

В установках з кількома двигунами (наприклад, KA11N2-2 чи KA11N2-3) одновальні енергоблоки розміщуються поряд один з одним у вигляді компактної конструкції, встановлюваної на підлозі. До складу цієї конструкції входить зручна виносна площадка, яка забезпечує легкий і швидкий доступ для технічного обслуговування та ремонту. Кожен енергоблок установлюється на окремому фундаменті разом з відповідним допоміжним устаткуванням.

Технічні характеристики ПГУ на основі двигунів GT11N та GT11N2 наведені у табл. 2.3.3. Установки розроблені з утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари.

Таблиця 2.3.3. Характеристики парогазових установок типу KA11N

Параметри	KA11N-1	KA11N2-1		KA11N2-2		KA11N2-3
Потужність, МВт:						
на клеммах генератора	125	168	166	348	345	504
ГТД	81,8	114,3	113,3	237,0	234,7	342,9
паротурбінної частини	46,1	57,1	56,1	118,4	117,3	171,3
ККД на клеммах генератора, %	50,0	50,5	50,3	51,3	50,8	
Частота струму, Гц	60		50	60	50	60

Двигун GT13E2

Останнім і найбільш потужним представником сімейства двигунів GT13, яке має значний послужний список досягнень з надійності й ефективності, виробництва компанії "ALSTOM S.A." є GT13E2 (рис. 2.3.5). На цей час у світі експлуатується більше 200 ГТД цього сімейства. При цьому даний двигун має загальний наробіток більше 2,5 млн год. Виняткова надійність (коефіцієнт надійності становить 98 %, коефіцієнт готовності – 94 %) робить його ідеальним для генерування електроенергії з точки зору безперебійності енергопостачання і зниження собівартості кіловат-години.

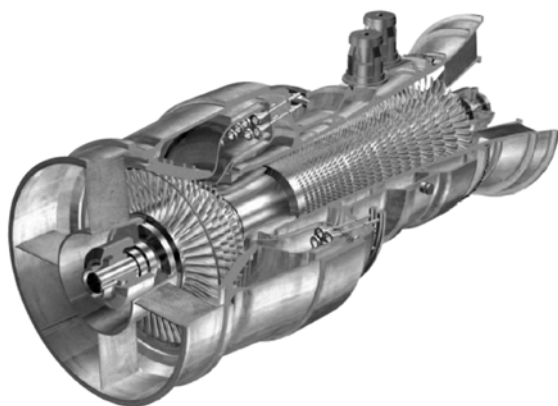


Рис. 2.3.5. Двигун GT13E2

Двигун виготовлений за перевіреною технологією та оптимізований для широкого кола застосувань. При необхідності може поставлятися у складі електростанцій "під ключ", які комплектуються встаткуванням для експлуатації та технічного обслуговування з наданням послуг з фінансових розрахунків і проектування. Застосування GT13E2 гарантує ефективну роботу електро-

станції та позитивну динаміку доходів. На базі даного двигуна ККД установок з комбінованим циклом перевищує 53 %.

Двигун характеризується низькими експлуатаційними витратами. Великий досвід експлуатації сімейства GT13 дозволив розробити конструкцію GT13E2 таким чином, щоб мінімізувати обсяги робіт з техобслуговування. Перевірені компоненти, надійна конструкція, спрощене компонування забезпечують швидкість виконання операцій і зводять до мінімуму час планових та непланових простоїв. На проведення інспекцій категорій "А" і "В" та візуальних перевірок потрібно всього 2...3 дня, включаючи період охолодження. Інспекції категорії "С"* більш тривалі та вимагають розкриття корпусу двигуна для виконання профілактичного ремонту й усунення несправностей. Корпус GT13E2 має горизонтальне рознімання, яке полегшує доступ до основних вузлів і дає можливість піднімати його верхню частину під час капітального ремонту.

Унікальна технологія EV-паливників** дозволяє двигуну працювати в умовах

* Інспекції категорії "А" проводяться після 6, 18, 30, 42 тис. год роботи, категорії "В" – після 12 і 36 тис. год, категорії "С" – після 24 і 48 тис. год.

** Камера згоряння двигуна GT13E2 була першою кільцевою камерою згоряння науково-виробничого центру в м. Баден, оснащеною низькоемісійними паливниками типу "EV" ("Environmental Vortex").

жорстких місцевих екологічних стандартів. Порівняно з іншими ГТД цього класу потужності, GT13E2 має більш низькі викиди шкідливих речовин. При роботі на природному газі гарантовані рівні викидів NO_x (сухе заглушення) становлять 25 ppm, при роботі на рідкому паливі (з упорскуванням води) – 42 ppm.

Передбачено два основних експлуатаційних режими роботи – режим "М", оптимізований за ефективністю, і режим "MXL", оптимізований за життєвим циклом. При режимі "MXL" можливо довести ресурс ГТД до капітального ремонту до 36000 год.

Двигуни сімейства GT13 виробляються з 1973 р., модифікація GT13D2 – з 1983 р., GT13E – з 1985 р., GT13E2 – з 1993 р. Порівняно з попередньою модифікацією (GT13E) збільшення параметрів двигуна GT13E2 забезпечене підвищенням початкової температури газу і поліпшенням показників ряду елементів без істотної їхньої зміни. Єдиним виключенням є відмова від індивідуальної камери згоряння і застосування замість неї кільцевої камери. Основні технічні характеристики ГТД становлять: номінальна потужність – 175,7 МВт, ККД – 37,1 %, витрата робочого тіла – 537 кг/с, міра підвищення тиску – 15,4, температура газу за ГТД – 810 К, частота обертання ротора – 3000 об/хв, маса – 339 т, габарити – 10,8×6,4×5,4 м.

Двигун виконаний за одновальною схемою. Конструкція 21-ступінчастого осьового компресора забезпечує низьке навантаження на лопатки, високий запас стійкості проти помпажу, високі надійність і ККД. Поворотний вхідний напрямний апарат забезпечує ефективне регулювання повітряного потоку і, таким чином, збільшує корисний діапазон роботи агрегату. Число відборів/перепусків повітря – 3, число клапанів відбору/перепуску – 4.

Камера згоряння – кільцева, оснащена 72-ма високоефективними пальниками типу "EV". Відрізняється рівномірним розподілом температури за колом (завдяки кільцеподібній формі факела) і низьким рівнем шкідливих викидів.

Турбінна частина виконана 5-ступінчастою. Застосована ефективна система охолодження трьох перших ступенів, яка не використовує зовнішні джерела охолодження. Охолодне повітря для робочих лопаток відбирається від останнього ступеня компресора і перед подачею попередньо закручується за допомогою невеликої прямої форсунки. Охолодне повітря для перших двох рядів соплових лопаток турбіни відбирається з вентиляційної камери корпусу.

Зварна конструкція ротора, що не потребує технічного обслуговування, є типовою для всіх ГТД та парових турбін науково-виробничого центру в м. Баден і Маннгейм. У стандартному роторі використані кути диски, зварені між собою. Монолітна конструкція забезпечує високу жорсткість, достатню для використання лише двох опор, та роботу без вібрацій, що гарантує високу надійність і безаварійність експлуатації. Підшипники опор двигуна винесені за межі його гарячої частини. Доступ до них не вимагає розкриття корпусу. Відведення потужності здійснюється з боку компресорної частини ГТД.

Використовується осьова система газовипуску, яка сприяє підвищенню ККД агрегату завдяки рівномірному розподілу параметрів потоку на виході та малій втраті тиску в каналі. Випускний пристрій відрізняється простотою монтажу і дає можливість прямого підключення котла-утилізатора. Для інспекції цієї системи і лопаток останнього ступеня турбіни передбачена наявність люка-лазу.

Комплектація енергетичного ГТА на базі GT13E2 містить у собі крім самого двигуна також повітроприймний пристрій, газовипускний дифузор, паливний контрольний блок, блок допоміжних механізмів, систему керування та контролю ГТД, електрогенератор, допоміжні системи генератора (збудник струму, системи керування і захисту тощо).

Використовуються дво полюсні генератори трифазного струму з двоконтурною системою охолодження типу "TEWAC" ("Total Enclosed Water to Air Cooled"), в якій охолодне повітря циркулює за замкнутим контуром, у свою чергу охолоджуючись водою (на вибір замовника – повітрям) у теплообміннику, розміщеному на рамі генератора. Подавання охолодного повітря є роздільним для статора і ротора генератора.

Стандартизована модульна система керування і моніторингу типу "EGATROL" здійснює постійний контроль температури, вібрації, швидкості обертання ротора, частоти генерованого струму; виконує цілком автоматизований пуск й зупинку двигуна; здійснює захист ГТД.

Перший агрегат із GT13E2 був введений у дію на тепловій електростанції поблизу Токіо (Японія) у серпні 1993 р. На початок 2006 р. було продано близько 90 таких ГТД*. Наробіток деяких двигунів на газоподібному паливі перевищив 65 тис. год, на рідкому – 32 тис. год.

На базі газотурбінного двигуна GT13E2 розроблені **парогазові установки KA13E2-1, KA13E2-2 та KA13E2-3** (табл. 2.3.4), які виконані з утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегріву пари.

Таблиця 2.3.4. Характеристики парогазових установок типу KA13E2

Параметри	KA13E2-1	KA13E2-2	KA13E2-3
Потужність, МВт:			
на клеммах генератора	240	495	743
ГТД	163,3	336,8	505,3
паротурбінної частини	81,6	168,3	252,5
ККД на клеммах генератора, %	52,9	53,1	

Двигуни GT24 та GT26

З 1993 р. "ALSTOM S.A." веде розробку та виробництво двох геометрично подібних високоефективних газотурбінних двигунів: **GT24** електричною потужністю 180 МВт для ринку електростанцій із частотою струму 60 Гц

* Двигунів попередньої модифікації GT13E було продано 26 од.

і **GT26** потужністю 260 МВт для електростанцій із частотою струму 50 Гц (рис. 2.3.6). Відмітною їхньою особливістю є те, що в них для підвищення питомої потужності та ККД застосоване проміжне підігрівання робочого тіла в додатковій камері згоряння.

На відміну від агрегатів простої теплової схеми це підвищення не супроводжувалося збільшенням температури газів за камерою згоряння, а отже, ускладненням системи охолодження проточної частини турбіни і зростанням емісії оксидів азоту. Порівняно з двигунами простої схеми аналогічних розмірів вихідна потужність GT24 та GT26 на 60 % більша. Більш низька темпе-

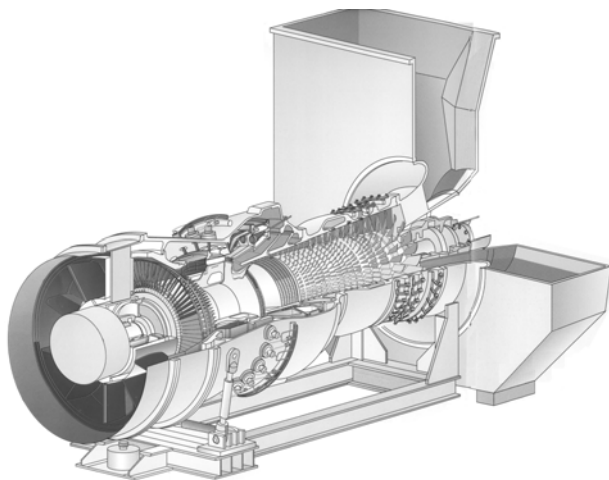


Рис. 2.3.6. Двигун GT24/GT26

ратура та рівномірний її розподіл за камерами згоряння запобігають появі ділянок місцевого перегріву, що продовжує термін служби комплектів лопаток проточної частини турбіни і ГТД у цілому.

Низькі показники викидів шкідливих речовин двигунів забезпечуються поєднанням відповідних термодинамічних характеристик, технології спалювання й особливостей конструкції. Послідовне спалювання палива, на думку компанії "ALSTOM S.A.", на сьогодні є найбільш інноваційною технологією для створення низькоемісійних високопродуктивних ГТА.

Завдяки конструкції, що забезпечує високу питому потужність, знижуються вимоги до характеристик утилізаційного контуру і зменшуються капітальні витрати. Питома витрата палива в установках комбінованого циклу, створених на базі GT24 та GT26, на 10 % нижче порівняно з ПГУ, які оснащені двигунами простої схеми. Коефіцієнт внутрішньої окупності капіталовкладень вище на 65 %.

Наявність індивідуального (автономного) керування камерами згоряння дозволяє енергоустановкам комбінованого циклу забезпечувати високе значення ККД у всьому діапазоні робочих навантажень. При 50%-му навантаженні їхня ефективність приблизно на 15 % вище порівняно з аналогічними ПГУ на базі двигунів простої схеми.

Конструкція GT24 і GT26 дозволяє здійснювати інспекції технічного обслуговування з мінімальним простоєм. На інспекції категорій "А" і "В", що являють собою візуальні огляди, потрібно всього 2...3 днів, включаючи час

охолодження ГТД. Інспекції категорії "С" більш тривалі та вимагають розкриття корпусу двигуна. Оскільки корпуси машин GT24 та GT26 мають горизонтальне рознімання, то при підйомі верхньої кришки забезпечується швидкий і легкий доступ до їх проточної частини, що є особливо цінним також під час капітального ремонту. Основні технічні характеристики двигунів наведені нижче:

	GT24	GT26
Номінальна потужність, МВт	191,5	286,6
ККД, %	37,6	39,0
Витрата робочого тіла, кг/с	445	632
Міра підвищення тиску		32,0
Температура газу, К:		
початкова		1528
за ГТД	885	888
Частота обертання ротора, об/хв	3600	3000
Маса, т	230	370
Габарити, м	10,7×4,0×4,7	12,3×5,0×5,5

Двигуни GT24 та GT26 виконані одновальними. Результатом подальшого розвитку технології проектування і виготовлення компресорів фірми "ALSTOM S.A." став 22-ступінчастий осьовий компресор цих ГТД (спроектований на базі компресора двигуна GT11N2 додаванням восьми ступенів). Усі ступені – дозвукові, реактивні. Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших двох ступенів виконані поворотними. Їхнім регулюванням досягається зниження витрати повітря до 60 % від номінального значення, що забезпечує при часткових навантаженнях двигуна збереження високої економічності та мінімальну концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Число відборів і перепусків повітря – 4, число клапанів відбору/перепуску – 3.

Робочі та напрямні лопатки компресора виготовляються з високхромистих сталей А-565 і А-705, які не потребують покриття для захисту перших ступенів від корозії. Для 16-22-го ступенів застосований сплав А-477. У декількох ступенях (порівняно з прототипом) використані нові профілі.

Двигуни оснащуються двома камерами згоряння (обидві кільцевого типу) (рис. 2.3.7). Перша з них (у ній спалюється приблизно 2/3 усього палива) – з 20-ма пальниками типу "EV" ("Environmental Vortex"), друга – з 24-ма пальниками типу "SEV" ("Sequential Environmental Vortex"). При запуску початкове займання палива в основній камері здійснюється двома пропановими запальниками. У додатковій камері згоряння паливо самозаймається, змішуючись із гарячими газами.

Поділ горіння на дві стадії та використання в обох камерах пальників з попереднім змішанням, які працюють на збідненій паливоповітряній суміші, веде до зниження температури в зоні горіння і зменшення утворення оксидів азоту. У камері згоряння проміжного підігрівання вони практично не утворюються. У результаті при роботі на газоподібному паливі концентрація NO_x

у відпрацьованих газах не перевищує 25 ppm, при роботі на важких сортах рідкого палива – 42 ppm.

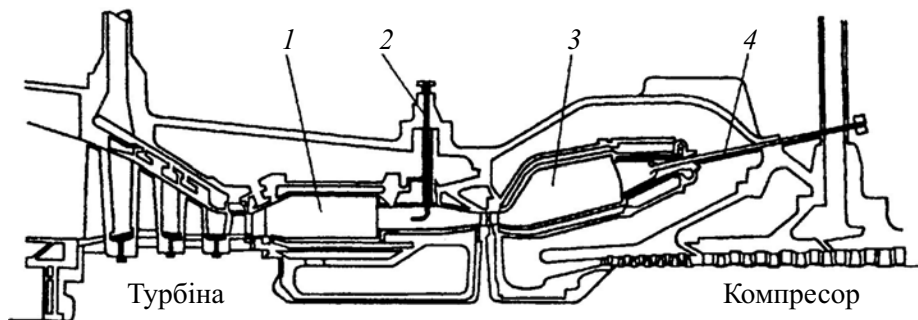


Рис. 2.3.7. Конструктивна схема двигуна GT24/GT26:

1 – КЗ проміжного підігрівання; 2, 4 – підведення палива відповідно до КЗ проміжного підігрівання та основної КЗ; 3 – основна КЗ

Внутрішні та зовнішні стінки жарових труб обох камер згоряння утворені з двослойних термоеластичних сегментів, виготовлених зі сплаву "Hastelloy". Охолодження їх організоване так, що все повітря проходить потім через зону горіння. Дифузор і зона попереднього змішання камери проміжного підігрівання виконані із загороджувальним охолодженням.

Ротор турбіни має п'ять ступенів (рис. 2.3.8). Камера згоряння проміжного підігрівання розташована після першого з них. Облопачування 1-го ступеня – активне, конструкція ротора – дискова. Інші чотири ступеня виконані реактивними, з барабанною конструкцією ротора. Лопатки перших чотирьох ступенів турбіни охолоджуються повітрям.

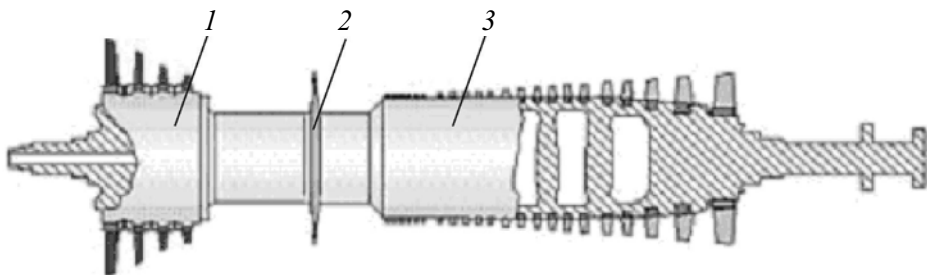


Рис. 2.3.8. Роторна частина двигуна GT24/GT26:

1, 3 – ротори турбіни та компресора відповідно; 2 – диск 1-го ступеня турбіни

Усі турбінні лопатки – литі. Для охолодження соплових лопаток 1-го ступеня, які виготовлені зі сплаву MAR-M247C, використовується комбінована конвективно-плівкова система з душенням. Для неї є характерною невелика витрата повітря. Розрахункова температура поверхні лопаток не перевищує 1170 К. Соплові лопатки інших ступенів виготовлені зі сплаву IN738LC. Вони охолоджуються за допомогою більш простих систем з одним дефлектором

і душованням. Робочі лопатки перших ступенів виготовлені зі сплавів IN738LC або CM247LC, наступних – з MAR-M247C. Їхнє охолодження здійснюється конвективно за допомогою повітря, яке рухається в петльових каналах усередині лопаток.

Робочі лопатки перших двох ступенів виконані без бандажу, останні ступені оббандажені. Для запобігання високотемпературної корозії соплові та робочі лопатки захищені покриттям типу SV20 (Ni–Cr–Al).

Відбори повітря на охолодження турбіни, камер згоряння і ротора здійснюються із чотирьох різних місць проточної частини: з 5, 11 та 16-го ступенів компресора та на виході з нього. Температура частини повітря, яка використовується для охолодження ротора, знижується у зовнішньому теплообміннику.

Корпус компресора відлитий з модифікованого чавуну, корпус турбіни – зі сталі А-536. Усі корпуси виконані з горизонтальними розніманнями. Вихідний газохід виготовлений з вуглецевої сталі, всередині якого є аустенітне обшивання. Двигун розташований на двох опорах, кожна з яких складається з двох частин. Фікс-пункт розміщений на опорі компресора. Опора турбіни має бічні напрямні, за якими можливе переміщення корпусу внаслідок термічних розширень.

У конструкції ГТД використовується стандартний ротор підприємства, зварений з окремих кутих дисків (без центрального наскрізного отвору) і кілець. Мінімальна його довжина дозволяє використовувати всього дві підшипникові опори*. Висока жорсткість ротора зменшує вплив згинаючих сил та гарантує відсутність вібрацій, а також надійність і безпеку експлуатації. Як матеріал для дисків використовується феритна сталь із 12%-м вмістом хрому (також має у своєму складі нікель, молібден, вольфрам).

Привід електрогенератора здійснюється з боку компресора, випуск газів з турбіни – осьовий. Розкручування вала ГТД при запуску здійснюється власним електрогенератором через статичний перетворювач частоти. Двигуни можуть бути виведені на номінальні оберти та синхронізовані за 6 хв, хоча в більшості випадків для експлуатації вимагаються більш повільні запуск і навантаження. При запуску поворотні лопатки прикриті. Паливо займається у всіх пальниках основної камери згоряння. Воно підводиться за двома системами паливопроводів спочатку до пускових сопел, потім до отворів, розташованих уздовж щілини для підведення сумішоутворюючого повітря.

Після розкручування ротора двигуна, його включення у мережу та підвищення навантаження до 25...40 % від номінального, при якому досягається температура самозаймання палива в камері згоряння додаткового підігрівання, подається паливо і камера включається у роботу. До цього моменту температура

* Опори виконані з еліптичною розточкою. Відстань між їхніми осями в двигуні GT24 становить 8235 мм. Упорний підшипник розміщений з боку входу повітря в двигун.

газів за основною камерою згоряння підвищується до номінального значення. Подальше збільшення навантаження здійснюється шляхом підвищення витрати палива в обох камерах згоряння і відкриття напрямних апаратів перших ступенів компресора. Номінальна температура за додатковою камерою досягається при номінальному навантаженні.

Перший двигун GT24 був установлений на електростанції "Gilbert Station" (штат Нью-Джерсі, США) у 1996 р. На початок 2006 р. було продано 51 такий двигун: з них 27 – до США, 9 – до Мексики, 8 – до Кореї, 4 – до Тайваню, 2 – до Канади, 1 – до Бразилії. З проданих двигунів 45 одиниць увійшли до складу парогазових установок, 2 – до складу когенераційних установок.

Перший двигун GT26 установлений на випробному стенді компанії в м. Бірр (Швейцарія) у 1996 р. На початок 2006 р. продано 26 двигунів: з них 6 – до Великобританії, 5 – до Іспанії, 3 – до Таїланду, 3 – до Сінгапуру, 2 – до Аргентини. З проданих ГТД 21 одиниця увійшла до складу парогазових установок, 1 – до складу когенераційних установок.

Необхідно відзначити, що не до кінця відпрацьована конструкція двигунів стала причиною їхнього масового виходу з ладу в перші роки експлуатації. Штрафні санкції, які послідували за цим, спричинили критичне становище "ALSTOM S.A." у 2003 р. У зв'язку із цим, витрати компанії склали в 2002/2003 звітному році 1,055 млрд євро, у 2003/2004 – 766 млн євро, у 2004/2005 – 366 млн євро.

На базі газотурбінних двигунів GT24 та GT26 спеціально для ринку електроенергії частотою 60 і 50 Гц створені **парогазові установки KA24-1 ICS™, KA24-2, KA26-1 та KA26-2***, що розроблені з утилізаційними контурами двох (KA24-1 ICS™, KA24-2) і трьох (KA26-1, KA26-2) тисків та проміжним перегрівом пари.

Установки відповідають усім існуючим у цей час вимогам щодо експлуатаційної гнучкості та низької собівартості виробництва електроенергії. Завдяки їхній простій конструкції забезпечується високі експлуатаційні готовність і надійність та ефективність при неповному навантаженні. Крім того, компактна конструкція забезпечує легкий доступ до їхніх основних вузлів для технічного обслуговування і ремонту.

Установки **KA24-1 ICS™** та **KA26-1** мають одновальні енергетичні блоки. Самосинхронізована муфта забезпечує можливість незалежної роботи ГТД. Кожен енергоблок установлюється на єдиному фундаменті разом з відповідним допоміжним устаткуванням. Двоциліндрова парова турбіна виробництва компанії "ALSTOM S.A." використовує одну випускну лінію. Монтажна площадка, що необхідна для встановлення великих парових турбін на станціях з кількома валами, в данному випадку не потрібна.

Ротор однопотокового циліндра високого тиску має частоту обертання 9000

* "ICS" – "Innovative Combined Solution".

(КА24-1) або 7100 об/хв (КА26-1). Для КА24-1 передача крутного моменту до загального вала парової турбіни здійснюється за допомогою редуктора. Циліндр низького тиску з проміжним підведенням перегрітої пари працює на номінальній частоті обертання (3600 або 3000 об/хв). Використовується бічне відведення відпрацьованої пари у багатопучковий конденсатор типу "DM", розрахований на можливість повного її байпасування.

Котел-утилізатор має розраховану на високий тиск однотрубну конструкцію. Відсутність товстостінного барабана високого тиску обумовлює його високу теплову гнучкість. Котел характеризується відсутністю охолодження пари і виміру витрати пари. Барабан низького тиску виконаний тонкостінним і відрізняється стійкістю до впливу низьких температур.

Генератор електричного струму має водневе охолодження елементів статора і ротора та відрізняється збереженням високого ККД на всіх режимах роботи.

В установках **КА24-2** та **КА26-2** кожен газотурбінний двигун приводить в обертання свій генератор струму. Пара, вироблювана в котлах-утилізаторах, направляється в спільну трициліндрову парову турбіну, яка служить приводом третього електрогенератора.

Керування установками здійснюється за допомогою мікропроцесорної системи типу "Advant Power", яка містить у собі: систему керування роботою газотурбінного двигуна "EGATROL"; систему керування роботою парової турбіни "TURBOTROL"; систему керування котла-утилізатора з проміжним підігріванням пари, пароводяним циклом і балансуванням станції; контролер "Advant"; прикладні програми моніторингу робочих характеристик; інтерфейс "людина-машина" та центральний пульт керування. Технічні характеристики установок наведені в табл. 2.3.5.

Таблиця 2.3.5. Характеристики парогазових установок КА24 та КА26

Параметри	КА24-1 ICS™	КА24-2	КА26-1	КА26-2
Потужність, МВт:				
на клеммах генератора	276,7	553,4	410,3	820,6
ГТД	191,5	383,0	286,6	573,2
паротурбінної частини	90,8	181,7	132,1	264,1
ККД на клеммах генератора, %	56,4		57,8	
Частота струму, Гц	60		50	

2.4. "MAN Turbo AG" (Німеччина)

	<i>Повне найменування:</i> "MAN Turbomaschinen Aktiengesellschaft". <i>Штаб-квартира:</i> м. Оберхаузен, Північний Рейн-Вестфален, Німеччина. <i>Чисельність працюючих:</i> 2476 чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

Компанія **"MAN Turbomaschinen AG"** є складовою частиною фінансово-промислового концерну "MAN AG". Утворилася в травні 2001 р. унаслідок злиття придбаного в грудні 2000 р. у компанії "Sulzer AG" (Швейцарія) підприємства "Sulzer Turbo AG" з підприємством "MAN Turbomaschinen AG GHH Borsig".

На момент злиття "MAN Turbomaschinen AG GHH Borsig" мала близько 1700 співробітників і річний обсяг продажів у розмірі 360 млн євро (за підсумками 1999 р.). У його склад входило два основних науково-виробничих центри в мм. Оберхаузен (1300 чол.) і Берлін (400 чол.). Компанія "Sulzer Turbo AG" нараховувала близько 1000 співробітників, з яких 600 працювали на підприємстві в Цюриху (Швейцарія), 200 – на підприємстві в м. Чіо (Італія). Існували філії в мм. Равенсбург (Німеччина), Йоганнесбург (ПАР), Фарнборо (Великобританія), Х'юстон (США) та Ман (Франція). Річний обсяг продажів "Sulzer Turbo AG" становив близько 200 млн євро.

* * *

Історія підприємства **"MAN Turbomaschinen AG GHH BORSIG"** розпочата у 1782 р., коли в Стеркграді (нині район Оберхаузена) були засновані механічні майстерні **"Gute Hoffnung"** ("Добра надія"), які стали незабаром першим німецьким виробником рейкових доріг. У 1808 р. відбувається їхнє злиття з розташованими у тому ж місті майстернями "St.-Antony-Hutte" і "Neue Essen" в єдину компанію "Huttengewerkschaft und Handlung Jacobi, Haniel & Huysen".

У 1814 р. підприємство організовує виробництво парових машин; у 1839 р. виготовляється перший локомотив. У 1873 р. компанія змінює свою назву на "Gute-Hoffnungs-Hutte (**GHH**) Actienverein für Bergbau und Huttenbetrieb".

На початку ХХ ст. на підприємстві починає розвиватися турбобудування. У 1900 р. "GHH" здобуває ліцензію на виробництво парових турбін конструкції Ч. Парсонса й у 1904 р. випускає свою першу турбіну*.

* До 2004 р. кількість виготовлених парових турбін перевищила 1200 од.

Для свого розширення компанія вдало використала важкі наслідки для німецької економіки світової війни 1914–1918 рр. У цей період значна кількість підприємств країни втратила свої закордонні представництва, патентні права, змущена була істотно скоротити виробництво.

Видатна подія відбулася у 1921 р., коли "GHH" установила фінансовий контроль над корпорацією "M.A.N. AG". У 1923–1925 рр. у власність "GHH" переходять також компанії "Mechanische Werkstatt von Johann Renk", "Deggendorfer Werft und Eisenbau GmbH" і голландська компанія "Ferrostaal" (м. Хар).

Негативно позначилися на "GHH" наслідки Другої Світової війни. Повністю було зруйноване закордонне виробництво. Війська союзників установили контроль над усіма підприємствами корпорації. У 1950 р. "GHH" була реорганізована, втратила більшість своїх підрозділів, її назва змінилася на "**Gutehoffnungshutte Actienverein**" і головною сферою діяльності стало сталеливарне виробництво.

У 1954 р. фірма виготовляє свій перший гвинтовий компресор.

У 60–70-х роках "GHH" за ліцензією швейцарської компанії "Escher Wyss AG" випускає кілька ГТА потужністю 6...17 МВт та ККД на фланці генератора 28...30 %, які працювали за закритим термодинамічним циклом і були призначені головним чином для роботи на низькосортних видах палива (вугілля, рудниковий газ).

У 1986 р. компанія ввійшла на правах структурної одиниці до складу корпорації "MAN AG". Через два роки на заводі в Оберхаузені починається виробництво газотурбінних двигунів серії "THM".

У 1996 р. "GHH" поєднується з придбаною концерном "MAN AG" компанією "Deutsche Babcock Borsig AG" з Берліна, в результаті чого засновується нове підприємство "**GHH Borsig Turbomaschinen GmbH**", яке пізніше (у 1998 р.) перейменовується на "**MAN Turbomaschinen AG GHH Borsig**".

Компанія "**Borsig**" була одним з найстаріших промислових підприємств Німеччини. Заснована Йоганном Борзігом у 1837 р. як сталеливарна і машинобудівна фірма та спочатку спеціалізувалася головним чином на виробництві паровозів (до 1875 р. їх було випущено більше 3500 од.). У 1857 р. випускає свій перший компресор, що визначило основну її спеціалізацію – компресоробудування. Після Другої Світової війни територіально ввійшла до складу Німецької Демократичної Республіки. Видатною подією в історії підприємства "Bergman Borsig" стала в 60-х роках спільна з машинобудівним заводом у м. Гьорлітц та науково-дослідним інститутом у Дрездені участь у створенні експериментальної газотурбінної установки G9 потужністю 25 МВт.

* * *

Підприємство "**Sulzer Turbo AG**" (м. Цюрих) спеціалізувалося на випуску турбокомпресорів різноманітного призначення, переважно для нафто- і газодобувної промисловості, хімічних виробництв та повітроочищення;

також займало лідируючу позицію в галузі виробництва екологічно чистих нагнітачів газу на магнітних опорах. Підприємство мало у своєму розпорядженні розгалужену мережу сервісних центрів.

Корпорація "Sulzer AG", складовою частиною якої була "Sulzer Turbo AG", заснована Якобом Зульцером-Неффертом у 1834 р. під назвою "Sulzer Brothers Foundry" у м. Вінтертур (Швейцарія). Спочатку спеціалізувалася на сталеливарному виробництві, а також на виготовленні насосів та встаткування для текстильної промисловості. З 1860 р. починає виробництво парових машин, у т. ч. і для суднового застосування.

Співробітництво з Р. Дизелем привело у 1898 р. до створення першого на підприємстві дизельного двигуна, виробництво якого згодом домінувало в асортименті виготовлюваної продукції. У 1906 р. підприємство випускало вже двигуни 12 типорозмірів потужністю 11...440 кВт.

У 1905 р. "Sulzer AG" випускає свій перший турбокомпресор, у 1915 р. – перший ізотермічний компресор із вбудованим проміжним охолоджувачем. До 1914 р. компанія перетворилася у корпорацію із чисельністю більше 3000 чол., яка мала філії в Італії, Німеччині, Франції, Росії, Японії, Англії та інших країнах.

У період після Другої Світової війни у власність "Sulzer AG" переходить компресорне виробництво іншої швейцарської компанії "Brown Boveri Ltd.". Істотний приріст виробництва почався після 1961 р. і був зумовлений різко зрослим попитом у світі на дизельні двигуни великої потужності. У 1963 р. "Sulzer AG" здобуває 53 % акцій компанії "Escher Wyss AG" (Швейцарія) і в 1969 р. установлює над нею повний контроль. У результаті створена нова корпорація "Sulzer Escher Wyss AG" із загальною чисельністю працюючих більше 30000 чол.

Основною спеціалізацією заснованої в 1805 р. у Цюріху компанії "**Escher Wyss AG**" було виробництво різноманітної гідравлічної продукції (гідротурбін, насосів, гвинтів регульованого кроку і т. п.). У другій половині 30-х років XX ст. у компанії починає розвиватися газотурбінне виробництво. Цей розвиток багато в чому пов'язаний з ім'ям провідного інженера "Escher Wyss AG" Курта Келлера, який у 1935 р. разом із професором Федерального інституту технології (м. Цюріх) Якобом Аккеретом запатентував конструкцію газотурбінної установки, що працювала за закритим циклом, а пізніше протягом тривалого часу керував на підприємстві проектами з розробки і створення подібних агрегатів.

Перший експериментальний ГТА закритого циклу, названий за ім'ям його винахідників "АК-Anlage" ("А" – "Ackeret", "К" – "Keller"), був виготовлений компанією у 1939 р. і до 1944 р. пройшов серію випробувань. Агрегат з повітряним робочим тілом потужністю 2 МВт був оснащений одним з перших у світі промислових осьових багатоступінчастих компресорів конструкції "Brown Boveri Ltd.". Він успішно пропрацював на рідкому паливі більше 6000 год; його ККД при випробуваннях становив 31,5 %.

На основі одержаного досвіду та широкого комплексу лабораторних досліджень "Escher Wyss AG" створює агрегат потужністю 12,5 МВт і ККД 34 %, який став базовим для серії ГТА, випущених у 50–60-х рр. Перший з них у 1952 р. був установлений на електростанції Сен-Дені в Парижі (Франція)*.

У 1972 р. почалася експлуатація найбільшого з виготовлених компанією ГТА даного типу потужністю 30 МВт і ККД на клемах генератора 31 %.

Протягом кількох десятиліть "Escher Wyss AG" була провідною компанією у світі з виробництва подібної техніки. Ліцензії на виготовлення ГТА закритого циклу були придбані багатьма підприємствами Німеччини, Франції, США, Японії.

В історії "**Sulzer Escher Wyss AG**" 60–70-і роки позначені плідним співробітництвом з компанією "Brown Boveri Ltd." у галузі створення газотурбінної техніки. У рамках цього співробітництва були розроблені енергетичні (одновальні) та привідні (двовальні) двигуни серій "1", "3" і "7" потужністю 3,9...10,6 МВт та ККД 18,6...27,0 % (за даними на 1978 р.). Шляхом установлення додаткових регенеративних теплообмінників їх ККД можна було довести до 26,6...33,0 %. Привідні ГТД фірми поставлялися разом з компресорним і насосним устаткуванням, виготовленим на цій фірмі.

Наприкінці 70-х років почалося співробітництво компанії з англійським концерном "Rolls-Royce plc". З 1978 р. підприємство серійно виробляло двовальні ГТА типу "PRIMO 12", "PRIMO 14" та "PRIMO 15" потужністю 12,2...14,9 МВт. Для цих агрегатів газогенератори поставлялися компанією "Rolls-Royce plc" і являли собою газогенераторну частину двигунів "Avon 1533", "Avon 1534" та "Avon 1535". Підприємство "Sulzer Escher Wyss AG" виготовляло лише силові турбіни та здійснювало загальне збирання. Дані агрегати мали ККД 27,8...28,4 %.

У 1981 р. компанія почала виробництво двовального газотурбінного двигуна GT10 потужністю 21 МВт і ККД 32,5 %. Вдалим технічним рішенням вважається розроблена для цього двигуна двоступінчаста консольна силова турбіна**.

Нафтові кризи 70-х – початку 80-х років ґрунтовно підірвали становище "Sulzer Escher Wyss AG" на ринку, й у 1984 р. її діяльність уперше за всю історію існування виявилася збитковою. Протягом подальшої реорганізації дизельне виробництво було відокремлене у підприємство "New Sulzer Diesel" (1990 р.), в якому сама корпорація мала лише невеликий пакет акцій. У цей же період остаточно ліквідується газотурбінне виробництво. Права на виготовлення останнього двигуна GT10 були продані шведському підрозділу компанії "ASEA Brown Boveri" в 1988 р. У 1999 р. австрійській компанії

* У СРСР подібним агрегатом потужністю 10 МВт і ККД 28 % у 1963 р. була обладнана Каширська ДРЕС (м. Новокаширськ).

** Див. опис двигуна SGT-600 компанії "Siemens AG".

"VA TECH" продається успадковане від "Escher Wyss AG" гідравлічне виробництво, у т. ч. і завод з виробництва гвинтів регульованого кроку в м. Равенсбург (Німеччина).

У 1990 р. у зв'язку з ліквідацією основного заводу корпорації в м. Вінтертур виробництво компресорної продукції було перенесене на колишній завод "Escher Wyss AG" у Цюриху і на його основі в 1994 р. створене підприємство "Sulzer Turbo AG".

На сьогоднішній день компанія **"MAN Turbo AG"** має чотири науково-виробничих центри в мм. Оберхаузен, Берлін, Цюрих ("MAN Turbomaschinen AG Schweiz") та Чіо ("MAN Turbomacchine S.r.l. De Pretto"). Близько 150 її представництв розміщені по всьому світі. Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції склав 694 млн євро.

Виробництво парових турбін і газотурбінних агрегатів ведеться на заводі в м. Оберхаузен*.

Продукція компанії

На сьогодні основною продукцією компанії "MAN Turbomaschinen AG" є: осьові компресори технологічного призначення продуктивністю 70... ..1250 тис. м³/год з тиском на виході до 2 МПа;

відцентрові компресори продуктивністю до 325 тис. м³/год і тиском до 60 МПа;

відцентрові нагнітачі з вихідним тиском до 100 МПа;

компресори з вбудованим редуктором продуктивністю до 230 тис. м³/год;

ізотермічні одновальні відцентрові компресори з вбудованим охолоджувачем;

гвинтові компресори продуктивністю до 80 тис. м³/год і тиском до 4 МПа;

турбодетандери з максимальними параметрами середовища на вході: 760 °С та 2 МПа;

конденсаційні та протитискові парові турбіни потужністю 5...120 МВт;

системи керування й діагностики ("Turbolog") для турбомашинної продукції**.

У галузі газотурбобудування компанія з 1988 р. виготовляє двигуни серії "ТНМ" потужністю 6...11 МВт – ТНМ 1203А, ТНМ 1304-9, ТНМ 1304-10 і ТНМ 1304-11.

У результаті підписаної угоди з американською компанією "Pratt & Whitney Corp." на основі двигуна FT8 організовано виробництво привідних та енергетичних ГТА потужністю 25 МВт.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається компанією.

* Адреса підприємства: Steinbrinkstrasse 1, 46145 Oberhausen, Germany.

** Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.manturbo.com>, а також на сайті корпорації "MAN AG": <http://www.man-ag.de>.

Двигуни сімейства "ТНМ"

Відмітними рисами промислових газотурбінних двигунів типу ТНМ 1203 і ТНМ 1304 (рис. 2.4.1 та 5Д) є значний ресурс роботи й високий рівень надійності. Модульна конструкція ГТД полегшує їхній монтаж на місці експлуатації та подальше обслуговування. Відносно низька початкова температура газів гарантує тривалий період роботи і збільшені інтервали між інспекційними перевірками.

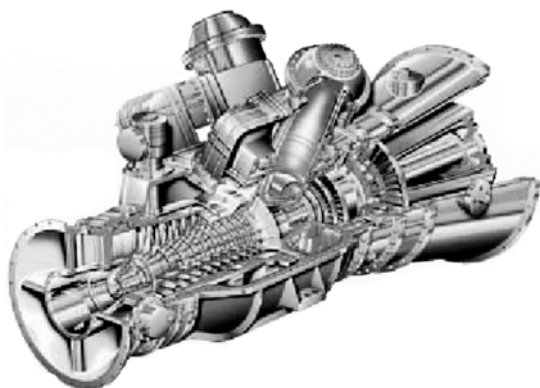


Рис. 2.4.1. Двигун сімейства "ТНМ"

Дані двигуни можуть бути використані для приводу електрогенераторів, компресорів і насосів; також можуть входити до складу електроенергетичних пропульсивних суднових установок типу "CODAG".

Перші двигуни сімейства "ТНМ" були створені наприкінці 60-х років підприємством "Hispano-Marep" – підрозділом французької авіадвигунобудівної компанії "Hispano-Suiza", яка

ввійшла пізніше в концерн "SNECMA". У 1988 р. "MAN Turbo AG" викупив права на виробництво цих ГТД, після чого налагодив їхнє виготовлення на заводі у м. Оберхаузен. Двигуни, що випускаються сьогодні – результат подальшого розвитку ГТД сімейства "ТНМ"*

Технічні характеристики ГТД наведені в табл. 2.4.1. При їхньому розрахунку ККД редуктора приймався рівним 0,985, ККД генератора – 0,975, як паливо розглядався природний газ із теплотою згоряння 50056 кДж/кг.

Таблиця 2.4.1. Характеристики агрегатів на базі двигунів сімейства "ТНМ"

Параметри	Енергетичні				Привідні			
	ТНМ 1203А	ТНМ 1304-9	ТНМ 1304-10	ТНМ 1304-11	ТНМ 1203А	ТНМ 1304-9	ТНМ 1304-10	ТНМ 1304-11
Номінальна потужність, МВт	5,76	8,64	9,32	10,76	6,0	9,0	9,7	11,2
ККД, %	22,5	27,7	28,0	29,8	23,4	28,8	29,2	31,0
Витрата робочого тіла, кг/с	34,7	44,2	44,6	48,4	34,7	44,2	44,6	48,4
Міра підвищення тиску	7,6	10,0		11,3	7,6	10,0		11,3

* Виробляються відповідно з 1979, 1980, 1992 та 1998 рр.

Продовж. табл. 2.4.1

Параметри	Енергетичні				Привідні			
	ТНМ 1203А	ТНМ 1304-9	ТНМ 1304-10	ТНМ 1304-11	ТНМ 1203А	ТНМ 1304-9	ТНМ 1304-10	ТНМ 1304-11
Температура газу, К: початкова за ГТД	1183 773	1248 781 773		1268 778	1183 773	1248 781 773		1268 778
Частота обертання силової турбіни, об/хв	7550	8600			7550	8600		
Маса, т	75	77			32	35		
Довжина, м	15,0	16,0			6,5			
Ширина, м	2,7	2,8		3,8	2,8			
Висота, м	5,0	5,1		6,4	3,6			

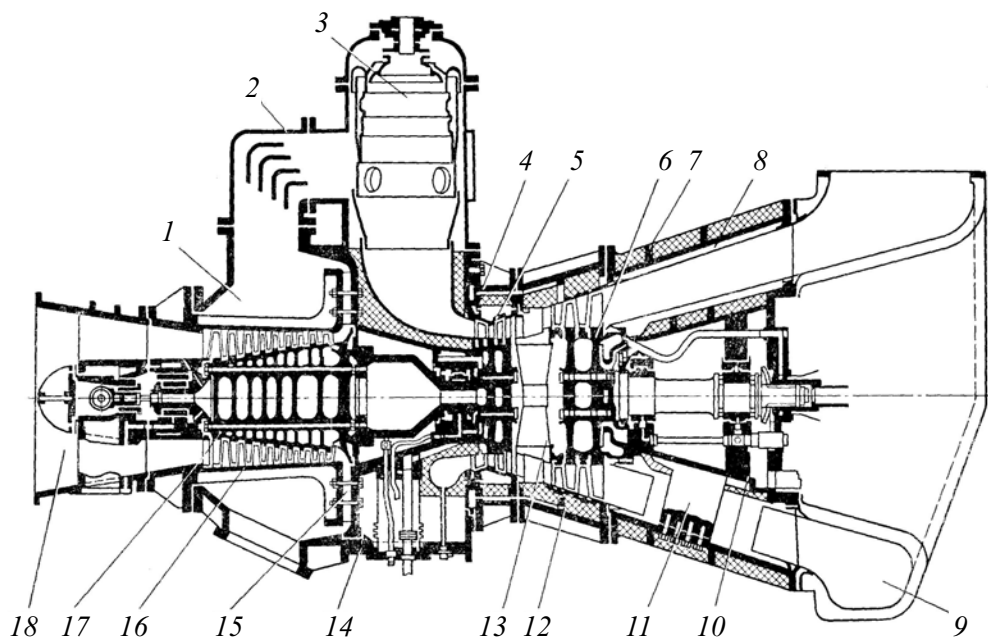
Двигуни "ТНМ" виконуються за двовальною схемою з вільною силовою турбіною. Складаються з трьох основних модулів: передній корпус компресора, газогенератор та силова турбіна (рис. 2.4.2). Передній корпус компресора також містить у собі корпус переднього підшипника і (для ТНМ 1304) регульований вхідний напрямний апарат.

Компресор – осевідцентровий, має у своєму складі 9 (ТНМ 1203) або 10 (ТНМ 1304) осьових ступенів та один відцентровий. Для підвищення корозійної стійкості лопатки компресора покриті компонентом на основі алюмінію. В обох опорах ротора турбокомпресора розташовані підшипники ковзання із самовстановлювальними вкладишами. Упорний підшипник двосторонньої дії входить до складу передньої опори. Турбіна компресора розташована консольно.

Корпус компресора має горизонтальне рознімання. Напрямні лопатки кріпляться в сталевих півкільцях, заведених у пази корпусу. Повітря з відцентрового ступеня через радіальний дифузор подається у повітрозбірну камеру, з якої через патрубки (під кутом 90°) надходить до двох камер згоряння.

Компресорна частина ротора складається з окремих дисків і одного відцентрового колеса. Ці елементи разом з переднім хвостовиком і проміжною частиною ротора стягнуті болтами. Робочі лопатки компресора кріпляться хвостовиками типу "ластівчин хвіст".

Оснащення двигунів двома виносними (індивідуальними) збільшеного об'єму V-подібно розташованими камерами згоряння сприяє досягненню гранично низького рівня концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах. При роботі на газоподібному паливі емісія оксидів азоту й окису вуглецю не перевищує 25 ppm. Відповідно до технології "Dry Low NO_x" ("DLN") паливний газ



1 – повітрязбірна камера; 2 – патрубок; 3 – КЗ; 4 і 5 – корпуси турбіни компресора; 6 – ротор СТ; 7 – зовнішня частина заднього силового корпусу; 8 – дифузор; 9 – вихідний патрубок; 10 – супорт СТ; 11 – ребро; 12 – корпус СТ; 13 – розділова діафрагма; 14 – зовнішній корпус турбокомпресора; 15 – радіальний дифузор; 16 – корпус компресора; 17 – ротор турбокомпресора; 18 – вхідний патрубок компресора

Турбіна компресора виконана двоступінчастою. Її зовнішній корпус жорсткий, зварний, з подовжнім розніманням у вертикальній площині. Усередині корпусу підвішені тонкі кільця із жароміцного матеріалу, які утворюють внутрішній корпус турбіни. Простір між зовнішнім і внутрішнім корпусами заповнений мінеральною ізоляцією.

Робочі лопатки обох ступенів обандажені. Два турбінних диски пов'язані з проміжною частиною ротора турбокомпресора шістьма осьовими болтами.

Силова турбіна – осьова, двоступінчаста, консольного типу. Обидва диски з'єднані з валом болтами. Ротор розміщений на двох опорах ковзання, які мають самовстановлювальні вкладиші. Упорний підшипник розташований з боку відбору потужності. Між турбінами на радіальних обтічниках, що проходять через дифузор, підвішена суцільна розділова діафрагма.

До зовнішнього корпусу силової турбіни на фланці прикріплена вихідна частина корпусу, що складається із зовнішньої конічної частини і супорта, який несе підшипники турбіни. Зовнішня частина і супорт з'єднані чотирма радіальними ребрами, які до супорта приварені, а до зовнішньої частини прикріплені болтами. Супорт виконаний з горизонтальним розніманням, а зовнішня частина – з двома подовжніми розніманнями (у горизонтальній і вертикальній площинах).

У задньому силовому корпусі розміщений тонкостінний дифузор для відведення газу з турбіни у вихідний патрубок. Зовнішня і внутрішня обичайки дифузора з'єднані порожніми обтічниками, всередині яких є радіальні ребра. На кінцях дифузор підвішений до зовнішньої частини і супорта на гнучких компенсаторах. Вихідний патрубок виконаний двостінним. Зовнішня його частина (нероз'ємна) виготовлена з листової нержавіючої сталі. Газ відводиться через тонкостінну внутрішню частину, яка має більш плавну конфігурацію.

Двигун кріпиться на рамі на чотирьох опорах. Дві опори, що розміщені в зоні радіальних ребер силової турбіни, є фікс-пунктом ГТД; дві інші – рухомі, знаходяться в середній частині корпусу турбокомпресора. Рама двигуна зварна, всередині її розташований масляний бак.

Для зменшення витоків крізь радіальний зазор у корпусі над обандаженими робочими лопатками розміщуються стільникові вставки. Кріплення робочих лопаток усіх турбінних ступенів – "ялинкове". Для підвищення корозійної стійкості на поверхню лопаток нанесене хромоалюмінієве покриття. Якщо ГТД експлуатується у тяжких умовах (на морських нафтових платформах і т. п.), для захисту від спільної дії сірки й натрію на поверхню лопаток наносять подвійний захисний шар – з Mo–Cr–Al–Y та Cr–Al.

Двигуни типу ТНМ 1304 мають охолоджувані компресорним повітрям соплові й робочі лопатки 1-го ступеня. У ТНМ 1203 охолоджується лише 1-й ряд соплових лопаток. Капітальний ремонт двигунів здійснюється через 40 та 80 тис. год експлуатації.

Енергетичні модифікації ГТА для зниження частоти обертання вихідного вала додатково оснащуються редуктором. Запуск двигунів може здійснюватися за допомогою турбодетандера, дизельного двигуна або електростартера як через додаткову понижуючу передачу, так і без неї. Антизледеніла система функціонує внаслідок подачі на обігрів вхідного пристрою пари, гарячої води або відпрацьованих газів. Система змащення є спільною для двигуна, редуктора та привідного механізму. Охолодження масла здійснюється головним чином повітрям, рідше – водою.

Кожний із ГТД сімейства "ТНМ" може додатково оснащуватися теплообмінником, який забезпечує регенеративне підігрівання повітря потоком відпрацьованих газів (модифікації ТНМ 1203R та ТНМ 1304R). При майже однаковій потужності питома витрата палива таких агрегатів зменшується на 25...35 %. Газотурбінні агрегати на основі двигунів "ТНМ" комплектуються додатковим устаткуванням, яке має модульне виконання та виготовляється компанією "MAN Turbo AG". Енергетичні ГТА сімейства "ТНМ" можуть застосовуватися як для тривалої експлуатації в базовому режимі та подачі електроенергії у загальну чи місцеву мережу, так і для покриття пікових навантажень та аварійного енергопостачання.

Установлення енергомодуля в спеціальному погодностійкому та акустично захищеному контейнері дозволяє в більшості випадків обійтися без спорудження для нього додаткової будівлі. Розміщення на газовипуску ГТД утилізаційного контуру дає можливість додатково одержувати значну кількість теплової енергії (для ТНМ 1304-11 – близько 22 МВт).

На основі двигунів "ТНМ" можливе також створення парогазових установок шляхом введення до утилізаційного контуру конденсаційної парової турбіни. Для ПГУ на основі ТНМ 1304-11 додаткова кількість генерованої електроенергії становить 4...5 МВт (використовується котел-утилізатор одного тиску без допалювання палива).

Двигуни сімейства "ТНМ" протягом тривалого часу застосовуються на морських нафтових платформах, у складі газоперекачувальних агрегатів і електростанцій, які розташовані у Франції, Німеччині, Алжирі, Аргентині, Болгарії, Мексиці, Нігерії, Росії та США. Їхній сумарний наробіток перевищив 15 млн год. Наробіток моделі ТНМ 1304-11 у 2003 р. досяг 4 млн год, її головного агрегату – 144 тис. год.

До 2004 р. підприємством "MAN Turbo AG" було випущено 165 двигунів сімейства "ТНМ", з них 135 од. – серії "1304".

Агрегати на основі двигуна FT8

Починаючи з 1994 р. на заводі в Оберхаузені ведеться виробництво газотурбінних агрегатів, заснованих на двигуні FT8 американської компанії "Pratt & Whitney Corp."*. Для приводу електрогенераторів "MAN Turbo AG" на основі цього ГТД випускає агрегати типу **"PowerPac"** та **"TwinPac"** потужністю відповідно 25 і 50 МВт (табл. 2.4.2). Частота обертання силової турбіни залежно від частоти генерованого струму (50 або 60 Гц) може становити 3000 чи 3600 об/хв. Енергетичні модифікації двигунів мають відповідні найменування **FT8-30** або **FT8-36**. Напрямок обертання силової турбіни залежно від вимог замовника виконується за і проти годинникової стрілки.

* Див. також опис продукції "Pratt & Whitney Corp.".

Таблиця 2.4.2. Характеристики агрегатів на основі двигуна FT8

Параметри	Модифікації		
	FT8 PowerPac	FT8 TwinPac	FT8 MechPac
Номінальна потужність, МВт	25,5	51,4	26,0
ККД, %	38,1	38,4	38,6
Витрата робочого тіла, кг/с	85	170	85
Міра підвищення тиску	20,2		20,3
Температура газу за ГТД, К	730		
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000/3600		5500
Емісія NO _x (CO), мг/м ³ , не більше	50 (100)		

Ці агрегати, конструкція яких повністю розроблена американським підприємством, можуть застосовуватися у складі стаціонарних і пересувних електростанцій, парогазових та когенераційних установок, а також у складі суднових електроенергетичних установок типу "CODAG". Особливістю ГТА "TwinPac" є використання двох двигунів, які приєднуються через обгінні муфти до обох сторін синхронного генератора електричного струму. Таке приєднання дає можливість незалежно один від одного використовувати ці ГТД, що істотно підвищує операційну гнучкість енергетичної установки.

Перший агрегат типу "PowerPac" у складі когенераційної установки був поставлений підприємством для електростанції м. Шало (Франція) і введений у дію в 2000 р. З листопада 1996 р. знаходиться в експлуатації перший з виготовлених "MAN Turbo AG" агрегатів типу "TwinPac" (м. Райнберг, Німеччина, також у складі когенераційної установки).

Для привідного двигуна **FT8-55*** компанія у співпраці з "Pratt & Whitney Corp." розробила триступінчасту силову турбіну із частотою обертання 5500 об/хв. При цьому повний робочий діапазон частот обертання останньої може становити 2500...5750 об/хв. Агрегати на основі FT8-55 одержали найменування "MechPac". У двигунах використовується створена підприємством технологія "Dry Low NO_x", яка дозволяє досить швидко набирати навантаження та є малочутливою до змін хімічного складу газоподібного палива, а також до параметрів навколишнього середовища. Для зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах передбачене впорскування води в камеру згоряння ГТД. У 1995 р. перший із цих двигунів був введений в експлуатацію на газоперекачувальній станції компанії "Ruhrgas AG" у м. Верне (Німеччина).

У комплект постачання для газоперекачувальної станції крім самого двигуна також входять: повітропідвідна система (зледеніння запобігається обігріванням відпрацьованими газами), звукоізолюючий кожух, газовипускна система, система змащення, електрогідравлічний стартер, паливна система, набір інструментів.

* Газогенератор поставляється із США.

2.5. "Turbomeca S.A." (Франція)

	<i>Повне найменування:</i> "Turbomeca Société Anonyme". <i>Штаб-квартира:</i> м. Бордо, Франція. <i>Чисельність працюючих:</i> 5000 чол. (грудень 2005 р.).

Відомості про компанію

Компанія була заснована польським іммігрантом Йозефом Шидловські (рис. 2.5.1) у Парижі в 1938 р. і спочатку займалася торгівлею турбонагнітачами. У 1939 р. починає виготовляти відцентрові компресори на заводі в м. Мезіре (біля Парижу).



Рис. 2.5.1. Йозеф Шидловські

У 1942 р. на південно-заході Франції біля півніжжя Піренеїв у м. Бордо "Turbomeca" відкриває новий завод, який став відтоді головною її виробничою площадкою. У період з 1940 по 1944 р., коли вся французька промисловість працювала на фашистську Німеччину, і в післявоєнний період основною продукцією підприємства були відцентрові компресори (зокрема моделі S39 та PV19) для агрегатів наддування авіаційних поршневих двигунів компанії "Hispano-Suiza".

В історії підприємства 1948 рік ознаменувався появою його першого ГТД – авіаційного турбовального **ТТ782** потужністю 74 кВт, який одержав за назвою озера в Піренеях найменування **"Orédon"**. Необхідно відзначити, що майже всі двигуни компанії відтоді мають назви тих чи інших географічних місць Піренейських гір: турбовальні двигуни – озер, турбогвинтові – долин, турбореактивні – окремих гір, турбовентиляторні – гірських проходів, турбогенератори – вітрів.

У квітні 1951 р. відбувся випробувальний політ вертольота SO1120 "Ariel III", оснащеного турбовальним двигуном **"Arrius"**. Це був перший у світі політ вертольота з ГТД.

У 50-х роках "Turbomeca" створює турбовальний двигун **"Artouste"** для вертольотів типу "Alouette III" і турбореактивний **"Marboré II"** для літаків "Magister" компанії "Fouga" та літаків Т37 американської фірми "Cessna". У той же період часу ліцензії на випуск двигунів підприємства здобувають компанії "Continental Aviation & Engineering Corp." (США) та "Blackburn Engines Co." (Великобританія).

У 60-х роках "Turbomeca" розробляє турбогвинтовий **"Astazou"** для літаків типу "Marquis", "Pilatus", "Potez 840" та "Jetstream"; турбовальний **"Astazou II"** для вертольотів SA318 "Alouette II"; турбовентиляторний

"**Aubisque**" для літаків SAAB105; турбовальний "**Turmo III**" для вертольотів SA321 "Super Frelon" і SA330 "Puma". У 1965 р. розпочинає роботу третій основний завод компанії в м. Тарно (на узбережжі Атлантичного океану).

У 1968 р. "Turbomeca" та англійський концерн "Rolls-Royce Ltd." засновують спільне підприємство "Rolls-Royce-Turbomeca Ltd." із виробництва турбовентиляторного двигуна "**Adour**", призначеного для англо-французьких бойових літаків "Jaguar". (Різних модифікацій "Adour" було виготовлено близько 2800 од. Вони експлуатуються у складі військово-повітряних сил 19 країн. Їх сумарний наробіток до 2006 р. перевищив 6 млн год.)

У 70-х роках компанія створює турбовальний двигун "**Astazou III**" для вертольотів SA340 "Gazelle"; турбореактивні "**Turmo III**" і "**Astazou IVA**" для проектів "ETG" та "RTG"; турбовальний "**Arriel**" для вертольотів SA350 "Ecureuil" і SA365 "Dauphin"; турбовальний "**Makila**" для SA332 "Super Puma". Здвоєна версія двигуна "**Turmo III G**" проходить випробування на швидкісних пасажирських потягах типу "TGV". У цей же період "Turbomeca" і найбільша французька авіадвигунобудівна фірма "SNECMA" поєднують свої зусилля з метою створення ТРД "**Larzac**", призначеного для навчально-бойових літаків "Alphajet". Крім військово-повітряних сил Франції та Німеччини ці ГТД набули широкого поширення у військовій авіації інших держав. Нова, більш досконала версія двигуна "Larzac" тягою 1350 кгс устатковується в даний час також на російському навчально-тренувальному літаку "МиГ-АТ".

У 80-х роках "Turbomeca" розробляє турбовальні двигуни **TM333** для вертольотів типу "ALH" ("Dhruv") і **TM319 "Arrius"** для проекту AS355N. У співробітництві з "Rolls-Royce plc" та німецькою "MTU Aero Engines GmbH" створюється турбовальний **MTR390** для "Eurocopter Tiger". Організуються філії компанії в США і Бразилії – "Turbomeca Engine Corp." та "Turbomeca do Brasil".

Результатом роботи спільного підприємства "Rolls-Royce-Turbomeca Ltd." у 80-х роках став турбовальний **RTM322**, який на сьогодні вважається кращим європейським вертольотним ГТД. Потужність різних його модифікацій становить 1560...2240 кВт. Двигун устатковується на вертольотах WAH-64 "Apache" компанії "Westland Helicopters" (Великобританія) та EH101, спільно виготовлюваних "Westland Helicopters" і "Agusta" (Італія). У 2001 р. "Rolls-Royce-Turbomeca Ltd." одержав контракт вартістю 1 млрд дол. на оснащення 399 німецьких, французьких і голландських вертольотів типу NH90 двигунами RTM322.

У 90-х роках для проектів S76 і S76+ американської компанії "Sikorsky" розробляються турбовальні двигуни "Arriel" та "Arriel II". Турбовальними "Arrius II" оснащуються вертольоти EC135, "Agusta 109" і EC120. Модель Mk.871 турбореактивного двигуна "Adour" устатковується на літаках T45A "Goshawk" військово-морських сил США. З'являється промислова версія T1 двигуна

"Makila". Засновуються філії компанії "Turbomeca Ltd." (Великобританія), "Turbomeca Asia Pacific", "Turbomeca GmbH" (Німеччина), "Turbomeca Sud Americana", "Turbomeca AustralAsia" та "Turbomeca Japan KK" (Японія).

У вересні 2001 р. "Turbomeca" ввійшла до складу корпорації "SNECMA". (На момент заключення угоди більша частина акцій підприємства належала компанії "Labinal".)

У 2005 р. відбулося об'єднання концернів "SNECMA" і "SAGEM". У результаті утворилася нова корпорація "SAFRAN" зі штаб-квартирою в Парижі та загальною чисельністю працюючих 56200 чол. Її частиною в наш час є "Turbomeca S.A.".

Сьогодні виробнича діяльність "Turbomeca S.A." ведеться за такими головними напрямками*:

- турбовальні двигуни для вертольотів;
- турбореактивні двигуни для тренувальних і допоміжних літаків;
- газотурбінні двигуни для ракет та безпілотних літальних апаратів.

Продукція компанії виготовляється на 14 заводах. У своєму складі "Turbomeca S.A." має 25 підтримуючих та 32 ремонтних центри, 90 представництв і технічних служб по всьому світу. Компанія випускає сім сімейств авіаційних турбовальних ГТД: "Arrius" (моделі 1A/1M, 2F, 1B1/2B2, 2K1/2K2 потужністю 355...530 кВт), "Arriel" (480...705 кВт), TM333 (825 кВт), "Ardiden" (900 кВт), MTR390 (960 кВт), "Makila" (1300...1565 кВт) та RTM322 (1565 кВт), а також сімейство турбовентиляторних двигунів "Adour" тягою 2260...3170 кгс.

Сумарний обсяг реалізованої продукції компанії у 2005 р. склав 819 млн євро. З 5000 працівників 2343 чол. зайняті на основному заводі в Бордо**, 1280 чол. – на заводі в м. Тарно, 212 чол. – на заводі в м. Мезіре.

За свою історію "Turbomeca S.A." виготовила більше 50 тис. газотурбінних двигунів, сумарний наробіток яких становить близько 83 млн год. У даний час застосовуються 14 тис. ГТД компанії, які експлуатуються 2000-ми операторами в 140 країнах.

Виробництвом ГТА енергетичного, привідного та суднового призначення, а також турбонагнітачів займається відділення компанії "Land & Marine Turbines".

Продукція компанії

Компанія "Turbomeca S.A." розробляє промислові та суднові ГТА на основі своїх турбовальних двигунів. Основним її продуктом у цій галузі є двигун **"Makila T1" (TM1600)** потужністю 1150 кВт і ККД 27 %. Великим попитом користуються двигуни **"Astazou IV"** (330 кВт; 19 %) і **"Bastan VII"**

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.turbomeca.com>.

** Адреса підприємства: 64511, Bordes Cedex, France.

(870 кВт; 23 %), а також допоміжна силова установка "**Orédon IV**" (100 кВт; 15 %). Разом з компаніями "Rolls-Royce Ulstein Turbine AS" (Норвегія) і "Volvo Aero Corp." (Швеція) розробляється газотурбінний двигун "**Eurodyn**" (**TM2500**) потужністю 2400 кВт і ККД 30...31 %.

Ведеться створення регенеративного енергетичного агрегату **TM1800** розрахунковою потужністю 1800 кВт, який може мати як промислове, так і морське застосування (на суднах з електрорухом). У 2004 р. почалися експериментальні дослідження зразка цього ГТА.

З 1999 р. "Turbomeca S.A." на основі підписаної угоди з англійською компанією "Rolls-Royce plc" веде комплектацію та постачання енергетичних агрегатів **TM4000** і **TM5000**, використовуючи для цього двигуни 501-KB5 та 501-KB7, які випускаються науково-виробничим центром у м. Індіанаполіс.

Протягом усього періоду існування однією з виробничих галузей компанії було створення турбонагнітачів для поршневих двигунів. Сьогодні провідним продуктом "Turbomeca S.A." у цій галузі є агрегат TM307, що використовується на дизелях V8X, якими оснащується основний французький бойовий танк "Leclerc". З 1990 р. цих турбонагнітачів було випущено більше 500 од. (За даними на 2006 р. усього в експлуатації знаходилося близько 8000 агрегатів наддування, виготовлених компанією.)

Нижче наводяться характеристики промислового та суднового газотурбінного встаткування, яке випускається підприємством.

Двигун "Makila TI" (TM1600)

Даний двигун створений на основі турбовального "Makila 1A", виготовлюваного "Turbomeca S.A." з 1980 р. для вертольотів компанії "Eurocopter" AS332 "Super Puma" і AS532 "Cougar". Тривала потужність базового ГТД становить 1330 кВт, час до капітального ремонту – 3000 год.

Двигун "Makila TI" (інша назва – TM1600) виконаний двовальним за простою тепловою схемою (рис. 2.5.2 та 6Д, табл. 2.5.1). Підвищення тиску повітря здійснюється в осевідцентровому компресорі (три ступеня – осьові, один – відцентровий), який приводиться в обертання двоступінчастою неохолоджуваною осьовою турбіною. Ротор осьової частини компресора виготовлений з кованого титану, відцентрової – зі сталевого кування; напрямні лопатки осьових ступенів виконані з нержавіючої сталі. Суцільнолитий вузол, що складається з подвійного кільця профілів, складає 3-й ступінь.

Камера згоряння – кільцева, прямоотокова з відцентровим упорскуванням палива. Інжектор подачі палива розташовується у валу. Використовується запальник типу "EYQUEM" або "Smith".

Вільна силова турбіна з консольно розташованим ротором також виконана осьовою, двоступінчастою. Відбирання потужності від неї здійснюється з гарячої сторони двигуна. Робочі лопатки обох ступенів необандажені. Для їхнього

виготовлення використаний сплав MAR-M004 (IN713LC). Соплові лопатки виконані з кобальтового сплаву HS 31 (X-40). Робочий діапазон обертання турбіни – 14000...23000 об/хв.

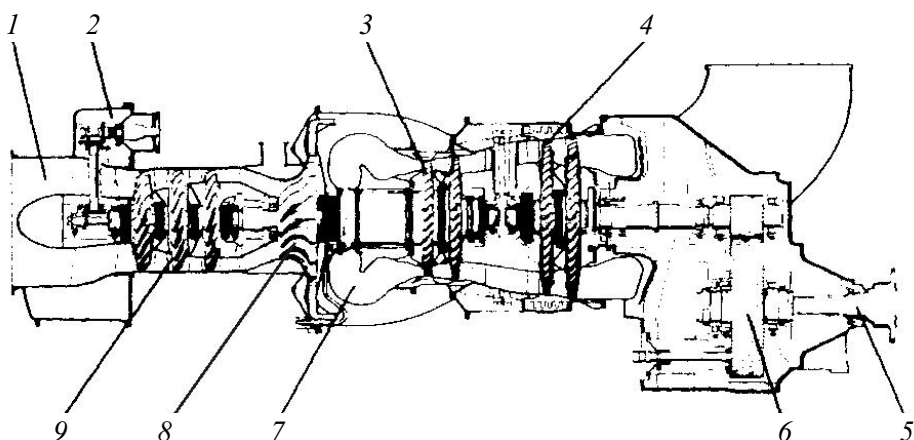


Рис. 2.5.2. Двигун "Makila TI":

1 – вхідний пристрій; 2 – коробки приводів; 3 – турбіна компресора; 4 – СТ; 5 – вихідний вал редуктора; 6 – редуктор; 7 – КЗ; 8, 9 – відповідно відцентровий та осьові ступені компресора

Таблиця 2.5.1. Характеристики агрегатів на основі "Makila TI"

Параметри	Енергетичний	Привідний	Судновий
Номінальна потужність*, кВт	1050	1155	1195
ККД, %	27,1	27,8	28,6
Витрата робочого тіла, кг/с	5,4		5,6
Міра підвищення тиску	9,6		
Температура газу, К:			
початкова	1470	1475	1477
за ГТД	778		788
Частота обертання, об/хв:			
компресора	33000	33050	33350
силової турбіни	22500		23000
вихідного вала редуктора	1500/1800	6300	
Маса, т	9,0	0,44	
Габарити, м	6,0×1,8×2,1	1,9×0,7×0,7	

* Потужність і ККД енергетичного агрегату наведені на клеммах генератора, привідного та суднового – на вихідному валу редуктора.

Для роботи із чотириполюсними генераторами електричного струму частотою 50 або 60 Гц "Makila TI" оснащується вбудованим редуктором із циліндричними косозубчастими шестірнями, який знижує частоту обертання до 1500 або 1800 об/хв. У привідній та судновій модифікаціях частота обертання знижується до 6300 об/хв.

Коробка приводів допоміжних механізмів монтується безпосередньо на корпусі ГТД і енергію для обертання відбирає від ротора компресора. Передбачається можливість оснащення двигуна електричною або пневматичною системою запуску. Цифрова система керування "DECU" ("Digital Engine Control Unit") конвертована з електронної системи повного контролю "ELECMA". Передбачено п'ять отворів для бороскопічного огляду ГТД, а також три магнітні пробки для контролю масла.

Двигун випускається з 1988 р. Перший його екземпляр був установлений у вересні того ж року на експериментальному швидкісному потязі у Франції, а через два місяці в Японії була застосована перша промислова когенераційна установка із цим ГТД.

За цінами 2000 р. вартість одного енергетичного агрегату з "Makila TI" оцінювалася в 0,95...1,1 млн дол. Суднова версія двигуна у 1995 р. знайшла застосування на 30-метровому катамарані "Straits Express" (США), який перевозить на великих озерах на півночі країни до 400 пасажирів зі швидкістю 38 вузлів. Час до капітального ремонту суднового "Makila TI" становить 15 тис. год.

Відмітною рисою ГТД сімейства "Makila" є модульне компонування, яке дозволяє робити заміну основних вузлів двигуна з мінімальними витратами часу. Базовий турбовальний "Makila 1A" має п'ять модулів: осьовий компресор, вузол високого тиску, силова турбіна з вихідним дифузorzом, редуктор, коробка приводів та трансмісія.

Двигун "Eurodyn" (TM2500)

З 1990 р. спільними зусиллями трьох європейських компаній "Turbomeca S.A.", "Rolls-Royce Ulstein Turbine AS" (м. Берген, Норвегія) та "Volvo Aero Corp." (Швеція) ведеться розробка суднового і промислового газотурбінного двигуна "Eurodyn" потужністю 2400 кВт. У цьому партнерстві "Turbomeca S.A." відповідає за компресорну частину і допоміжні агрегати; її частка в проекті складає 50 %. Компанія "Rolls-Royce Ulstein Turbine AS" займається створенням камери згоряння, турбіни компресора, вбудованого планетарного редуктора (30 % участі). "Volvo Aero Corp." відповідає за вільну силову турбіну, міжтурбінний корпус, мікропроцесорну систему керування і контролю, а також за паливну систему (20 % участі). Проект виконується за сприяння Європейської Співки в рамках програми "Eureka" (EU 159).

При проектуванні двигуна норвезька сторона використовувала конструктивні напрацювання в галузі створення радіальних турбін іншої норвезької компанії "Kongsberg Våpenfabrikk", яка припинила існування в середині 80-х років. Зокрема, використовувалася концепція доцентрової турбіни з двома підведеннями газу (проект "DURA" – "Dual Inlet Radial Turbine"). Цю технологію (з усією документацією і патентами) "Rolls-Royce Ulstein Turbine AS" придбав у січні 1989 р.

Двигун "Eurodyn" (табл. 2.5.2) компанія "Turbomeca S.A." позначає у своїй документації також як **TM2500**, компанія "Volvo Aero Corp." – як **VT2600**. Збирання ГТД здійснюється на заводі в Норвегії.

Таблиця 2.5.2. Характеристики агрегатів компанії "Turbomeca S.A."

Параметри	Orédon IV	Bastan VI	Bastan VII	Eurodyn	
				енергетичний	судновий
Номінальна потужність*, кВт	100	610	870	2370	2390
ККД, %	15,2	20,7	23,2	29,6	31,5
Витрата робочого тіла, кг/с	0,88	4,4	6,0	11,4	11,5
Міра підвищення тиску	3,75	5,5	7,2	18,0	18,1
Температура газу, К:					
початкова	–			1323	1340
за ГТД	848	753	723	733	689
Частота обертання, об/хв:				33000/13000	
компресора / силової турбіни	–				
вихідного вала редуктора	8000...12000	1500		1500/1800	1050/1500/1800

* Потужність і ККД наведені на вихідному валу вбудованого редуктора.

За даними на 2004 р. два двигуни "Eurodyn" були встановлені на норвезькому швидкісному поромі катамаранного типу, ще один знаходився у дослідній експлуатації у Франції в складі когенераційної установки. За цінами того ж року укомплектований енергетичний агрегат із цим ГТД мав вартість 1,2...1,4 млн дол., привідний – 1,0...1,2 млн дол., судновий – 0,93...1,0 млн дол.

Двигун "Eurodyn" виконаний двовальним за простою тепловою схемою. Компресор – однокаскадний, оснащений двома відцентровими ступенями. Перший з них має двобічне підведення повітря, другий – однобічне. Напрямні лопатки обох ступенів зафіксовані.

Камера згоряння – протитокова, секційна, складається із шести жарових труб. Для зниження концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах до 20 ppm використана двоступінчаста система подачі палива з його попереднім змішанням. Можливим є використання дизельного палива, природного газу та гасу. Двигун може поставлятися також з інжекторами, що здатні працювати водночас на двох видах палива.

Приводом компресора є одноступінчаста, неохолоджувана доцентрова турбіна. Корисна потужність виробляється вільною силовою турбіною, яка має два осьові ступеня. Двигун оснащений вбудованим редуктором. Різні конструкції останнього забезпечують широкий діапазон частот обертання його вихідного вала. У комплект постачання входить мікропроцесорна система керування і контролю. Запуск ГТД здійснюється за допомогою електричних або пневматичних стартерів.

Двигун "Eurodyn" має типове для компанії "Turbomeca S.A." модульне виконання. В окремі модулі виділені коробка приводів, компресор, силова турбіна та редуктор. Довжина двигуна з вбудованим редуктором становить 3,5 м, висота – 1,4 м, маса – 2800 кг.

2.6. "Volvo Aero Corp." (Швеція)

	<i>Повне найменування:</i> "Volvo Aero Corporation". <i>Штаб-квартира:</i> м. Тролльхаттен, Швеція. <i>Чисельність працюючих:</i> 3360 чол. (2005 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Volvo Aero Corp." на сьогодні є складовою частиною концерну "AB Volvo" – провідного шведського виробника транспортних засобів, автобусів, будівельного встаткування, приводних агрегатів суднового й промислового призначення, аерокосмічної техніки, фінансових і сервісних послуг. Загальна чисельність працівників "AB Volvo" складає близько 81 тис. чол., виробничі підрозділи розташовані у 25 країнах світу. Сумарний обсяг реалізованої у 2004 р. продукції склав 22 млрд євро.

Вихідним пунктом до створення "Volvo Aero Corp.", а разом з нею і шведської авіадвигунобудівної промисловості став лист, направлений у квітні 1930 р. Міністерством авіації Швеції провідному виробнику локомотивів – підприємству "Nydqvist & Holm AB" з м. Тролльхаттен. У листі було замовлення на виготовлення сорока 9-циліндрових радіальних поршневих двигунів для шведської авіації. Для виконання замовлення це підприємство сформувало свою філію, що одержала назву "**Nydqvist & Holm Flygmotorfabriker AB**" ("**NOHAB Flygmotorfabriker**").

Перший шведський авіаційний двигун, що випускався за ліцензією англійської компанії "Bristol Aeroplane Co.", одержав найменування "MY VI" і був підготовлений до випробувань до кінця 1932 р. Його серійний випуск продовжувався до 1934 р., після чого йому на зміну прийшов новий двигун "MY VII" ("Pegasus II").

Істотним поштовхом до збільшення урядових замовлень і розширення виробництва стала резолюція парламенту Швеції у 1936 р., спрямована на зміцнення обороноздатності країни. Потенціал, накопичений підприємством за рахунок виконання військових замовлень, надалі став основою для розвитку шведської цивільної аерокосмічної промисловості.

У 1941 р. контрольний пакет акцій "NOHAB Flygmotorfabriker" перейшов у власність компанії "AB Volvo" з Гьотеборга. Підприємство при цьому перейменовується на "**Svenska Flygmotor AB**" ("Шведська авіадвигунобудівна компанія").

У післявоєнний період унаслідок різкого скорочення основного виробництва компанія почала випускати дизельні двигуни для автомобілів "AB Volvo". У 1948 р. вводиться в дію цех з виготовлення друкарських машин. У цей же період (за участю компанії "STAL" з Фінспонга) було розпочато створення першого шведського ТРД. Однак, прототипи пройшли лише експериментальні дослідження. Замість цього, у 1949 р. "Svenska Flygmotor AB" починає серійне виробництво двигуна "Goblin III" англійської компанії "The de Havilland Engine Co."

У 50-х роках підприємство повністю переводить своє виробництво з випуску поршневих на випуск газотурбінних двигунів. Установлюються тісні зв'язки з провідними світовими виробниками цієї техніки. Наприкінці 1952 р. підписується угода з компанією "Rolls-Royce Ltd.", відповідно до якої "Svenska Flygmotor AB" починає за ліцензією виготовляти для винищувачів А32 "Lansen" ТРД "Avon", який на заводі мав назву **RM5A**. Починаючи з 1958 р. підприємство для винищувачів J35 "Draken" випускає ТРД **RM6**, що являв собою більш потужну версію двигуна "Avon". Співробітництво з "Rolls-Royce Ltd." також розширюється внаслідок виготовлення ряду деталей і вузлів для її цивільних двигунів.

Новим етапом у розвитку шведської авіадвигунобудівної промисловості стало освоєння підприємством у 1969 р. виробництва турбовентиляторного двигуна JT8D американської компанії "Pratt & Whitney Corp.", який застосовується дотепер на різних версіях військових літаків AJ37 "Viggen" під назвою **RM8**. У тому ж році "Svenska Flygmotor AB" переходить у повну власність "AB Volvo" й перейменовується на "**Volvo Flygmotor AB**".

У 70-х роках підприємство одержує від "Pratt & Whitney Corp." статус офіційного центру, який проводить капітальний ремонт двигунів JT8. На початку 90-х років воно обслуговувало більше 80 різних компаній з усього світу.

Для серії нових шведських винищувачів JAS-39 "Gripen" фірма починає у 1988 р. під назвою **RM12** випуск турбовентиляторних двигунів F404J компанії "General Electric Co.". Необхідно відзначити, що JAS-39 "Gripen" став першим шведським військовим літаком, який продавався в інші країни (ΠΑΡ, Чехію, Угорщину).

У 1994 р. назва компанії змінюється на більш прийнятну для міжнародного ринку – **"Volvo Aero Corporation"**.

Відповідно до договору 2000 р. з "General Electric Co." на підприємстві в найближчі роки планується організувати виробництво двигунів F414 для американських літаків військово-морського флоту F-18 "Super Hornet".

Сьогодні виробнича діяльність "Volvo Aero Corp." зосереджена головним чином на розробці та створенні окремих частин авіаційних, ракетних і промислових ГТД (реактивних сопел, корпусів компресорів та турбін, камер згоряння, валів, дисків і т. д.) для таких провідних світових виробників аерокосмічної техніки, як "General Electric Co.", "Pratt & Whitney Corp." та "Rolls-Royce plc". Для шведських винищувачів JAS-39 "Gripen" і AJ37 "Viggen" виготовляються ліцензійні двигуни RM12 та RM8. Крім цього компанія здійснює ремонтні й відбудовні роботи авіаційних та промислових ГТД різних типів, продає до них запасні частини, у деяких випадках реалізує продукцію інших авіадвигунобудівних підприємств*.

Сумарний обсяг реалізованої продукції "Volvo Aero Corp." у 2003 р. склав 0,9 млрд євро. Її основні виробничі підрозділи знаходяться: в Швеції – у м. Тролльхаттен, Бромма і Мальмьо; в США – у м. Бока Рейтон (штат Флорида), Сіетл (штат Вашингтон) та Ньюїнгтон (штат Коннектикут); у Норвегії – в м. Конгсберг. Підприємство "Volvo Aero Norge AS", розташоване у м. Конгсберг, раніше мало назву "Norsk Jetmotor" ("Норвезькі реактивні двигуни") і до 1987 р. було складовою частиною норвезької компанії "Kongsberg Våpenfabrikk".

Продукція компанії

Виробництво наземної газотурбінної техніки ведеться на підприємстві "Volvo Aero Corp." у м. Мальмьо**, яке було засноване у 1971 р. під найменуванням "United Turbine AB" і вже у 1974 р. перейшло в повну власність корпорації "AB Volvo". У 1989 р. воно входить до складу "Volvo Flygmotor AB". Основним видом її продукції є агрегати турбонаддування дизельних двигунів для транспортних засобів, виготовлюваних "AB Volvo". Удосконалюванню піддаються також бензинові поршневі двигуни компанії. Для приводу легкових і вантажних автомобілів (проекти "ЕСС", "ЕСВ" та "ЕСТ") створені газотурбінний двигун КТТ150 і його подальша версія GT110, оснащені низькоемісійною камерою згоряння.

З 1998 р. підприємство розробляє лінію промислових ГТД, що одержала індекс "VT" ("Volvo Turbine"). У даний час серійно випускається перший такий двигун **VT4400** потужністю 4,4 МВт.

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.volvoaero.com>.

** Адреса підприємства: 9508, SE-200 39 Malmö, Sweden.

Цей ГТД під назвою ME990 (GTPF-990) почав розроблятися фахівцями компанії "Garrett Corp." (США) у 1973 р. Проект фінансувався військово-морським відомством США; його метою було створення суднового пропульсивного ГТД потужністю 4,5 МВт. Компресорна частина ME990 являла собою геометрично збільшену версію компресора двигуна IE831; турбінна частина була аналогічною авіаційному ATF3. Перший зразок суднового ME990 був введений у дослідну експлуатацію в 1978 р., проте надалі серійно не випускався. Промислова його модифікація одержала найменування IE990.

У 1980 р. технологія виробництва цього двигуна продається фірмі "Dresser Clark Co." (США) і вже у 1981 р. випускається перший промисловий IE990. Після деякої доробки він перейменовується спочатку на DC990 (1982 р.), а згодом (після зміни назви компанії на "Dresser-Rand Co.") на DR990 (1985 р.).

До жовтня 1997 р. "Dresser-Rand Co." виготовляла цей двигун, після чого продала компанії "Volvo Aero Corp.". У 2002 р. шведська фірма представила його модифікацію **VT4400DLE**, оснащену низькоемісійною камерою згоряння (табл. 2.6.1).

Таблиця 2.6.1. Характеристики агрегатів компанії "Volvo Aero Corp."

Параметри	Енергетичні		Привідний
	VT4400	VT4400DLE	VT4400
Номінальна потужність, МВт	4,24	4,25	4,40
ККД, %	28,1	28,9	30,5
Витрата робочого тіла, кг/с	20,7	20,3	20,0
Міра підвищення тиску	12,4		
Температура газу, К:			
початкова	1355	–	1355
за ГТД	763	748	763
Частота обертання, об/хв:			
компресора	18100	–	18100
силової турбіни	7200	9500	7200
Маса, т	34,0	33,8	4,0
Габарити, м	8,2×2,5×3,2	8,9×2,4×3,1	2,7×1,2×1,2

За станом на 2005 р. під різними найменуваннями було випущено 96 двигунів IE990/VT4400: 18 з них відправлені споживачам в Австралію, 12 – в Об'єднані Арабські Емірати, 17 – у США. На сьогодні вартість одного повністю укомплектованого енергетичного ГТА з VT4400 оцінюється в 1,7...1,8 млн дол., вартість привідного ГТА – 1,5...1,6 млн дол. У грудні 2002 р. було постачено VT4400 в районний центр Ушаково (Запорізька обл., Україна), де він буде використовуватися у складі когенераційної установки.

Двигун VT4400 (рис. 2.6.1) виконаний двовальним з вільною силовою турбіною. Відмітною його рисою є застосування однокаскадного двоступін-

частого відцентрового компресора, який порівняно з осьовими компресорами характеризується більшою жорсткістю, міцністю і меншою чутливістю до попадання сторонніх предметів, а також забрудненого повітря в проточну частину та має менший ККД.

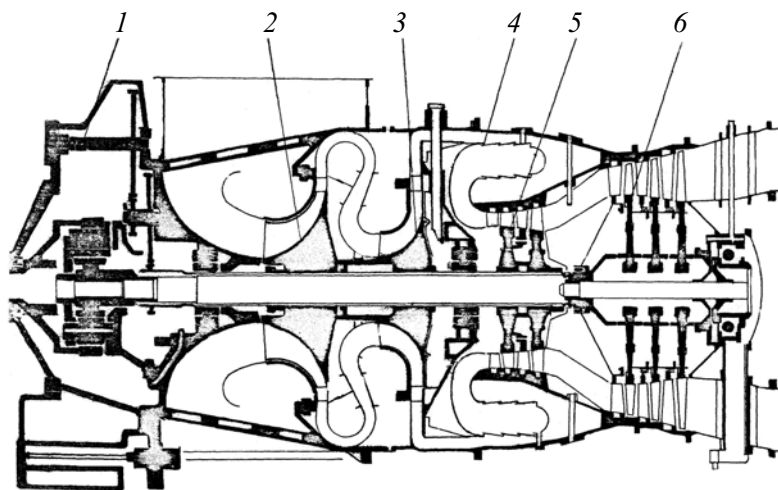


Рис. 2.6.1. Подовжній переріз двигуна VT4400:

1 – коробка приводів; 2, 3 – відповідно 1-й та 2-й ступені компресора; 4 – КЗ;
5 – турбіна компресора; 6 – СТ

Робочі колеса компресора із загнутими назад лопатками відлиті з титанових сплавів Ti-6Al-4V (1-й ступінь) та Ti-6Al-2Sr-4Zn-2Mo (2-й ступінь). Колеса мають відповідно 17 і 15 лопаток. Для виготовлення корпусу компресора використаний сплав ASTM-A536, напрямних лопаток – сплави AISI-316L, AISI-410 та ASTM-439. Вал виготовлений зі сталі IN718.

Протитокова кільцева камера згоряння виконана охолоджуваною. Вона оснащена 18-ма паливними форсунками та двома електроіскровими запальниками; здатна працювати як на рідкому, так і газоподібному паливі. Агрегат може додатково комплектуватися автоматичною системою керування переходом з одного виду палива на інший. Жарова труба виготовлена зі сплаву "Haynes Alloy 188".

Турбіна компресора – осьова, двоступінчаста. Соплові лопатки обох ступенів виконані зі сплаву MAR-M509. Робочі лопатки (59 од. у кожному ступені) виготовляються з нікелевого сплаву IN792 та поєднуються з дисками ротора ялинковими хвостовиками. Матеріалом для дисків служить "Waspaloy".

Головний упорний підшипник гідродинамічного типу, одногребінчастий. Для компенсації осьового зміщення вала упорні подушки виконані з конічними поверхнями; поверхня, яка прилягає до гребеня – сферична. Як опорні підшипники турбокомпресорного блока використовуються підшипники ковзання спеціальної конструкції, які мають підвищені навантажувальні характеристики. Пуск двигуна здійснюється за допомогою газового турбодетандера або гідравлічної системи.

Силова турбіна – осьова, триступінчаста. Для окремих її елементів використовують такі сплави: для робочих лопаток – U-500, для соплових лопаток – HS-31, для дисків – IN718. Робочі лопатки всіх ступенів оснащені бандажними полицями і кріпляться до дисків за допомогою ялинкових хвостовиків. Існують варіанти виконання ГТД із відбиранням потужності як з боку компресора (для чого вал відбирання потужності проходить усередині порожнього вала газогенератора), так і з боку гарячої частини двигуна. Для зниження частоти обертання ротора двигун обладнується вбудованим планетарним редуктором. Силова турбіна змонтована на газогенераторі. Для запобігання розриву дисків вона має аеродинамічний обмежник частоти обертання.

Усі допоміжні механізми (масляний насос, пусковий пристрій, масляний фільтр, маслоохолоджувач, паливний насос) та системи контролю монтуються на корпусі редуктора. Привід допоміжних механізмів здійснюється від вала турбокомпресора. Система керування і контролю за роботою ГТД – електронна.

В останні роки "Volvo Aero Corp." розширила ряд виготовлюваних двигунів серії "VT". На ринку був представлений новий **VT600**, що має потужність на вихідному валу 655 кВт. За даними на 2006 р. чотири таких ГТД були поставлені у складі когенераційних установок споживачам у Латвії, Швеції та Великобританії.

З 1990 р. "Volvo Aero Corp." разом з компаніями "Rolls-Royce Ulstein Turbine AS" (м. Берген, Норвегія) і "Turbomeca S.A." (Франція) бере участь у створенні двигуна "Eurodyn" потужністю 2400 кВт*. Цей ГТД у "Volvo Aero Corp." в останні роки у своїй документації позначається як **VT2600**.

2.7. "Avio S.p.A." (Італія)

	<i>Повне найменування:</i> "Avio Società per Azioni". <i>Штаб-квартира:</i> м. Турін, Італія. <i>Чисельність працюючих:</i> 4800 чол. (2007 р.).

Відомості про компанію

Підприємство почало свою діяльність у 1908 р. як підрозділ компанії "Fiat S.p.A."**, що займався розробкою і створенням поршневих двигунів для авіації.

У роки Першої Світової війни для літаків "Farnam" і бомбардувальників "Caproni" серійно вироблявся двигун A10, загальна кількість екземплярів якого

* Див. опис продукції компанії "Turbomeca S.A." (Франція).

** Автомобілебудівна компанія "Fiat" ("Fabbrica Italiana Automobili Torino") була заснована у Турині групою інвесторів на чолі з Джованні Аньеллі у 1899 р.

перевищила 1000 од. Зростаючі військові замовлення спонукали власників компанії зайнятися випуском власних літаків, унаслідок чого на базі двигунобудівного підрозділу в 1916 р. організовується дочірнє підприємство "**Societa Italiana Aviazione S.p.A.**", перейменоване у 1918 р. на "**Fiat Aviazione S.p.A.**".

Двигуни A80RC41 та A74RC38, які відрізнялися високими показниками, а також ліцензійний RA1050 компанії "Daimler Benz" масово виготовлялися "Fiat Aviazione S.p.A." у роки Другої Світової війни. Ними оснащувалися винищувачі G55, "Macchi 202" та "Macchi 205", що становили основу військової авіації Італії того часу.

У середині 50-х років "Fiat Aviazione S.p.A." (а разом з нею і вся Італія) вступає в еру реактивної авіації. Під керівництвом Дж. Габріеллі створюється винищувач G80, оснащений турбореактивним двигуном "Goblin" англійської компанії "The de Havilland Engine Co.". У травні 1954 р. новий літак G82 із двигуном RN6/21 "Nene" компанії "Rolls-Royce Ltd." здійснює перший політ. За ліцензією для країн НАТО виготовляються реактивні винищувачі "Vampire" (Великобританія) та F-86 "Sabre" (США). У ці ж роки закладаються основи подальшого плідного співробітництва з двигунобудівними компаніями "General Electric Co.", "Rolls-Royce Ltd." та "Pratt & Whitney Corp."; укладаються угоди про виконання ремонтних і відбудовних робіт двигунів J47 та J79. Компанія "Fiat Aviazione S.p.A." починає брати участь у виготовленні окремих деталей і вузлів авіаційних ГТД.

У 1969 р. провідні італійські корпорації "Fiat" і "Finmeccanica" вирішують об'єднати свій авіабудівельний бізнес, унаслідок чого у 1973 р. створене нове підприємство "Aeritalia S.p.A.". У власність цього підприємства "Fiat" передав авіабудівельний підрозділ, майстерні та центр електроніки, що раніше належали "Fiat Aviazione S.p.A.". Залишок компанії після перереєстрації 1976 р. зберіг стару назву, включав у свій склад два заводи в Туріні та Бріндізі й мав чисельність працюючих 3700 чол. Основною спеціалізацією "Fiat Aviazione S.p.A." було визначено розробку, створення, серійний випуск та ремонтно-відбудовні роботи авіаційних двигунів військового і цивільного призначення, а також механічних трансмісій для вертолітної техніки.

У 70–90-х роках "Fiat Aviazione S.p.A." (з 1989 р. – "**FiatAvio S.p.A.**") бере участь у ряді спільних проектів, найбільш важливим з яких стало виробництво двигуна RB199 (разом з англійською "Rolls-Royce plc") для європейського винищувача "Tornado". Паралельно із цим розширюється діяльність компанії з матеріально-технічного забезпечення і ремонтних робіт авіаційних двигунів. Цей напрямок особливо розвивається після 1996 р., коли до складу компанії входить підприємство "Alfa Romeo Avio S.p.A."

Розвиток промислового і суднового газотурбобудування компанії "Fiat S.p.A." до 1986 р. йшов паралельно з авіаційним газотурбобудуванням та здійснювався спочатку в рамках підрозділу "**Grandi Motori Division**".

Цей підрозділ сформувався у 1923 р. і протягом усього періоду існування

спеціалізувався головним чином на виробництві суднових дизельних двигунів. У 1954 р. "Fiat S.p.A." уклав угоду з американською компанією "Westinghouse Electric Corp.", відповідно до якої організував у Туріні ліцензійне виробництво стаціонарних ГТА. Двигуни TG200, TG500, TG502, TG900, TG902 та TG1800, що випускалися у 50–60-х роках, мали потужність 3...22 МВт і ККД 20...23 %. Вони знаходили застосування для приводу різноманітних механізмів, а також використовувалися у складі енергетичних ГТА. Двигун TG36 потужністю 36 МВт, який виготовлювався у 70-х роках, мав ефективність 27 %. У 70–80-х роках під назвою TG20B11/12 випускався американський двигун W251B11/12 потужністю 49 МВт і ККД 32,6 %.

У 1973 р. стаціонарне газотурбобудування виокремлюється з "Grandi Motori Division" й організовується в окреме підприємство **"Fiat Termomeccanica Turbogas S.p.A." ("TTG")**.

У 70–80-х роках "TTG" розширює свою діяльність шляхом укладання ряду угод з американською компанією "General Electric Co.". У 1986 р. керівництво "Fiat S.p.A." вирішило ввести "TTG" до складу підприємства "Fiat Aviazione S.p.A.".

У липні 1993 р. корпорація "Fiat S.p.A." продала "Fiat Avio S.p.A." американській інвестиційній компанії "Carlyle Group", після чого назва підприємства змінилася на **"Avio S.p.A."**.

Необхідно відзначити, що починаючи з 1954 р. "Avio S.p.A."* виготовила більше 350 промислових і суднових ГТА, які знайшли застосування у 38 країнах світу.

Продукція компанії

Сьогодні "Avio S.p.A." є провідним італійським виробником авіаційних двигунів та ракетної техніки. До її складу входять заводи в Туріні (2000 чол.), Коллеферро (589 чол.), Помільяно Д'Арко (959 чол.), Асерре (307 чол.), Бріндізі (853 чол.) та представницький центр у Римі.

Компанія "Avio S.p.A." є субпідрядником у реалізації багатьох сучасних двигунобудівних проектів, активно співпрацюючи при цьому з такими провідними фірмами, як "General Electric Co.", "Rolls-Royce plc", "Pratt & Whitney Corp.", "Honeywell International, Inc.", "MTU Aero Engines GmbH" та "SNECMA". У цивільній галузі це такі двигуни, як GE90, GENx, T700, "Trent 900", PW150, PW308, PW625 та PW800; у військовій – "Spey", F119, RB199, F124 і EJ200. У цих проектах "Avio S.p.A." відповідає, як правило, за виготовлення турбін низького тиску, камер згоряння, форсажних камер, реактивних сопел, коробок передач, силових трансмісій, допоміжних силових установок**.

* Адреса підприємства: Via I Maggio, 99; 10040 Rivalta di Torino (TO), Italy.

** Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.avio.it>.

У галузі ракетно-космічної техніки "Avio S.p.A." разом з компаніями "SNECMA" та "SME" бере участь у створенні ракет "Ariane III", "Ariane IV", "Ariane V" і "Vega".

У галузі стаціонарного та суднового газотурбобудування "Avio S.p.A.", починаючи з 1968 р., займається виготовленням окремих компонентів, загальною комплектацією і постачанням агрегатів, що базуються на двигунах LM500, LM1600, LM2500, LM2500+, LM6000 та LMS100 американської компанії "General Electric Co.". Вона також забезпечує виконання проектних та інжинірингових робіт, монтаж і сервісне обслуговування цих агрегатів.

2.8. "Ansaldo Energia S.p.A." (Італія)

	<i>Повне найменування:</i> "Ansaldo Energia Società per Azioni". <i>Штаб-квартира:</i> м. Генуя, Італія. <i>Чисельність працюючих:</i> 2478 чол. (2004 р.).

Відомості про компанію

Машинобудівне підприємство "Ansaldo Energia S.p.A."* було створене у 1853 р. у Генуї під назвою "**Gio. Ansaldo & C.**" групою італійських промисловців на чолі з Джованні Ансальдо. Найбільший розвиток компанії, головною спеціалізацією якої на той час було виробництво верстатів та різних видів озброєння, спостерігався в роки Першої Світової війни. До 1918 р. вона стала корпорацією, яка мала десятки заводів і фабрик із загальною чисельністю працюючих більше 80 тис. чол. Компанія також контролювала десять інших італійських машинобудівних підприємств.

Промислова криза, що наступила в післявоєнний період, у великій мірі позначилася на стані компанії та у 1933 р. над нею був установлений контроль Інституту реконструкції промисловості ("Istituto per la Ricostruzione Industriale") – організації, створеної урядом Муссоліні для збереження італійської економіки в роки Великої депресії. (Ця організація у 1939 р. контролювала 20 % промислових підприємств Італії.)

Націоналізація, а також зростання військових замовлень позитивно вплинули на "Ansaldo": обсяги виробництва поступово зростали. Якщо в 1939 р. чисельність працівників становила 22 тис. чол., то вже у 1943 р. вона перевищувала 35 тис. чол.

Після закінчення війни конверсія виробництва знову погіршила стан компанії та у 1948 р. Інститут реконструкції промисловості передав "Ansaldo S.p.A."

* Адреса підприємства: Via Nicola Lorenzi 8, 16152 Genoa, Italy.

у власність концерну "Finmeccanica S.p.A.". Послідовні реорганізації компанії у 50–90-х роках повністю інтегрували її до складу цього концерну. Одночасно із цим вона була розділена на кілька частин, багато з яких дотепер мають назву "Ansaldo". (Наприклад, "Ansaldo Energia", "Ansaldo Ricerche", "Ansaldo Fuel Cells", "Ansaldo Nucleare", "Ansaldoenergia" та ін.)

Компанія "Ansaldo Energia S.p.A." у другій половині XX ст. стала одним із провідних європейських підприємств із розробки, виробництва й обслуговування енергетичного встаткування. Вона виконує постачання "під ключ" найрізноманітніших проектів теплових, атомних, геотермальних та гідравлічних електростанцій; здійснює ремонтні й відбудовні роботи раніше встановленого встаткування; пропонує широкий діапазон послуг з підтримки життєвого циклу енергетичних установок. Апробована на підприємстві висока система якості гарантує надійне виконання всіх вимог споживача.

Виробнича діяльність компанії на сьогодні ведеться за трьома головними напрямками*:

промислові ГТА потужністю 70...260 МВт й установки на їхній основі;

парові турбоагрегати потужністю 40...1200 МВт;

електрогенератори для парових, газових та гідравлічних турбін потужністю 40...1200 МВт.

Компанія "Ansaldo Energia S.p.A." займається також атомним енергомашинобудуванням (виконує розробку проектів, комплектування встаткування, інжинірингові послуги, підготовку площадки й будівництво електростанцій тощо). Ці роботи виконуються в її філії – підприємстві "Ansaldo Nucleare S.p.A.". Сумарний обсяг реалізованої у 2004 р. продукції "Ansaldo Energia S.p.A." склав 718 млн євро.

З 1945 по 2005 рр. компанія випустила більше 1700 різних типів енерговиробних установок загальною потужністю 160 ГВт, які експлуатуються у 90 країнах світу. Основні постачання виконувалися в Європу, Північну Африку і на Близький Схід – 57,3 % від усієї встановленої потужності. Для країн Латинської Америки цей показник склав 19,6 %, Південно-Східної Азії – 18,4 %, Південної Африки – 4,7 %.

На гідроенергетичні установки приходилося 28 % виготовленої потужності, 72 % – на теплові. Компанія "Ansaldo Energia S.p.A." за свою історію виготовила 387 гідравлічних турбін, 477 гідрогенераторів, 1170 парових турбоагрегатів (з них 130 геотермальних турбін, 12 турбін для атомних електростанцій, 581 привідна турбіна для промисловості), 615 турбогенераторів.

Газотурбобудуванням компанія почала займатися наприкінці 80-х років, коли була підписана технічна угода з німецьким концерном "Siemens AG" про ліцензійний випуск його агрегатів й установок заводом у Генуї. Перше

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.ansaldoenergia.com>.

замовлення надійшло у 1991 р., і в 1995 р. три агрегати V64.3 були введені в експлуатацію у складі когенераційної установки на заводі "Nossener Brucke" в Німеччині. Компанія "Ansaldo Energia S.p.A." почала поставляти перші ГТА з двигунами V94.2 з 1997 р., V64.3A – з 1999 р., V94.3A – з 2002 р.

До 2006 р. компанія випустила 109 ГТА сумарною потужністю 18034 МВт: з них V64.3 – 15 од. (загальна потужність 930 МВт), V63.3A – 5 од. (335 МВт), V94.2 – 66 од. (10538 МВт), V94.3A – 23 од. (6231 МВт).

Компанія "Ansaldo Energia S.p.A." також є одним із провідних європейських виробників парових турбін. Випускаються чотири основні серії агрегатів: "GT" потужністю 5...80 МВт для геотермальних станцій; "СТ" потужністю 40...100 МВт для парогазових та когенераційних установок; "MT" потужністю 80...250 МВт для теплових електростанцій і ПГУ; "RT" потужністю 200...1200 МВт для теплових й атомних електростанцій.

Продукція компанії

На сьогодні в галузі газотурбобудування основною продукцією "Ansaldo Energia S.p.A." є агрегати V64.3A, V94.2 та V94.3A, що випускаються за ліцензією німецького концерну "Siemens AG"*. На їхній основі компанія, використовуючи власне енергетичне встаткування, комплектує парогазові установки під торговою маркою "COBRA". Виготовлювані ГТА використовуються також для створення різноманітних когенераційних установок.

2.9. "MTU Friedrichshafen GMBH" (Німеччина)

	<i>Повне найменування:</i> "Motoren- und Turbinen Union Friedrichshafen Gesellschaft mit beschränkter Haftung". <i>Штаб-квартира:</i> м. Фрідріхсхафен, Баден-Вюртемберг, Німеччина.

Відомості про компанію

У 1909 р. головний конструктор та один із засновників (разом з Готтлібом Даймлером) автомобіле- і двигунобудівної компанії "Daimler-Motoren-Gesellschaft"** Вільгельм Майбах (1846–1929) остаточно розірвав з нею відносини і почав вести переговори з графом Фердинандом фон Цеппеліном про співробітництво з метою створення двигунів для його літальних апаратів.

* Див. опис продукції "Siemens AG".

** Надалі мала назви: з 1926 р. – "Daimler Benz AG", з 1998 р. – "DaimlerChrysler AG".

У березні того ж року в м. Фрідріхсхафен* (де розташовувалася компанія Цеппеліна "Luftschiffbau Zeppelin GmbH") організовується підприємство **"Luftfahrzeug-Motoren GmbH"**, у якому Вільгельм Майбах та його син Карл володіли по 20 % акцій. Ця компанія незабаром була перейменована на **"Maybach-Motorenbau GmbH"**. За допомогою двигунів Майбаха вже наприкінці 1909 р. дирижаблі Ф. Цеппеліна (модель LZ6) уперше починають здійснювати комерційні пасажирські перевезення. У цей же період "Maybach-Motorenbau GmbH" інтенсивніше починає вести розробку і створення авіаційних та автомобільних двигунів для інших замовників.

Компанія істотно зміцнилася у роки Першої Світової війни у зв'язку з виконанням військових замовлень. У післявоєнний період унаслідок діючих відповідно до умов Версальського мирного договору 1919 р. заборон на розвиток авіаційної промисловості "Maybach-Motorenbau GmbH" переорієнтовується головним чином на виробництво легкових автомобілів вищого класу, випускаючи їх під торговою маркою "Maybach" і оснащуючи двигунами власної розробки. Прототипами для створення були елітні автомобілі англійської компанії "Rolls-Royce Ltd.". У 1919 р. почалося серійне виробництво першої моделі "Maybach W1". З 1921 р. випускається модель "W3", з 1926 р. – "W5", з 1929 р. – "Maybach 12", з 1930 р. – "DS7 Zeppelin", з 1931 р. – "W6" та "DS8 Zeppelin", з 1934 р. – "DSH", з 1935 р. – "SW35". Останні моделі автомобілів компанії поступили у виробництво в 1936 ("SW38") та 1940 рр. ("SW42").

У роки Другої Світової війни виробнича діяльність "Maybach-Motorenbau GmbH" була повністю підпорядкована військовим цілям. Компанія розробляла та серійно виготовляла двигуни для транспортних засобів різноманітного призначення, включаючи танки "Panzerkampfwagen IV", "Tiger I" та "Panther".

У післявоєнний період випуск автомобілів було припинено. Натомість "Maybach-Motorenbau GmbH" освоює нові галузі застосування своїх двигунів: уперше дизелі компанії починають установлюватися на судах і залізничному транспорті. Найбільш відомими з локомотивів із двигунами "Maybach" були німецькі V200 та британські "Westerns" класу 52.

У 1960 р. підприємство переходить у власність компанії "Daimler Benz AG" (м. Штутгарт). Через шість років його поєднують з підрозділом "Daimler Benz AG", який виробляв дизельні двигуни, внаслідок чого утворюється нова компанія **"Maybach Mercedes-Benz Motorenbau GmbH"**.

У липні 1969 р. два найбільших німецьких концерни "Daimler Benz AG" та "M.A.N. AG" прийняли рішення про об'єднання свого двигунобудівного бізнесу: створюється спільне підприємство **"Motoren- und Turbinen Union M.A.N. Maybach Mercedes-Benz GmbH"**, у якому ці компанії володіли рівними пакетами акцій. З боку "Daimler Benz AG" у це підприємство ввійшли

* Місто на півдні Німеччини з населенням 58420 чол. (2005 р.).

виробничі потужності й активи компанії "Maybach Mercedes-Benz Motorenbau GmbH", з боку "M.A.N. AG" – її підприємство "M.A.N. Turbo GmbH". Необхідно відзначити, що основу останнього становив науково-виробничий центр у м. Аллах (пригород Мюнхена), що займався серійним виробництвом ліцензійних авіаційних ГТД і до 1960 р. повністю належав компанії "BMW AG".

Новостворена компанія, загальна чисельність працівників якої перевищувала 11 тис. чол., складалася з двох основних підприємств: **"MTU Friedrichshafen GmbH"** та "MTU Munchen GmbH", що базувалися на виробничих потужностях відповідно компаній "Daimler Benz AG" і "M.A.N. AG".

У 1985 р. "M.A.N. AG" продає свій пакет акцій "Motoren- und Turbinen Union GmbH" компанії "Daimler Benz AG".

У 2000 р. "DaimlerChrysler AG" розширює "MTU Friedrichshafen GmbH" детройтською (штат Мічиган, США) дизелебудівною компанією "Detroit Diesel Corp.", яка раніше (більше 60 років) належала "General Motors Corp.". На базі цих двох підприємств створюється "DaimlerChrysler Power Systems Division".

У 2005 р. "DaimlerChrysler AG" володіла 87,8 % акцій "MTU Friedrichshafen GmbH". Родині Майбах належало 7,2 % акцій компанії, ще 5 % – родині Цеппелін. Обидві сім'ї мали право накладати вето на рішення щодо продажу компанії. У вересні того ж року "DaimlerChrysler AG" викупила в них акції та на початку 2006 р. продала "MTU Friedrichshafen GmbH" разом з "Detroit Diesel Corp." інвестиційній групі "EQT".

Сьогодні "MTU Friedrichshafen GmbH"* виготовляє дизельні двигуни та дизель-генератори для залізничного транспорту, цивільних суден, кораблів ВМФ, сільського господарства і видобувної промисловості, а також випускає будівельне встаткування**.

Двигунами компанії оснащені швидкісні експresi серій "Turbostar" і "Talent"; танки типів "Leopard I", "Leopard II" та "Arjun"; протитанкові машини "Kanonenjagdpanzer", "Raketenjagdpanzer 2", "Jaguar 1" і "Jaguar 2"; самохідні артилерійські установки "Gepard"; гаубиці "PzH 2000" та "Palmaria"; бойові машини піхоти "Marder", "M113" і "Piranha II"; яхти серії "Octopus"; фрегати класів "Bremen", "Brandenburg", "Sachsen", "Anzac" та "Vasco da Gama"; корвети типу "PR-72P"; есмінці класу "Lanzhou"; артилерійські катери "Turunmaa" й торпедні катери класів "Tiger", "Albatros" і "Gepard"; тральщики класів "Frankenthal", "Kulmbach" та "Ensdorf"; підводні човни типів 206, 209, 212, 214, класів "Ula" й "Dolphin".

З 1950 по 2006 р. компанія виготовила більше 74 тис. дизельних та газових двигунів, з них 14 тис. – для комерційних суден і 10 тис. – для кораблів ВМФ.

* Адреса підприємства: 88040, Friedrichshafen, Germany.

** Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.mtu-online.com>.

Продукція компанії

Сьогодні в галузі газотурбобудування підприємство "MTU Friedrichshafen GmbH" займається комплектацією і постачанням енергетичних, привідних та суднових газотурбінних агрегатів, використовуючи для цього двигуни LM1600, LM2500 і LM2500+ американської "General Electric Co.", а також двигуни TF40 та TF50 компанії "Vericor Power Systems Inc."*. Також "MTU Friedrichshafen GmbH" забезпечує виконання проектних та інжинірингових робіт, монтаж і сервісне обслуговування цих агрегатів.

2.10. "OPRA Technologies B.V." (Нідерланди)



Повне найменування: "Optimal Radial Technologies B.V.".

Штаб-квартира: м. Хенгело, Нідерланди.

Відомості про компанію

Одним з найбільш відомих у 70–80-х роках продуктів норвезької компанії "Kongsberg Våpenfabrikk" ("Збройовий завод Конгсберга"), яка спеціалізувалася на розробці й створенні різних видів озброєння, був газотурбінний двигун KG2 потужністю 1,4 МВт**. У середині 80-х років державна компанія опинилася у важкому економічному стані, який до того ж доповнився звинуваченнями у порушенні правил продажу оборонних технологій країнам радянського блоку та економічними санкціями, що слідували за цим. У результаті у 1987 р. "Kongsberg Våpenfabrikk" була реформована, її підрозділи, що випускали продукцію



Рис. 2.10.1. Ян Мовілл

необоронного призначення, були приватизовані та розпродані. Газотурбінний дивізіон, а разом з ним технологія виготовлення і права на випуск двигуна KG2 перейшли до американської фірми "Dresser-Rand Co."***.

У 1991 р. один зі створювачів цього двигуна Ян Мовілл (рис. 2.10.1) організував у голландському місті Хенгело компанію "**Optimal Radial Turbine B.V.**" ("**OPRA**")****. Перед підприємством була поставлена мета – розробити, ви-

* Див. опис продукції "General Electric Co." та "Vericor Power Systems Inc.".

** З 1968 р. продано більше 1000 од., сумарний наробіток яких перевищив 15 млн год.

*** Див. також опис продукції науково-виробничого центру в м. Конгсберг.

**** Адреса підприємства: 838, Opaalstraat 60, 7550 AV Hengelo, The Netherlands.

користовуючи існуючий досвід, власну конструкцію ГТД цього класу потужності. У вересні 2003 р. "OPRA" оголосила про те, що двигун OP16 потужністю 1,5...1,8 МВт успішно пройшов 400-годинні промислові випробування на площадці компанії "Ruhrgas AG" у м. Дорстен (Німеччина).

У жовтні 2005 р. створюється філія компанії в Росії ("ООО "ОПРА"), що виконує функції її офіційного представника й ексклюзивного дистриб'ютора. У тому ж році "Optimal Radial Turbine B.V." перейменовується на "**Optimal Radial Technologies B.V.**" ("**OPRA Technologies**").

Необхідно відзначити, що двигун OP16 під назвою RTG20 випускається за ліцензією також американською фірмою "Fairbanks Morse Engine Co."

Продукція компанії

На сьогодні "OPRA Technologies" являє собою інженерно-виробничу компанію, яка займається проектуванням, створенням, постачанням, монтажем та супроводом енергетичних модулів наземного і морського застосування на основі власних газотурбінних двигунів типу OP16 (табл. 2.10.1)*.

*Таблиця 2.10.1. Характеристики двигунів типу OP16***

Параметри	OP16-2AG	OP16-2AL	OP16-3A
Номінальна потужність ^{***} , МВт	1,86	1,73	1,91
ККД, %	26,2	25,7	26,5
Витрата робочого тіла, кг/с	8,7		
Міра підвищення тиску	6,7		6,8
Температура газу за ГТД, К	832	815	828
Частота обертання ротора, об/хв	26200	26100	26000
Маса, т	1,8		—
Габарити, м	2,5×1,1×1,5		—

Двигун OP16 виконаний одновальним з одноступінчастим відцентровим компресором і одноступінчастою доцентровою турбіною (рис. 2.10.2). Роторна частина являє собою ретельно збалансовану, просту конструкцію у вигляді вала з робочими колесами компресора і турбіни, який спирається на два підшипники, винесені за допомогою консольної підвіски з гарячої зони двигуна (рис. 2.10.3). Останнє істотно полегшує збирання й обслуговування ГТД, підвищує його надійність і термін служби. Радіальна конструкція турбомашин також забезпечує довговічність, надійність та низьку собівартість, а також вигідність експлуатації двигуна. Геометрія турбомашин запатентована компанією.

Для забезпечення можливості сумісної роботи із чотириполюсними

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.opraturbines.com>.

** Модифікація OP16-2AG працює на газоподібному паливі, OP16-2AL – на рідкому.

*** Потужність і ККД наведені на валу вбудованого редуктора.

генераторами струму двигун ОР16 додатково обладнаний вбудованим планетарним редуктором, що знижує частоту обертання до 1500 або 1800 об/хв.

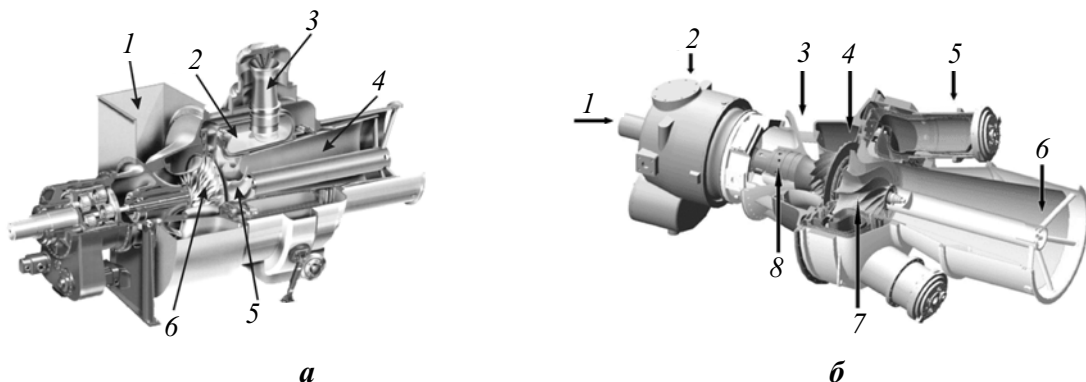


Рис. 2.10.2. Двигуни ОР16-2А (а) та ОР16-3А (б):

а – 1 – вхід повітря; 2 – камера згоряння; 3 – змішувач типу "COFAR"; 4 – вихідний дифузор; 5 – турбіна; 6 – компресор; **б** – 1 – вихідний вал; 2 – редуктор; 3 – вхід повітря; 4 – компресор; 5 – камера згоряння; 6 – вихідний дифузор; 7 – турбіна; 8 – опори



Рис. 2.10.3. Ротор двигуна ОР16

Перші модифікації ГТД були оснащені кільцевою камерою згоряння (див. рис. 2.10.2,а). Для досягнення гранично низької концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах у 2004 р. була розроблена 4-секційна камера згоряння (модель двигуна ОР16-3А; див. рис. 2.10.2,б), яка забезпечує однорозрядні значення емісії оксидів азоту, окису вуглецю і незгорілих вугле-воднів. Роботу обох варіан-

тів камери забезпечує запатентована компанією система керування підготовки і подачі паливної суміші типу "COFAR" ("Controlled Fuel Air Ratio").

Двигуни обладнані двопаливною (газоподібне та дизельне паливо) системою з можливістю автоматичного переходу з одного виду палива на інший без відключення навантаження. Можливе використання газоподібного палива з гранично низьким (до 15 %) вмістом метану, що відповідає його теплотворній здатності 7,8 МДж/кг. Останнє зумовлює можливість застосування ГТД у складі ресурсозберігаючих установок.

Запуск двигуна на вибір замовника здійснюється за допомогою пневматичної, гідравлічної або електричної системи. Час від пуску до виходу на номінальний режим роботи не перевищує 1 хв.

Двигун ОР16 сконструйований так, щоб працювати як на мінеральному, так і синтетичному маслах. Витрата масла внаслідок угару практично дорівнює нулю, оскільки немає вузлів, розташованих у гарячій зоні ГТД і які потребують змащення. Ефективним є створення когенераційних установок на основі

двигуна ОР16. Установлений на газовипуску утилізаційний контур на номінальному режимі роботи може генерувати до 6 т пари в годину.

У стандартну комплектацію енергетичного модуля крім ГТД із вбудованим редуктором входять тепло- і звукоізолюючий корпус, генератор Піллера (безщітковий, із самозбудженням), система контролю газу, масляний бак та допоміжне встаткування. Вбудована електронна система керування забезпечує повний контроль та моніторинг безпеки як двигуна, так і генератора.

Енергетичні модулі з двигунами ОР16 (рис. 7Д) знаходять застосування для спільного постачання електричної та теплової (у вигляді пари або гарячої води) енергії підприємствам обробної промисловості; для районного енергопостачання; як допоміжні енергетичні установки морських суден; у нафтогазовій галузі; як пікові й мобільні електростанції; для освітлення та опалення теплиць, а також опріснення морської води.

2.11. "Centrax Ltd." (Великобританія)

	<i>Повне найменування:</i> "Centrax Limited". <i>Штаб-квартира:</i> м. Ньютон Еббот, Англія. <i>Чисельність працюючих:</i> близько 700 чол. (2004 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Centrax Ltd."* була заснована Річардом Барром і Джеффрі Вайтом (рис. 2.11.1) – колишніми співробітниками Ф. Віттла у м. Брентфорд (графство Міддлсекс) у 1946 р. та спеціалізувалася в перші роки на постачанні різних деталей і вузлів для авіадвигунобудівних підприємств Англії та США.

У 1955 р. розвиток виробництва спричинив переміщення компанії у м. Ньютон Еббот. У тому ж році почалися роботи зі створення власних ГТД.

Перший двигун підприємства, призначений для використання як резервне джерело енергії, був запущений у виробництво в 1960 р. Він одержав найменування **CS-600**, мав потужність 450 кВт (при початковій температурі газів 1050 К та мірі підвищення тиску 4,8) і випускався кількома модифікаціями, зокрема,



Рис. 2.11.1. Річард Барр та Джеффрі Вайт

* Адреса підприємства: Shaldon Road, Newton Abbot, Devon, TQ12 4SQ, England.

без регенератора та з регенератором. Згодом була створена більш потужна його версія **CS-600-2** (515 кВт), яка також мала свої модифікації.

У 1962 р. для виробництва і продажу двигунів типу CS-600 на підприємстві організовується газотурбінний підрозділ ("Gas Turbine Division").

Наступним етапом розвитку газотурбобудування компанії "Centrax Ltd." стало укладання в 1979 р. угоди з підприємством з м. Індіанаполіс (США), яке на той час під назвою "Detroit Diesel Allison Division" входило до складу "General Motors Corp.". Відповідно до цієї угоди "Centrax Ltd." одержував можливість здійснювати компонування і постачання енергетичних агрегатів на основі одержуваних із США газотурбінних двигунів сімейства "501". Перше постачання було виконане компанією у 1982 р., і в 1984 р. "Centrax Ltd." стає офіційним дистриб'ютором двигунів "Detroit Diesel Allison Division" на європейському континенті.

У 1980 р. на підприємстві організовується підрозділ "Turbine Components Division", що займається виготовленням лопаткових апаратів, дисків, валів, корпусів та опор ГТД.

У 1989 р. сумарний виробіток випущених компанією "Centrax Ltd." енергетичних модулів із двигунами CX501 досяг 1 млн год. У цьому ж році підприємство розробляє і виготовляє 7 унікальних полірувальних машин для обробки поверхні компресорних та робочих лопаток.

У 1993 р. "Centrax Ltd." випускає 100-й, а в 2002 р. – 200-й ГТА із двигуном CX501. У 2001 р. сумарний виробіток ГТА компанії перевищив 10 млн год. За високу якість товарів, що спрямовуються на експорт та сприяють розвитку міжнародної торгівлі, компанія у 2002 р. була відзначена нагородою королеви Великобританії.

Компанія має сервісні центри в Іспанії, Франції, Німеччині, Нідерландах й Італії, а також місцеві представництва в Ірландії, Португалії та Польщі. Сумарний обсяг реалізованої у 2003 р. продукції "Centrax Ltd." склав 50 млн фунтів стерлінгів*.

Продукція компанії

У даний час основним продуктом "Centrax Ltd." є енергетичні агрегати типу **CX501**, що компонуються з ГТД сімейства "501", виготовлюваних підрозділом концерну "Rolls-Royce plc" у м. Індіанаполіс (США)**. Ці ГТА створюються як для тривалої роботи на номінальному режимі, так і для використання як резервні та аварійні енергетичні модулі. Крім того, агрегати виготовляються також для функціонування у складі парогазових та когенераційних установок.

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.centraxgasturbines.com>.

** Див. опис продукції науково-виробничого центру в м. Індіанаполіс (США).

2.12. "Turbomach S.A." (Швейцарія)



Повне найменування: "Turbomach Société Anonyme".

Штаб-квартира: м. Ріаццино, Швейцарія.

Чисельність працюючих: 425 чол. (2004 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Turbomach S.A."* була заснована у 1979 р. Із самого початку і дотепер основним її виробництвом є комплектація і постачання енергетичних ГТА на основі двигунів американської компанії "Solar Turbines Inc.". У 90-х роках була укладена угода з корпорацією "Rolls-Royce plc" про аналогічне постачання двигунів RB211 та "Trent". Останнім часом виробнича лінія "Turbomach S.A." розширилася за рахунок пекіджування парових турбоагрегатів німецької фірми "Blohm und Voss Industrie GmbH" потужністю 3...30 МВт. Компанія також пропонує широкі послуги в галузі сервісного обслуговування виготовлених ГТА та підготовки обслуговуючого персоналу**.

За даними на 2005 р. "Turbomach S.A." продала 801 ГТА, сумарна потужність яких склала 3942 МВт. Основні постачання виконувалися для целюлозно-паперових комбінатів (135 од.), районних електростанцій (100 од.), підприємств харчової (87 од.) і текстильної (74 од.) промисловості, хімічних виробництв (60 од.) та енергопостачання банків (56 од.).

На основному заводі в Ріаццино зайняті 65 % усіх працівників компанії, інші 35 % працюють у філіях і представництвах "Turbomach S.A.", розташованих у Німеччині, Іспанії, Франції, Туреччині, Пакистані, Великобританії, Нідерландах, Таїланді, Індії, Польщі, Венесуелі, Колумбії, Єгипті, Португалії та Росії.

Компанією розроблена і запатентована система дистанційного контролю й керування роботою енергетичних установок "TURBODAQ".

У червні 2004 р. американська корпорація "Caterpillar Inc.", якій також належить компанія "Solar Turbines Inc.", викупила "Turbomach S.A." у її колишнього власника – німецької фірми "Babcock Borsig AG".

Продукція компанії

На сьогодні головним видом продукції "Turbomach S.A." є енергетичні ГТА **TBM-S20, TBM-C40, TBM-C50, TBM-T60, TBM-T70, TBM-M90, TBM-M100, TBM-T130, TBM-RB211, TBM-RB211-T та TBM-Trent 60**, які

* Адреса підприємства: Via Campagna 15, CH-6595 Riazzino, Switzerland.

** Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.turbomach.com>.

комплектуються відповідно з двигунів "Saturn 20", "Centaur 40", "Centaur 50", "Taurus 60", "Taurus 70", "Mars 90", "Mars 100", "Titan 130", RB211-6562, RB211-6761 і "Trent 60" компаній "Solar Turbines Inc." та "Rolls-Royce plc"*. Ці ГТА призначені як для тривалої роботи у складі загальної енергомережі, так і для функціонування як автономні та резервні джерела енергії. Агрегати потужністю 1...15 МВт часто використовуються у складі ресурсозберігаючих установок через їхню здатність працювати на газоподібному паливі з низьким вмістом метану.

На базі агрегатів простої теплової схеми "Turbomach S.A." комплектує і продає когенераційні та парогазові установки різноманітного призначення.

Контрольні завдання

1. Дайте загальну характеристику науково-виробничим центрам компанії "Siemens AG".

2. Проаналізуйте номенклатуру і характеристики енергетичних та привідних ГТА, що випускаються "Siemens AG".

3. Розкрийте особливості конструктивного виконання двигунів SGT6-3000E, SGT6-5000F та SGT6-6000G науково-виробничого центру в м. Орlando (США).

4. Охарактеризуйте спільні та відмітні риси будови двигунів SGT5-2000E, SGT5-3000E і SGT5-4000F науково-виробничого центру в м. Ерланген та Берлін (Німеччина).

5. Проаналізуйте особливості комплектації парогазових установок типу "Power Island" та "Complete power plant" компанії "Siemens AG".

6. Дайте характеристику комплектації ГТА типу "Ecoporac" компанії "Siemens AG".

7. Охарактеризуйте основні типи суднових ГТА компанії "Rolls-Royce plc".

8. Поясніть будову та основні характеристики ГТА марок "Coberra 2000" і "Coberra 6000" науково-виробничого центру в м. Ковентрі та Маунт Вернон.

9. Дайте характеристику енергетичним агрегатам компанії "ALSTOM S.A.".

10. Поясніть особливості конструкції та основні характеристики двигунів серії "THM" компанії "MAN Turbo AG".

* Див. опис продукції компаній "Solar Turbines Inc." та "Rolls-Royce plc".

Розділ 3. АГРЕГАТИ ВИРОБНИЦТВА ПІДПРИЄМСТВ США ТА КАНАДИ

На сьогодні основним виробником промислових та суднових газотурбінних агрегатів на американському континенті (як і в усьому світі) є компанія "General Electric Co.". Випуск ГТА з кінця 40-х років здійснюється у двох її основних науково-виробничих центрах. Перший з них, розташований у м. Цинциннаті й Лінн, базується на авіаційному газотурбобудуванні компанії; другий центр у м. Сканектеді історично розвивався в дослідницьких лабораторіях та виробничих приміщеннях парового турбобудування, хоча також найтісніше пов'язаний з авіадвигунобудуванням. У 90-х роках до складу "General Electric Co." повністю переходить італійське підприємство "Nuovo Pignone S.p.A.", на місці якого після реорганізації остаточно формується третій науково-виробничий центр, який займається головним чином виготовленням, комплектацією і постачанням ГТА привідного призначення.

Підприємство "Solar Turbines Inc." пропонує споживачу значний асортимент агрегатів різноманітного призначення потужністю 1...15 МВт. Окремі промислові та суднові ГТА випускаються також компаніями "Pratt & Whitney Corp.", "Vericor Power Systems Inc.", "Honeywell International, Inc." і "Dresser-Rand Co.". Необхідно відзначити, що підприємства в м. Орландо й Індіанаполіс, які раніше входили до складу відповідно "Westinghouse Electric Corp." та "General Motors Corp.", сьогодні належать європейським компаніям "Siemens AG" і "Rolls-Royce plc". Розташування основних центрів промислового та суднового газотурбобудування на території США і Канади показано на рис. 3.1.1.



Рис. 3.1.1. Розташування основних центрів промислового та суднового газотурбобудування на території США і Канади

3.1. "General Electric Company" (США)



Повне найменування: "General Electric Company".

Штаб-квартира: м. Феєрфілд, штат Коннектикут, США.

Чисельність працюючих: 316 тис. чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

Виникненню "General Electric Co." багато в чому сприяв видатний американський інженер та винахідник Томас Альва Едісон (рис. 3.1.2). Створювач науково-дослідної лабораторії в м. Менло Парк (штат Нью Джерсі), винахідник телефонного вуглецевого перетворювача і фонографа у 1878 р. вирішив для масового виробництва електричних ламп накаливання й створення електроосвітлювального встаткування заснувати в Нью-Йорку компанію **"Edison Electric Light Company"**, співвласниками якої стали фінансисти Дж. Морган та У. Вандербільт. Едісон не був винахідником лампи накаливання, але завдяки йому електроосвітлювальні прилади вперше були введені в масове виробництво й електричне освітлення, особливо побутове, стало економічно виправданим.

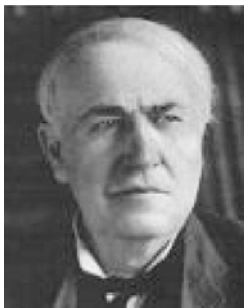


Рис. 3.1.2. Томас Едісон (1847–1931)

У 1882 р. "Edison Electric Light Co." вводить у дію в Нью-Йорку найбільший у світі пароелектричний генератор ("Jumbo") потужністю 90 кВт (120 к. с.), який приводив у дію динамо-машину потужністю 50 кВт. На базі цього генератора у вересні того ж року Едісон створює першу в світі комерційну електростанцію ("Edison Electric Illuminating Co."), використовуючи для цього розроблену ним розподільну систему, що поставляла до 59 споживачів нижнього Манхеттена постійний струм напругою 110 В.

У 1887 р. Т. Едісон перемістив основне виробництво з м. Менло Парк у м. Сканектеді (штат Нью-Йорк).

Зростаючі замовлення на виготовлення електроосвітлювального встаткування обумовили необхідність розширення виробництва, що потребувало залучення в компанію додаткового капіталу – внаслідок чого у 1890 р. засновується **"Edison General Electric Company"**. Для оплати свого внеску Т. Едісон передав до її складу всі свої лабораторії та підприємства. Іншим засновником став нью-йоркський банківський консорціум, очолюваний Дж. Морганом. Незабаром після заснування компанії, в якій Едісону належало 25 % акцій, було прийнято рішення про додаткову емісію. Оскільки власних коштів у Едісона не було, а патенти і приналежні йому підприємства він уже вклав, його частка знизилася до 10 %.

У 1891 р. Дж. Морган веде переговори із Чарльзом Коффіном, керівником і співвласником іншої великої американської електротехнічної фірми "Thomson-Houston Electric Co.". Коффін відмовляється продавати компанію та пропонує злиття, аргументуючи це тим, що "Thomson-Houston Electric Co.", хоча й поступається "Edison General Electric Co." з обороту і капіталу, проте одержує в 1,5 рази більше прибутку. У 1892 р. банківський консорціум під керівництвом Дж. Моргана об'єднав "Edison General Electric Co." та "Thomson-Houston Electric Co.", присвоївши новій корпорації таку назву – **"General Electric Company"**. Виконавчим директором став Ч. Коффін, який керував підприємством до 1922 р. Штаб-квартиру "General Electric Co." розміщено у м. Сканектеді.

Компанія "Thomson-Houston Electric Company" була заснована у 1883 р. злиттям двох електротехнічних підприємств – "American Electric Company" Елаї Томсона (1853–1937) та фірми Едвіна Х'юстона (1847–1914). Вона мала у своєму розпорядженні мережу філій по всьому світу, з яких найбільш значними надалі стали "British Thomson-Houston Company" (Великобританія) та "Compagnie Francaise Thomson-Houston" (Франція). (Залишки обох сьогодні входять до складу "ALSTOM S.A.".)

У 1896 р. уперше в США на підставі показників 12 провідних компаній був визначений індекс промислового розвитку Доу-Джонса. "General Electric Co." – і дотепер єдина фірма, яка завжди входила до цього списку.

Сьогодні "General Electric Company" є транснаціональною корпорацією і другою за величиною компанією у світі. Виробництвом продукції займаються 44 підприємства, розміщені на всіх континентах. Після реформи, проведеної у вересні 2005 р., компанія складається з таких основних підрозділів*:

"GE Infrastructure" (авіаційні двигуни, суднові та промислові енергетичні агрегати, встаткування для нафтогазової промисловості, транспортні засоби, фінансові послуги в названих галузях – 29 % від загального обсягу реалізованої компанією продукції у 2006 р.);

"GE Industrial" (промислове й природоохоронне встаткування, побутова техніка, синтетичні матеріали, послуги з обслуговування встаткування – 21 %);

"GE Healthcare" (медичне встаткування і системи – 10 %);

"NBC Universal" (медіа-корпорація – 10 %);

"GE Commercial Finance" (інвестиційна діяльність, фінансові послуги, торгівля нерухомістю – 15 %);

"GE Money" (кредитування окремих споживачів – 13 %).

Підрозділ **"GE Infrastructure"** зі штаб-квартирою в м. Цинциннаті (передмісто Івндейл) має наступні відділення: "GE Aviation" (8 % від загального обсягу реалізованої у 2006 р. продукції компанією "General Electric Co."); "GE Aviation

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.ge.com>.

Financial Services" (3 %); "GE Energy" (12 %); "GE Energy Financial Services" (1 %); "GE Oil & Gas" (3 %); "GE Transportation" (3 %).

Сумарний обсяг реалізованої у 2006 р. продукції компанії склав 163,4 млрд дол. (у 2001 р. – 108 млрд дол.). За межами США було реалізовано продукції на суму 85 млрд дол., що становить 52 % від її загального обсягу. З 85 млрд дол. 54 % приходилося на європейські країни, 24 % – країни тихоокеанського басейну, 13 % – американські країни.

Випуск промислових та суднових ГТА здійснюється у трьох науково-виробничих центрах, характеристика яких наводиться нижче.

3.1.1. Науково-виробничий центр у м. Цинциннаті, Лінн та Х'юстон (США)

Історія розвитку науково-виробничого центру в м. Цинциннаті (штат Огайо)*, Лінн (штат Массачусетс)** та Х'юстон (штат Техас)*** тісно пов'язана з авіаційним газотурбобудуванням компанії. Початком цього процесу "General Electric Co." вважає 1917 рік, коли уряд США, незабаром після вступу країни у Першу Світову війну, зайнявся пошуками компанії, здатної створювати і серійно виготовляти авіаційні поршневі двигуни з агрегатами газотурбінного наддування конструкції О. Рато (Франція). Ці агрегати, використовуючи енергію вихлопних газів для підвищення тиску повітря в робочих циліндрах, давали можливість експлуатувати літальні апарати на значно більших висотах і тим самим істотно поліпшували їхні тактико-технічні характеристики.

Уперше в історії американського військового авіабудування створення нової техніки проводилося на конкурсній основі: розробкою подібного агрегату паралельно займалися кілька компаній. За результатами демонстраційних випробувань представлених зразків (випробування проходили в атмосфері



Рис. 3.1.3. Сенфорд
Мосс

г. Пайкс на висоті 4,25 км над рівнем моря) як кращий для серійного виробництва був відібраний двигун "Liberty" потужністю 260 кВт, представлений "General Electric Co.". Необхідно відзначити, що роботи зі створення подібних конструкцій велися в компанії під керівництвом Сенфорда Мосса (рис. 3.1.3) починаючи з 1903 р.

Протягом наступних 25 років підприємство спеціалізувалося на виробництві турбонагнітачів та чимало літаків військової авіації США як у довоєнний

* Місто з населенням 331 тис. чол. (2000 р.). Адреса підприємства: One Neumann Way, Cincinnati, OH 45215, U.S.A.

** Місто з населенням 89 тис. чол. (2000 р.). Адреса підприємства: 1000 Western Avenue, Lynn, MA 01910, U.S.A. Завод у м. Лінн є одним з найдавніших для "General Electric Co." і належав ще компанії Елаї Томсона "American Electric Co.".

*** Місто з населенням 2016 тис. чол. (2005 р.). Адреса підприємства: 2707 North Loop West, Houston, TX 77008, U.S.A.

період, так і під час Другої Світової війни були оснащені ними. Наявний науково-технічний наробіток та тривале співробітництво з військовим відомством мали вирішальне значення при виборі компанії на роль створювача першого американського ТРД.

Наприкінці 1941 р. в умовах Другої Світової війни британський уряд безоплатно передав США документацію на виготовлення створеного Ф. Вітлом турбореактивного двигуна W.1. Для налагодження виробництва цього двигуна в жовтні того ж року прибула група англійських фахівців. (У червні 1942 р. в Америку для консультування прилітав Ф. Вітл.) Замовлення на створення американської версії W.1 одержала "General Electric Co.". Роботи зі створення двигуна велися на заводі компанії у м. Лінн. Через шість місяців, 18 квітня 1942 р., відбувся перший запуск цього двигуна, який одержав найменування **I-A**. Над сухим озером Марок (штат Каліфорнія) 1 жовтня того ж року відбувся політ літака XR-59A "Aircomet" компанії "Bell", оснащеного двома ТРД I-A, що означало вступ США в еру реактивної авіації. Кожний із двигунів розвивав тягу 565 кгс. (Для порівняння: тяга сучасних GE90-115B компанії становить 52150 кгс, тобто в 92 рази більше.)

Модель двигуна Ф. Вітла з відцентровим компресором була розвинена у декількох наступних ТРД "General Electric Co.", створених у 1942–1945 рр.: **I-14**, **I-16** (американська версія W.2B/23 "Welland"; у серії – J31), **I-18** та **I-40** (посилена версія англійського W.2B/26 "Derwent"). Останній був найкращим, розвивав тягу 1815 кгс та одержав у серії найменування **J33**. Ним оснащувалися перші американські серійні винищувачі P-80 "Shooting Star" компанії "Lockheed". У 1947 р. на цьому літаку був установлений світовий рекорд швидкості – 1000 км/год.

Наприкінці війни компанія завершила роботи зі створення свого першого ГТД з осьовим компресором*. Після експериментального **TG100** (Т31) (перший американський турбогвинтовий двигун) була створена турбореактивна модель **TG180**, яка під найменуванням **J35** серійно випускалася для винищувачів D-558-1 "Skystreak", F-84 "Thunderjet" та бомбардувальників YB-49. Необхідно відзначити, що F-84 "Thunderjet" став одним з найбільш масових у світі реактивних винищувачів та винищувачів-бомбардувальників першого покоління.

Однак, у 1947 р. за рішенням уряду США серійний випуск відтворених "General Electric Co." у 1941–1945 рр. версій ТРД Ф. Вітла з відцентровим компресором, а також нового двигуна J35 передається підприємству в м. Індіанаполіс ("Allison Division"), яке належало "General Motors Corp."

Незважаючи на такий розвиток подій, уже наприкінці 1947 р. "General Electric Co." завдяки новому двигуну **J47** (TG190) тягою 2265 кгс знову стає

* Роботи над проектом почалися влітку 1941 р. після одержання урядового замовлення і велися до кінця війни на заводі в Сканектеді.

провідним виробником газотурбінної техніки. Цей двигун застосовувався на багатьох військових літаках того часу, найбільш відомим з яких став винищувач F-86 "Sabre".

Широке використання цього винищувача під час корейської війни, де він протистояв радянським МиГ-15, обумовило той факт, що двигун J47 на якийсь час став найбільш масовим ТРД у західному світі. Компанією до кінця 50-х років було виготовлено більше 35 тис. од. J47. Цей двигун став першим американським ТРД, сертифікованим для цивільного застосування, а також першим двигуном, в якому застосована електронно-керована форсажна камера згоряння.

Наприкінці 40-х років стало очевидним, що виробничі потужності заводу в м. Лінн не зможуть надалі задовольнити зростаючі замовлення на виготовлення авіаційних двигунів. Тому в 1948 р. "General Electric Co." купує федеральний завод у **передмісті Івндейл** м. Цинциннаті (штат Огайо) і переносить туди основну частину газотурбобудівного виробництва. Підприємство починає працювати з 28 лютого 1949 р.

Війна в Кореї зумовила стрімкий розвиток газотурбінного виробництва "General Electric Co.". За 20 місяців чисельність працівників заводу в Івндейлі зросла в 10 разів (з 1200 до 12000 чол.); виробнича площа при цьому – в 3 рази. У 1951 р. "General Electric Co." оголосила про створення в Івндейлі одного з найбільших у світі науково-виробничих центрів з випуску ГТД військового і цивільного призначення. У 1954 р. (після шестимісячної реконструкції) цей центр розпочинає свою роботу. Тут же відкривається штаб-квартира авіадвигунобудівного підрозділу компанії. Відтоді завод у м. Лінн головним чином випускав авіадвигуни малої потужності.

У 1950 р. для оснащення подальшої модифікації винищувача F-86Н фахівцями "General Electric Co." був розроблений двигун **J73** тягою 4200 кгс на форсажі.

Для нової серії американських винищувачів "Century", здатних розвивати швидкість у два рази вищу за швидкість звуку, компанія створює турбореактивний двигун **J79**, відмітною рисою якого стало застосування компресора з регульованою геометрією напрямних лопаток. Протягом 30 років головним чином для винищувачів F-104 "Starfighter" та F-4 "Phantom II" було створено більше 17 тис. од. J79. Модифікація цього двигуна під назвою **CJ805** використовувалася на пасажирських літаках "Convair 880". (Це було перше застосування ТРД "General Electric Co." у цивільній авіації.)

Паралельно із цим компанія вела роботи зі створення своїх перших турбовальних двигунів. На початку 50-х років проходить випробування двигун T58 потужністю 600 кВт. Двома **T58** оснащувався HSS-1F компанії "Sikorsky" – перший у США вертоліт, обладнаний газотурбінною установкою. Двигун T58 став попередником численних турбовальних ГТД, розроблених і серійно виготовлюваних заводом у Лінні, включаючи також сімейство вдалих двигунів

T700/CT7. (За даними на 2006 р. було продано 11400 од. представників T700/CT7; вони експлуатувалися 133 компаніями у 57 країнах.)

У 50–60-х роках "General Electric Co." для літаків, здатних розвивати швидкість у три рази більшу за швидкість звуку, розробляє турбореактивний **J93**. (Установлювався на експериментальних бомбардувальниках ХВ-70.) Додавання вентилятора у задній частині J93 створило перший турбовентиляторний двигун американської цивільної авіації: **CJ805** установлювався на лайнерах "Convair 990". Участь у конкурсі на оснащення вантажного літака американської армії С-5 "Galaxy" спонукала компанію застосувати вентилятор більшого розміру і розташувати його у фронтальній частині J93. У результаті був створений **TF39** – перший у світі турбовентиляторний двигун з високою мірою двоконтурності. У цей же період завод у Лінні розробляє турбореактивний **J85** для "недорогих" бойових літаків F-5 "Freedom", що випускалися компанією "Northrop". Даний літак незабаром став стандартом літака цього класу і знайшов застосування у військово-повітряних силах 30 держав.

Розвиток газотурбобудування у 60-х роках обумовив перехід до більш компактної конструкції двигуна: з одноступінчастою турбіною та двохопорним ротором замість раніше застосовуваного трьохпорного. Це привело до створення турбовентиляторного **F101**, що використовувався на бомбардувальниках В-1 армії США.

Значення двигунів "General Electric Co." для американського військово-промислового комплексу продовжувало зростати у 80-х роках. Високонадійні **F110**, що базувалися на конструкції F101, були обрані для винищувачів F-16C/D "Fighting Falcon" у 1984 р., що призвело до так званої "Великої війни двигунів" між "General Electric Co." та її постійним суперником "Pratt & Whitney Corp.". Також двигун F110 сьогодні часто встановлюється і на попередніх модифікаціях F-16 (замість F100 "Pratt & Whitney Corp."). Перевагу двигуну F110 надали військово-повітряні сили Ізраїлю, Греції, Туреччини, Єгипту, Бахреїну, Об'єднаних Арабських Еміратів, Чилі й Оману. Крім того, двигун установлюється на японському винищувачі F-2 та американському морському винищувачі F-14B/D "Super Tomcat". Модифікацією F110 під назвою **F118** оснащуються бомбардувальники США В-2.

Також у 80-х роках почалося серійне виробництво турбовентиляторного двигуна **F404**, призначеного для штурмовиків типу F/A-18 "Hornet". У цей час F404 є найбільш універсальним військовим двигуном у світі, який приводить у рух більше 3700 літаків різноманітного призначення, включаючи винищувачі F-117 "Stealth". Модифікаціями F404 оснащуються також шведські бойові літаки JAS39 "Gripen" та сингапурські А-4S "Super Skyhawk".

У галузі цивільного авіадвигунобудування "General Electric Co.", базуючись на технології військового TF39, у 1971 р. представила новий двигун **CF6-6** (турбовентиляторний з високою мірою двоконтурності), який

знайшов застосування на пасажирських літаках DC-10 компанії "Douglas". У 70–90-х роках сімейство CF6 розширилося за рахунок моделей CF6-50, CF6-80A, CF6-80C2 та CF6-80E1. Сьогодні двигуни CF6 є найбільш розповсюдженим приводом широкофюзеляжних літаків, включаючи B-747 і B-767 компанії "Boeing"; A300, A310 та A330 компанії "Airbus", а також MD-11 виробництва "McDonnell Douglas". Сумарний наробіток цього сімейства до 2000 р. перевищив 230 млн год. Двигуном **CF6-80C2** оснащується літак "Air Force One" ("Boeing 747") президента США.

Успішний розвиток сімейства CF6 ішов паралельно з розвитком двигунів у рамках підприємства "**CFM International**" – спільної (з однаковою пайовою участю) компанії, організованої "General Electric Co." та французькою "SNECMA".

У 1971 р. "SNECMA" звернулася до "General Electric Co." з пропозицією про спільний випуск турбовентиляторних двигунів невеликої потужності цивільного призначення. Засноване підприємство "CFM International" почало створювати подібні ГТД, використовуючи технологію виробництва вентиляторів французької фірми і газогенератор двигуна F101 "General Electric Co.". Метою підприємства було підкорення частини авіаційного ринку, на якій у той час домінували турбовентиляторні двигуни малої двоконтурності, зокрема JT8D "Pratt & Whitney Corp.". Хоча "CFM International" була заснована у 1974 р., своє перше замовлення вона одержала лише в 1979 р., коли **CFM56-2** був обраний для переоснащення серії цивільних літаків DC-8. Незабаром після цього, військове відомство США обирає CFM56-2, що був перейменований на **F108**, для переоснащення танкерних літаків типу KC-135.

У 80–90-х роках цим двигуном були обладнані більше 500 цивільних і військових літаків з усього світу. За даними на 2006 р. новий **CFM56-3** планувалося розмістити майже на 2000 літальних апаратів, включаючи пасажирські B-737-300, B-737-400 та B-737-500 компанії "Boeing". Двигуни **CFM56-5A** та **CFM56-5B** для аеробусів A318, A319, A320 і A321 замовили 1300 фірм та операторів. **CFM56-5C** обраний як ексклюзивна енергоустановка для 4-двигунового A340. Наприкінці 1993 р. для серії пасажирських лайнерів B-737-600, B-737-700, B-737-800 і B-737-900 почалося виробництво моделі **CFM56-7**. Сьогодні кожні чотири секунди в повітря піднімається літак, оснащений ГТД підприємства "CFM International".

На початку 90-х років "General Electric Co." для двомоторних лайнерів "Boeing 777" розробила турбовентиляторний двигун **GE90**, перша модель якого пройшла сертифікацію у 1995 р. На сьогодні модифікація GE90-115В занесена у книгу світових рекордів Гіннеса з показником тяги 55765 кгс і вважається найпотужнішим реактивним двигуном. Діаметр вентилятора GE90-115В становить 3,25 м, міра двоконтурності – 9.

Також на початку 90-х років науково-виробничий центр у Цинциннаті представив турбовентиляторний двигун **CF34**, створений на базі військового

TF34, який використовується на літаках A-10 та S-3A. Моделями CF34-3A і CF34-3B оснащуються в цей час пасажирські CL601 та CL604 компанії "Bombardier", моделями CF34-3A1 і CF34-3B1 – літаки місцевих авіаліній CRJ100 та CRJ200 цієї ж фірми.

Двигунами сімейства **CF34-8**, створеними наприкінці 90-х, оснащуються CRJ700 та CRJ900, а також літаки "Embraer 170" і "Embraer 175". Нещодавно для "Embraer 190", "Embraer 195" і китайських регіональних літаків ARJ21 розроблене сімейство двигунів **CF34-10**.

У серпні 1996 р. "General Electric Co." та "Pratt & Whitney Corp." організували спільне підприємство ("**GE-P&W Engine Alliance**") зі створення серії двигунів **GP7200** для аеробусів A380. У травні 2001 р. ці двигуни знайшли перше застосування на літаку A380-800 компанії "Air France". У цей час замовлення на GP7200 оцінюються на суму близько 900 млн дол.

Разом з науково-виробничими центрами компанії "Rolls-Royce plc" в Індіанapolis і Брістолі "General Electric Co." з кінця 90-х років веде розробку двигуна **F136** для бойового літака типу "Joint Strike Fighter".

Для нових пасажирських лайнерів "Boeing 787", а також аеробусів A350 і "Boeing 747-8" розробляється нова модифікація двигуна GE90 – **GENx** ("next generation").

Науково-виробничий центр у Цинциннаті та Лінні почав роботи зі створення **наземних газотурбінних агрегатів** наприкінці 40-х років. На базі TG100 і TG180 під керівництвом Алана Говарда були побудовані одновальні ГТД потужністю 3,4 та 6,3 МВт. Ці двигуни, оснащені осьовим компресором і двоступінчастою турбіною, разом з електрогенераторами встановлювалися у 1948–1961 рр. на локомотивах фірми "American Locomotive Co." ("ALCO") та експлуатувалися компанією "Union Pacific" на залізницях США до 1970 р. Усього цих локомотивів було побудовано 55 од.

У 1959 р. завод в Індейлі представив свій перший судновий двигун **LM1500**, конвертований із вдалого турбореактивного J79*. Програма робіт з конвертації ставила за мету забезпечення ресурсу ГТД до капітального ремонту не менше 5000 год і можливості роботи на морському дизельному паливі. При початковій температурі газу 1115 К та мірі підвищення тиску 12 потужність першої модифікації LM1500 становила 7,7 МВт при ККД 23 %. (У наступних версіях ці параметри були доведені до 10 МВт і 28 %.) Своє перше застосування двигун знайшов у складі енергетичної установки корабля на підводних крилах "Denison". Він випускався до початку 90-х років. Усього було виготовлено 182 двигуна.

На початку 60-х років завод у Лінні на базі серійно виготовлюваних турбовальних T58 створює судновий ГТД **LM100** потужністю 750 кВт і ККД 21 %.

* Аббревіатура "LM" означає "Land & Marine". Цифри у найменуванні орієнтовно відповідають проектній потужності двигуна в кінських силах.

(Роботи почалися у 1959 р.) Двигун був виконаний двовальним. Осьовий 10-ступінчастий компресор забезпечував міру підвищення тиску повітря 8,3. Початкова температура газу становила 1171 К. Турбіни мали відповідно два та один ступені. Основною галуззю застосування LM100 були судна на підводних крилах та повітряній подушці.

У 1968 р. науково-виробничий центр у Цинциннаті почав виробництво **LM2500**, який базувався на турбовентиляторному TF39 і спочатку мав потужність 15 МВт. Двигун LM2500 дотепер є основою суднового і промислового газотурбобудування "General Electric Co.". Він установлений на 50 класах суден, які належать флотам 26 країн.

З 1980 р. для суден з динамічним принципом підтримання ведеться випуск двовального двигуна **LM500** потужністю 4 МВт, одержаного шляхом конвертації авіаційного TF34 за участю італійської компанії "FiatAvio S.p.A.".

У 1977 р. науково-виробничий центр почав випробування головного зразка нового **LM5000**. З 1984 р. велося його серійне виробництво. Двигун LM5000 був розроблений на базі турбовентиляторного CF6-50 і вперше для лінії "LM" мав не дво-, а тривальну роторну схему. Компресор низького тиску 5-ступінчастий та компресор високого тиску 14-ступінчастий забезпечували міру підвищення тиску 26. Потужність двигуна становила 37 МВт при ККД 38 %. Він широко застосовувався як в наземних установках, так і на великих високошвидкісних кораблях та суднах.

У 80-х роках підприємство в Цинциннаті представляє новий тривальний двигун **LM1600** потужністю 14 МВт, заснований на авіаційному турбовентиляторному F404, 1580 од. якого до кінця 1988 р. напрацювали в сумі більше 1,5 млн год. У цей час LM1600 знаходить успішне суднове та промислове застосування.

У другій половині 90-х років турбовентиляторний CF6-80 конвертується в промисловий двигун **LM6000** (потужність – 43 МВт, ККД – 42 %), який незабаром витиснув з виробництва менш ефективний LM5000. Також з'являються поліпшені низькоемісійні модифікації двигунів LM2500 та LM1600.

* * *

Сьогодні науково-виробничий центр у мм. Цинциннаті та Лінн становить основу відділення "**GE Aviation**". (Це відділення з 1987 по 2005 рр. мало найменування "GE Aircraft Engines".) В Індейлі розташовуються його штаб-квартира та основні дослідницькі лабораторії. "GE Aviation" є найбільшим у світі виробником двигунів для військової та цивільної авіації. Відділення поставляє також ГТА морського і промислового призначення, створені на базі добре зарекомендованих авіаційних двигунів. Крім того, надається широкий спектр послуг з технічного обслуговування і ремонту ГТД як власного виробництва, так й інших світових виробників. Необхідно відзначити, що "GE Aviation" не тільки виконує такі базові види послуг технічного обслуговування,

як капітальний ремонт усього ГТД і окремих вузлів, але й задовольняє різноманітні запити замовників, що дозволяє значно підвищити продуктивність останніх. Загальна чисельність співробітників "GE Aviation" у 2006 р. становила 26500 чол., сумарний обсяг реалізованої продукції – 13,2 млрд дол.

Завод в Івндейлі в цей час здійснює загальне збирання авіаційних двигунів сімейства CFM56, а також суднових і промислових ГТА, створених на базі авіаційних двигунів.

Завод у Лінні спеціалізується на виробництві турбовальних T700 і CT7, турбовентиляторних F404 та F414, суднових і промислових модифікацій двигунів LM1600 та LM500, танкових LV100. Також у цьому місті розташований підрозділ, який виготовляє редуктори різноманітного призначення (у т. ч. і суднові).

На третьому основному заводі "GE Aviation" у м. Дурхем (штат Північна Кароліна) збираються двигуни сімейств GE90, CF6 та CF34. Складові частини для ГТД виготовляють допоміжні підприємства в мм. Бромон (штат Квебек, Канада), Гуксетт (штат Нью Гемпшир), Медісонвіль (штат Кентуккі) та Рутленд (штат Вермонт).

Пекіджування та тестові дослідження газотурбінних агрегатів лінії "LM" здійснюються на підприємстві компанії в м. Х'юстон (штат Техас)*. Тут же проводиться капітальний ремонт виготовлюваних ГТА. Необхідно відзначити, що до 1998 р. це підприємство належало компанії "Stewart & Stevenson International, Inc."

Для енергетичного, привідного та суднового призначення науково-виробничий центр пропонує ГТА на базі таких двигунів:

LM500 потужністю 4,5 МВт і ККД 31 %;

LM1600 потужністю 14 МВт та ККД 36 %;

LM2000, LM2500 і LM2500+ потужністю 18...31 МВт із ККД 36...39 %;

LM6000 потужністю 44...48 МВт та ККД 41...43 %;

LMS100 потужністю 100 МВт і ККД 44...45 %.

Разом з "Honeywell International, Inc." ведеться створення танкового двигуна LV100-5 потужністю 1,1 МВт та ККД 36 %. На базі ГТА простої теплової схеми науково-виробничий центр виготовляє парогазові та когенераційні установки різноманітного призначення і комплектації.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун LM500

Газотурбінний LM500 був розроблений наприкінці 70-х років "General Electric Co." сумісно з італійською фірмою "FiatAvio S.p.A." шляхом конвертування авіаційного турбовентиляторного двигуна TF34. Випробування головного

* Після реформи 2005 р. підприємство в Х'юстоні відноситься до підрозділу "GE Energy".

зразка завершилися у 1979 р., серійне виробництво ведеться з 1980 р. Двигун використовується як головний на суднах з динамічними принципами підтримання, як маршовий у комбінованих установках великої потужності, а також для приводу електрогенераторів на суднах підвищеної водотоннажності.

Двигун LM500 розроблявся на базі LM2500, унаслідок чого було перейнято чимало з його конструктивних рішень, а також використані матеріали і технологічні процеси. При конвертуванні в базовий TF34 були внесені такі зміни: вилучено передній вентилятор, а упор ротора збалансований заднім ущільненням в турбіні; соплові й робочі лопатки обох турбін оснащені захисними покриттями, здатними протистояти гарячій корозії та впливу солей і сірки (аналогічні покриттям двигуна LM2500); доданий датчик для регулювання частоти обертання ротора турбіни компресора та його захисту при перевищенні обертів; з метою збільшення ресурсу знижена початкова температура газу; розроблена нова система паливопостачання, багато вузлів якої розміщені поза двигуном.

За конструкцією LM500 виконаний двовальним за простою тепловою схемою. Для полегшення запуску, набирання потужності та досягнення гарних антипомпажних характеристик вхідний напрямний апарат та перші п'ять ступенів 14-ступінчастого осьового компресора мають перемінну геометрію проточної частини. Керування регульованими напрямними лопатками не залежить від паливної системи регулювання і здійснюється за допомогою сервомоторів, робочою рідиною яких є масло.

Передній корпус компресора виконаний з алюмінієвого лиття й оснащений чотирма радіальними стояками. Напрямні та робочі лопатки виготовляються з титанових та нікелевих сплавів. Ротор конструктивно складається з трьох дисків і двох барабанних частин. Корпус має горизонтальне рознімання. На передній рамі компресора встановлена коробка приводів допоміжних механізмів з кінчною зубчастою передачею від ротора компресора.

Камера згоряння двигуна виконана кільцевою, прямоотоковою, оснащена 16-ма індивідуальними паливними форсунками та двома запальниками. Турбіна компресора – двоступінчаста, з повітряним охолодженням усіх чотирьох рядів лопаток. Соплові й робочі лопатки її виготовляються з матеріалів "Rene 80" та X40. Робочі лопатки обох ступенів виготовляють шляхом спрямованої кристалізації. На їхню поверхню наносять покриття типу RT22. На соплові лопатки наноситься покриття типу "CODER". Диски турбіни виготовляються зі сплаву IN718, корпусні елементи – з IN718 та IN706.

Силова турбіна – 4-ступінчаста, неохолоджувана. Потужність від неї передається через центральний вал, який проходить усередині вала газогенератора, до фланця відбирання потужності, розташованого в передній частині двигуна. Матеріал IN718 використовується для виготовлення елементів ротора, корпусу і рами. Робочі лопатки всіх ступенів обандажені та виконані зі сплаву "Rene 77".

Ротор газогенератора встановлюється на трьох опорах – одному радіально-упорному кульковому (передня опора) і двох роликових підшипниках. Ротор силової турбіни підтримується двома роликовими підшипниками. Вихідний вал спирається на кульковий та роликовий підшипники. Усі підшипники виготовлені зі сталі М50.

Технічні характеристики суднового ГТА з двигуном LM500 становлять: номінальна потужність на вихідному валу ГТД – 4,48 МВт, ККД на вихідному валу ГТД – 31,4 %, витрата робочого тіла – 16,3 кг/с, міра підвищення тиску – 14,4, температура газу перед силовою турбіною – 1052 К, температура газу за ГТА – 838 К, частота обертання компресора – 16500 об/хв, частота обертання силової турбіни – 7000 об/хв, маса – 0,9 т, габарити – 3,0×0,9×0,9 м.

За даними на 2006 р. в експлуатації знаходилися або готувалися до введення у дію 67 двигунів LM500, сумарний наробіток яких на той час досяг 1,8 млн год. Із цієї кількості 140 тис. год відносилось до суднового застосування. Більшість із LM500 (45 од.) використовуються у складі суднових енергетичних установок. П'ять з них встановлено на трьох ракетних катерах на підводних крилах типу "Ichi Go" японських морських сил самооборони. Інші розміщені на 14 патрульних катерах класу "Stanflex 300" (Данія), швидкісних патрульних катерах класу "Hayabusa" (Японія), кораблях на підводних крилах класу "Sparviero" (Італія) та двох високошвидкісних поромках катамаранного типу "Foilcat" (Гонконг). Крім цього ще 22 двигуна LM500 знайшли різноманітне промислове застосування (головним чином у когенераційних та газоперекачувальних установках). Головний промисловий ГТА має наробіток 88 тис. год.

За цінами 2004 р. вартість одного суднового LM500 становила 1,85... 2,25 млн дол.

Двигун LM1600

Двигун LM1600 (рис. 3.1.4 та 8Д, табл. 3.1.1) належить до конвертованих ГТД авіаційного типу третьої генерації "General Electric Co.". Уперше він був представлений на виставці в Німеччині у 1985 р. Випускаються його енергетичні, привідні та суднові модифікації. Основою для створення газогенератора LM1600 став турбовентиляторний двигун F404, що мав до кінця 1988 р. сумарний наробіток 1,5 млн год (на базі 1580 двигунів).

На відміну від попередніх ГТД компанії LM1500 та LM500 двигун LM1600 виконаний за двокаскадною схемою з вільною силовою турбіною. Перевагою порівняно з іншими двигунами цього класу є істотно менше число компресорних ступенів. Компресор низького тиску (міра підвищення тиску – 4,0) має три осьові ступеня з відповідною кількістю робочих лопаток – 28, 42 та 52. У КВТ у сумі входить сім ступенів із 474 робочими лопатками. Усього в компресорах LM1600 менше 600 робочих лопаток при загальній мірі підвищення

тиску 22,2. (Для порівняння в LM1500 при значенні цього показника 11,2 близько 1000 робочих лопаток.)

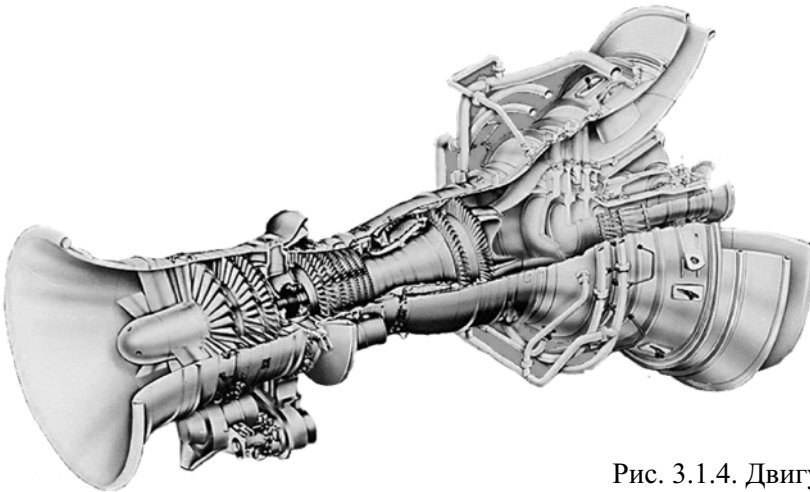


Рис. 3.1.4. Двигун LM1600

Таблиця 3.1.1. Характеристики агрегатів на основі двигуна LM1600

Параметри	Енергетичні		Привідні		Судновий
	LM1600PE	LM1600PD	LM1600PE	LM1600PD	LM1600
Номінальна потужність, МВт	13,7	13,8	14,3		
ККД, %	35,0	34,9	36,3	36,1	36,6
Витрата робочого тіла, кг/с	47,3	47,1	47,3	47,1	47,2
Міра підвищення тиску	20,2	20,1	20,2	20,1	21,4
Температура газу, К: перед силовою турбіною за ГТД	1010 764	— 771	1010 764	— 771	1030 783
Частота обертання силової турбіни, об/хв	7000				
Маса, т	86,2		21,8		3,7
Габарити, м	15,3×3,7×4,4		9,3×3,7×4,7		4,2×2,0×2,0

У процесі створення двигуна були вкорочені лопатки КНТ для одержання заданої витрати повітря; розроблена нова конструкція переднього корпусу з лемніскатним входним пристроєм і центральним обтічником; зменшена кільцева площа соплового апарата ТВТ та зроблена заміна матеріалів і покрить ряду деталей. Так, наприклад, для виготовлення соплового апарата ТВТ застосований більш дешевий матеріал – сталь Х40, робочі лопатки КНТ та перших двох ступенів КВТ виготовлені з кованого сплаву Ті6-4, напрямні лопатки КВТ – з кованого сплаву

"Inconel 718", жарова труба – зі сплаву "Hastelloy", робочі лопатки ТВТ і ТНТ – зі сплаву "Rene 80". Для виготовлення дисків ТНТ використаний сплав "Inconel 718".

Процес запуску і набирання навантаження двигуна має ряд особливостей. Під час запуску близько 25 % витрати повітря КНТ скидається в атмосферу через чотири електронно-керовані байпасні клапани, які розміщені на проміжному корпусі між КНТ та КВТ. Після виходу на повну частоту обертання водночас із набиранням навантаження ці клапани починають закриватися. Повне закриття клапанів відбувається на режимі 50 % потужності ГТД, що забезпечує прийом навантаження без помпажу. Час виходу двигуна на режим номінальної потужності від моменту пуску не перевищує 10 хв.

Висока стійкість роботи компресорної частини у всьому діапазоні режимів досягнута внаслідок застосування байпасних клапанів та регульованих вхідних напрямних апаратів КНТ і КВТ. Регульовані лопаткові апарати забезпечують одержання максимальної витрати повітря обох компресорів на режимі повної потужності при різних температурах навколишнього середовища й гарантують оптимальні характеристики на нерозрахованих режимах. Керування зазначеними елементами відбувається залежно від температури повітря на вході до ГТД і частоти обертання роторів компресорів.

Кільцева камера згоряння має 18 індивідуальних форсунок і два пускових блоки. Можливим є використання як газоподібного, так і рідкого палива, а також двох палив одночасно, причому переключення з одного виду палива на інший може здійснюватися на повній потужності ГТД. Турбінна частина складається з одноступінчастих ТВТ і ТНТ, а також двоступінчастої силової турбіни. У промислових модифікаціях двигуна соплові та робочі лопатки ТВТ і ТНТ для підвищення опірності корозійному й ерозійному руйнуванню покриті нікель-алюмінідовою речовиною типу "CODEP". У судновому LM1600 на соплові лопатки ТВТ нанесене термобар'єрне покриття; соплові лопатки ТНТ покриті речовиною "CODEP", робочі лопатки обох турбін – речовиною PBC22.

Двигун LM1600 виконаний з розвинутою системою охолодження. Для охолодження ТНТ і силової турбіни використовується повітря, яке відбирається із 4-го ступеня КВТ та зі спрямного апарата на виході з КВТ. Повітря, що відбирається за КВТ, і вторинне повітря камери згоряння охолоджують соплові та робочі лопатки, а також диск одноступінчастої ТВТ. Для охолодження в сумі використовується близько 24 % компресорного повітря.

При стандартних атмосферних умовах і повній потужності температура газу за камерою згоряння суднового LM1600 становить 1513 К, частота обертання ТВТ – 15635 об/хв, ТНТ – 12900 об/хв. Температура металу лопаток нижче, ніж у ГТД першої та другої генерацій. Ротори турбокомпресорів обертаються в п'яти підшипникових опорах: ротор ТКНТ – у 1, 2, 3, 4 та 5-й опорах, ротор ТКВТ – у 3 і 4-й опорах. Опорні підшипники – роликові, 1 і 3-й упорно-опорні підшипники – кулькові. Спільною для ТНТ та ТВТ є 4-а опора.

Масляна система двигуна виконана за схемою із "сухим картером". Багатосекційні напірний і відкачувальні насоси мають подвоєну, порівняно з розрахунковою, продуктивність. Один насос подає масло до всіх опор, інші призначені для відкачування масла з кожної порожнини і коробки приводів.

Конструкція LM1600 для поліпшення ремонтпридатності виконана модульною. Газогенератор може бути демонтований двома особами за 14 год. Газогенератор двигуна дуже компактний – довжина від лемніскати (розтруб на вході) до вихідного фланця становить 2,44 м, при знятій лемніскаці – менше 2 м. Діаметр лемніскати – приблизно 1,5 м, вихідного фланця – 0,76 м. Корпуси компресорів мають горизонтальне рознімання, можливим є балансування їхніх роторів на місці, в штатних опорах. Корпусні елементи мають 12 отворів, призначених для оглядання деталей за допомогою бороскопу. Двигун оснащений системою промивання проточної частини.

При роботі зі стандартною кільцевою камерою згоряння ("Standard Annual Combustor") концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах для двигуна LM1600 становить: для газоподібного палива – 127 ppm, для рідкого – 209 ppm. Додавання води (для рідкого палива кількістю до 2,8 т/год) знижує ці значення відповідно до 25 та 42 ppm. При додаванні пари концентрація оксидів азоту зменшується до 25 і 75 ppm. З 1996 р. випускається модифікація **LM1600PD**, оснащена низькоемісійною камерою згоряння. При цьому для газоподібного палива забезпечується вміст NO_x не більше 25 ppm. Перший агрегат такого типу був введений у комерційне використання наприкінці 1997 р. на газоперекачувальній станції біля м. Елко (штат Британська Колумбія, Канада).

Створювані для вироблення струму частотою 50 або 60 Гц на основі LM1600 енергетичні агрегати додатково комплектуються редукторами, які знижують частоту обертання вала до 3000 чи 3600 об/хв, і двофазними генераторами перемінного струму. Ефективність електрогенераторів становить 0,98, ККД редукторів – 0,984...0,986.

Двигун LM1600 створювався як такий, що задовольняє вимогам високої надійності та готовності введення у дію. За даними на 2006 р. в експлуатації знаходилося 146 агрегатів із LM1600, сумарний наробіток яких перевищив 3,8 млн год. Документально підтвердженими є рівні надійності 99,5 % та готовності введення у дію 97,4 %. На базі LM1600 "General Electric Co." виготовляє енергетичні парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (табл. 3.1.2).

Таблиця 3.1.2. Характеристики установок на базі двигуна LM1600

Параметри	1×LM1600PE	1×LM1600PE (з подачею води)	1×LM1600PD
Потужність, МВт:			
на клемах генератора	18,6	18,8	18,7
ГТД	13,7	14,8	13,7
паротурбінної частини	4,9	5,0	
ККД на клемах генератора, %	47,0	45,0	47,0

Двигуни LM2500, LM2500+ та LM2000

Газотурбінний **LM2500** (рис. 3.1.5, табл. 3.1.3) був створений на основі добре зарекомендованого в цивільній авіації турбовентиляторного двигуна високої двоконтурності CF6-6 (військова версія – TF39), який має високі показники ефективності, ресурсу й експлуатаційної готовності. (При конвертуванні для LM2500 використано більше 90 % вузлів базового двигуна.) Компанія "General Electric Co." використовує LM2500 для створення ГТА суднового, енергетичного та приводного призначення.

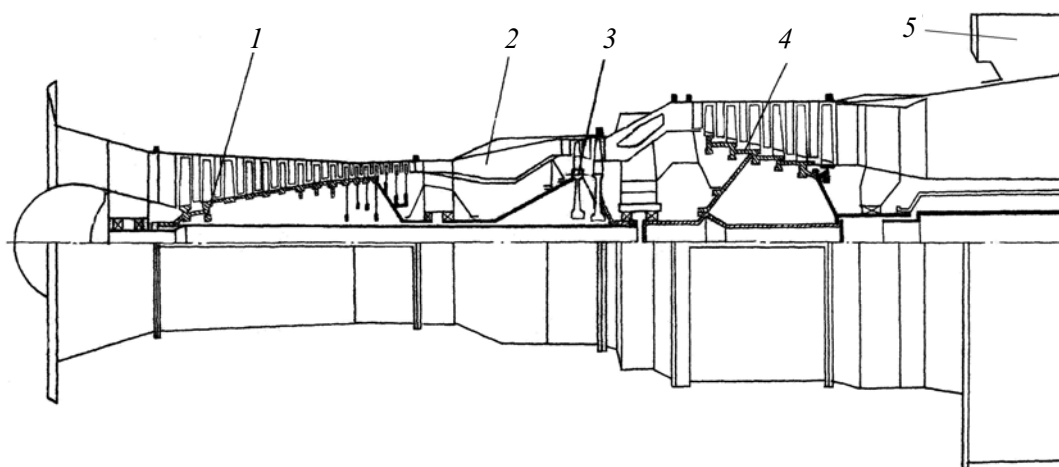


Рис. 3.1.5. Подовжній переріз двигуна LM2500:

1 – компресор; 2 – КЗ; 3 – турбіна компресора; 4 – СТ; 5 – газовипускний пристрій

Таблиця 3.1.3. Характеристики агрегатів на основі двигуна LM2500

Параметри	Енергетичні						Привідні		Судно- вий
	для частоти 50 Гц			для частоти 60 Гц					
	LM2500PE	LM2500PJ	LM2500 STIG50	LM2500PE	LM2500PJ	LM2500 STIG50	LM2500PE	LM2500PJ	LM2500
Номінальна потужність, МВт	22,4	21,7	26,5	22,7	22,6	27,8	23,9	23,2	24,6
ККД, %	35,4		39,3	36,6	36,5	40,7	37,6	37,5	37,4
Витрата робочого тіла, кг/с	69,7	68,7	76,0	69,0	68,4	75,8	69,4	68,4	70,3
Міра підвищення тиску	19,1	17,6	19,4	18,0	17,8	19,4	19,5	17,8	19,3

Продовж. табл. 3.1.3

Параметри	Енергетичні						Привідні		Судно- вий
	для частоти 50 Гц			для частоти 60 Гц					
	LM2500PE	LM2500PJ	LM2500 STIG50	LM2500PE	LM2500PJ	LM2500 STIG50	LM2500PE	LM2500PJ	LM2500
Температура га- зу, К: перед силовою турбіною за ГТД	1091 811	– 806	1080 770	1091 797	– 802	1080 767	1091 806	– 802	1139 839
Частота обертан- ня силової турбі- ни, об/хв	3000			3600					
Маса, т	113,4		115,6	113,4		115,6	48,5		4,7
Габарити, м	17,4×2,6×2,9						10,3×2,4×2,9		6,5×2,0×2,0

Двигун виконаний двовальним за простою тепловою схемою (рис. 9Д та 10Д). Він складається з газогенератора і силової турбіни, потужність від якої передається споживачеві з гарячої частини двигуна через пружну привідну муфту.

Газогенератор містить у собі 16-ступінчастий осьовий компресор, вхідний апарат, перші шість ступенів якого мають регульовані напрямні лопатки. Кутове положення останніх визначається залежно від температури повітря на вході до компресора і частоти обертання його ротора. Необхідно відзначити, що використання напрямних апаратів з регульованою геометрією дозволяє забезпечити безпомпажну роботу компресора на всіх режимах його роботи. Максимальна тривала частота обертання ротора становить 10800 об/хв. Перша критична частота обертання спостерігається на позначці 3800 об/хв.

Ротор газогенератора спирається на два підшипники, встановлених у силових корпусах: передньому і задньому. Передній корпус із п'ятьма радіальними стояками виготовлений з окремих виливків легкого сплаву, які поєднані за допомогою електронно-променевого зварювання. Задній корпус виконаний зі сплаву на нікелевій основі. Маса ротора газогенератора становить 441 кг.

Корпус компресора має горизонтальне рознімання. У ньому закріплені напрямні апарати всіх ступенів і розташовані колектори перепускання повітря, яке відбирається з компресора для охолодження турбін та підпирання ущільнень. Деталі корпусу компресора виготовлені з титанових та нікелевих сплавів.

До складу газогенератора також входять кільцева камера згоряння, оснащена

30-ма паливними форсунками, двоступінчаста турбіна компресора, коробка приводів допоміжних агрегатів та пристроїв керування.

Соплові лопатки обох ступенів турбіни компресора порожні. Вони відливаються, а потім зварюються попарно. У модифікаціях, що випускалися до 90-х років, робочі лопатки турбіни відливалися окремо і приварювалися по дві до спільного хвостовика із замком ялинкового типу. Починаючи з модифікації LM2500PE робочі лопатки цієї турбіни оснащуються індивідуальними хвостовиками. Обидва ступеня охолоджуються компресорним повітрям. Охолодне повітря надходить до порожнини ротора турбіни крізь отвори в передній цапфі та крізь два отвори у хвостовику протікає до внутрішньої порожнини лопаток.

У перших модифікаціях LM2500 початкова температура газу була прийнята 1373 К (замість 1533 К в авіаційному двигуні). Температура газу сучасної судової версії ГТД становить 1485 К. Система охолодження дозволяє підтримувати температуру металу робочих лопаток 1-го ступеня не більше 1038 К.

Деталі та вузли турбіни компресора виготовляються з високоякісних сплавів на нікелевій основі. Опорний вінець виконаний з тих же матеріалів і охолоджується повітрям, яке виходить з ущільнень компресора й відбирається з напрямного апарата 9-го ступеня. У промислових версіях двигуна для збільшення опірності ерозійному й корозійному руйнуванню на соплові лопатки турбіни компресора нанесене нікель-алюмінідне покриття типу "CODER"; на робочі лопатки обох ступенів – платиново-алюмінідне покриття.

Силову турбіну двигуна виконана 6-ступінчастою, неохолоджуваною*. Вона пов'язана з газогенератором лише аеродинамічно. Робоча частота обертання цієї турбіни може змінюватися в діапазоні 1000...6100 об/хв. Ротор силової турбіни складається із шести дисків, з'єднаних болтами; статор – із двох частин корпусу, в яких розташовані соплові апарати 2–6-го ступенів. Сопловий апарат 1-го ступеня встановлюється окремо від основного корпусу.

Робочі лопатки турбіни обандажені й закріплені в осьових пазах ялинкового типу. Корпус турбіни має горизонтальне рознімання; він виготовлений з нікелевого сплаву. Соплові лопатки відливаються попарно й закріплюються в корпусі разом із стільниковими ущільненнями, які утворюють опорні за внутрішньою поверхнею кільця для лопаток кожного ступеня. Опорний вінець силової турбіни утворює газовий тракт до випускного дифузора й газо-випускного пристрою.

* Необхідно відзначити, що при роботі 6-ступінчастої силової турбіни LM2500 з номінальною частотою обертання 3600 об/хв створюються деякі незручності для промислових споживачів при використанні двигуна як привідного. Тому компанії, що займаються постачанням ГТА на основі LM2500, часто комплектують їх силовими турбінами власної розробки, які мають більшу частоту обертання і, внаслідок цього, менше число ступенів. До таких компаній належить, наприклад, "Dresser-Rand Co.", яка поставляє агрегати DR61 із двоступінчастою силовою турбіною, що має частоту обертання 5500 об/хв. Аналогічно діє і підрозділ "GE Oil & Gas".

Зовнішня стінка випускного дифузора кріпиться до фланця опорного вінця силової турбіни й входить усередину газовипускного пристрою. Ущільнення між ними здійснюється кільцем. Верхній фланець газовипускного пристрою поєднується з газоходом, нижні фланці служать для його кріплення до фундаментної рами двигуна.

На обох кінцях вала відбирання потужності встановлені дискові еластичні муфти, застосування яких може допустити деяке відхилення від співвісності з валом силової турбіни. Окремі еластичні диски не вимагають змащення, не мають тертьових поверхонь і не підлягають корозії, оскільки виготовляються з нікелевого сплаву.

При роботі зі стандартною кільцевою камерою згоряння ("Standard Annual Combustor") концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах для двигуна LM2500 становить: для газоподібного палива – 179 ppm, для рідкого – 316 ppm. Додавання води або пари знижує ці значення відповідно до 15 та 42 ppm. З 1994 р. "General Electric Co." випускає модифікацію двигуна **LM2500PJ**, оснащену низькоемісійною камерою згоряння (технологія "Dry Low Emissions"). Застосування цієї технології дозволяє при роботі на газоподібному паливі знизити концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах до 25 ppm. Перший ГТА з LM2500PJ був введений у дію на газоперекачувальній станції "Gescher" компанії "Ruhrgas AG" (Німеччина) у вересні 1995 р.

Великий досвід експлуатації двигуна LM2500 показав його високу надійність і відповідність ефективності заявленому значенню. Для промислових модифікацій документально підтвердженими є рівні надійності 99,7 % та готовності введення у дію 98,2 %. Перевагою цього двигуна є і те, що питома витрата палива (а також ККД) зі зміною його потужності змінюється незначно: при зниженні навантаження на 50 % питома витрата палива збільшується лише на 15 %. Це означає, що навіть при 50%-й потужності LM2500 має більш високий ККД, ніж більшість ГТД цього класу на номінальному режимі.

Уперше газотурбінний двигун LM2500 був установлений на транспортному судні "Admiral William M. Callagan" у 1969 р. (замість ненадійних FT4A-2 "Pratt & Whitney Corp."), надалі його стали застосовувати у військово-морському флоті США та інших країн. З 1970 р. LM2500 використовується у промисловості.

За даними на 2006 р. більше 1000 двигунів LM2500 знаходилося в експлуатації на 350 суднах, що входили до складу військових та комерційних флотів 26 країн світу. Сумарний судновий наробіток LM2500 на той час перевищив 9 млн год. Наробіток промислових модифікацій, отриманий унаслідок експлуатації 700 агрегатів, становив більше 24 млн год.

Постачання суднових модифікацій LM2500 здійснюється у вигляді повністю укомплектованих модулів, що істотно спрощує монтаж у машинному відділенні, ізолює двигун від ударних впливів, сприяє зменшенню поширення повітряного шуму і вібрації (рис. 3.1.6). Ці модулі оснащуються системами підведення

повітря до компресора, охолодження ГТД, відведення відпрацьованих газів, протипожежного захисту, антизледеніння та підігрівання палива. У контейнері модуля використовуються двошарові панелі зі звукоізолюючим набиванням. Внутрішні стінки панелі виготовляються з перфорованих листів маловуглецевої сталі з високою корозійною стійкістю і тому не фарбуються. Звуковбирний матеріал покривається спеціальною поліамідною плівкою, яка може промиватися прісною водою і запобігає насиченню матеріалу маслом. Вхід до контейнера виконаний через бічні двері та стельовий люк. Таке виконання модуля забезпечує рівень шуму на відстані 1 м від ГТД не більше 90 дБ. Усі електронні та контрольні системи модуля легко адаптуються із судновими системами. За даними на 2000 р. вартість одного суднового ГТА з LM2500 оцінювалася у 9,5...10,0 млн дол.

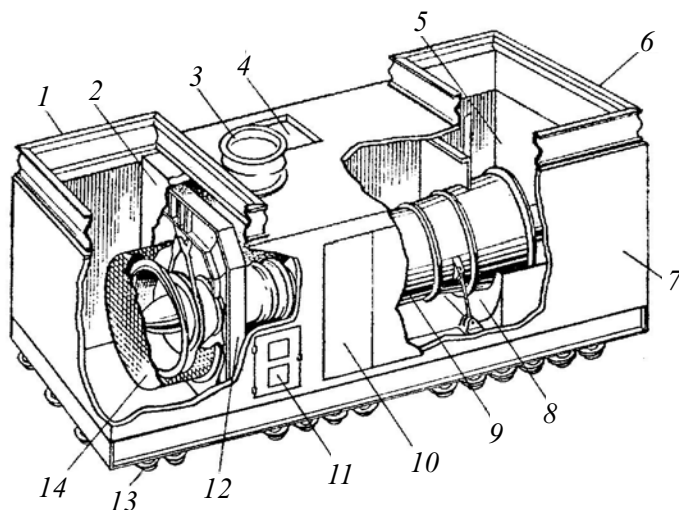


Рис. 3.1.6. Судновий агрегат LM2500 у модульному виконанні:

1, 6 – компенсатори повітроприймного патрубку та газовипуску відповідно; 2 – перегородка контейнера; 3 – надходження повітря для охолодження контейнера; 4 – люк; 5 – газовипуск; 7 – контейнер; 8 і 12 – опори ГТД; 9 – двигун; 10 – знімна панель; 11 – двері; 13 – амортизатори; 14 – вхідна сітка

Створювані на базі двигунів LM2500 енергетичні ГТА комплектуються дво полюсними генераторами трифазного перемінного струму напругою 13,8 кВ, які оснащені безщітковими збудниками та мають ефективність перетворення на рівні 0,970...0,975. Для вироблення струму частотою 60 Гц підтримується робоча частота обертання силової турбіни 3600 об/хв (базовий варіант двигуна), для вироблення струму частотою 50 Гц – 3000 об/хв. В останньому випадку ККД безпосередньо двигуна зменшений і не перевищує 96 % від свого базового варіанта.

У комплект постачання енергетичних ГТА крім двигуна і генератора також входять: теплозвукоізолюючий кожух, що забезпечує рівень шуму не біль-

ше 90 дБ за межами агрегату, комплексний повітроочисний пристрій, акумулятори постійного струму напругою 24 та 125 В, електрогідравлічна система запуску, цифрова система керування, системи змащення ГТД і генератора разом з необхідними теплообмінними апаратами, електрична система та система промивання, технічна документація. Компанія здійснює монтаж ГТА та введення його у дію, надає однорічну гарантію безвідмовної роботи агрегату. Необхідно відзначити, що свій перший промисловий ГТА з LM2500 "General Electric Co." продала у 1979 р.

Науково-виробничий центр безупинно проводить роботи з удосконалювання двигуна LM2500, знижуючи питому витрату палива при збільшенні його надійності. Найбільший ефект досягається за рахунок застосування нових систем охолодження лопаток турбіни компресора.

* * *

На основі LM2500 "General Electric Co." з 1988 р. виготовляє енергетичні газотурбінні агрегати **LM2500 STIG50** (за іншим маркуванням – **LM2500PH**). У таких агрегатах водяна пара, одержувана внаслідок утилізації тепла відпрацьованих газів, використовується для підвищення потужності та ККД безпосередньо газотурбінного двигуна. Для цього пара спрямовується у проточну частину ГТД, в якій змішується з основним потоком газу. Єдине газопарове робоче тіло, впливаючи на лопатки турбіни, генерує механічну енергію обертання. Унаслідок цього збільшуються потужність (приблизно на 25 %) та ККД двигуна.

Абревіатура "STIG" ("STeam Injected Gas") – зареєстрований товарний знак компанії. Цифра "50", що стоїть у найменуванні ГТА, позначає кількість пари, яка подається до ГТД на номінальному режимі роботи – 50 тис. фунтів у годину, тобто 6,3 кг/с, що відповідає 8,3 % від сумарної витрати робочого тіла через турбінну частину.

Розроблена компанією система "STIG" має високу гнучкість в експлуатації, гарантуючи регульоване подавання пари до проточної частини залежно від необхідної потужності ГТА та режиму роботи. Оскільки вироблення пари теплоутилізаційним контуром залежить від параметрів газу на виході з ГТД, то робочий діапазон подавання пари обмежений режимом роботи агрегату від 50 до 100 % номінальної потужності.

Місця введення пари до проточної частини визначаються виходячи з конструктивних особливостей кожної моделі двигуна. Для LM2500PH характерним є наявність двох підведень – через паливні форсунки в зону горіння камери згоряння (так зване *екологічне підведення*) і через змішувальні вікна в зону змішання камери згоряння (*енергетичне підведення*).

* * *

З метою розширення галузі використання промислових модифікацій двигуна LM2500 "General Electric Co." розробила на його основі пересувний

(мобільний) **енергетичний агрегат ТМ2500**, перший екземпляр якого дійшов до споживача у 1999 р. Цей агрегат може транспортуватися залізничним, водним або автомобільним транспортом. Характерною його особливістю є гранично малі терміни монтажу на площадці та введення в дію (не більше трьох днів). Дуже часто замовники орендують подібні мобільні агрегати у тимчасове користування (наприклад, для енергозабезпечення деяких сезонних робіт). Особливим попитом ТМ2500 користується в останні роки в США для підтримання відбудовних робіт після ураганів і терористичних акцій.

* * *

Подальшим розвитком LM2500 став **газотурбінний двигун LM2500+** (рис. 3.1.7, табл. 3.1.4 та 3.1.5). Принциповою його відмінністю від базової моделі є наявність додаткового передвключеного ступеня компресора, що дозволило збільшити витрату повітря приблизно на 20 %. Цей додатковий "нульовий" ступінь (з мірою підвищення тиску 1,15) набраний із широкохордових лопаток. Інші компресорні ступені також мають аналогічні профілі, що стало причиною деякого збільшення ККД компресора в цілому. Міра підвищення тиску зросла до 22.

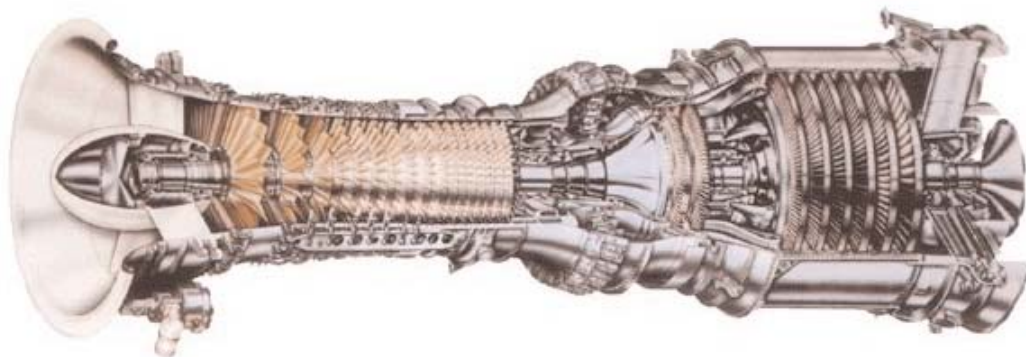


Рис. 3.1.7. Двигун LM2500+

Таблиця 3.1.4. Характеристики енергетичних агрегатів на основі двигуна LM2500+

Параметри	Для частоти 50 Гц				Для частоти 60 Гц	
	LM2500+ 6Stg	LM2500+ 6Stg (DLE)	LM2500+ 2Stg	LM2500+ 2Stg (DLE)	LM2500+ 6Stg	LM2500+ 6Stg (DLE)
Номінальна потужність, МВт	29,2	29,9	30,3	30,1	30,7	30,5
ККД, %	35,4	37,1	39,8	39,7	38,6	38,5
Витрата робочого тіла, кг/с	87,8	88,5	84,3	83,8	87,2	86,8
Міра підвищення тиску	22,6	23,1	21,5	21,4	22,5	22,6

Продовж. табл. 3.1.4

Параметри	Для частоти 50 Гц				Для частоти 60 Гц	
	LM2500+ 6Stg	LM2500+ 6Stg (DLE)	LM2500+ 2Stg	LM2500+ 2Stg (DLE)	LM2500+ 6Stg	LM2500+ 6Stg (DLE)
Температура газу за ГТД, К	792	801	772	774	788	789
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000		6100		3600	
Маса, т	117,9		213,0		117,9	
Габарити, м	17,4×2,6×2,9		19,7×5,7×4,9		17,4×2,6×2,9	

Таблиця 3.1.5. Характеристики привідних та суднових агрегатів на основі двигуна LM2500+

Параметри	LM2500+ 6Stg	LM2500+ 6Stg (DLE)	LM2500+ 2Stg	LM2500+ 2Stg (DLE)	LM2500+ (судновий)
Номінальна потужність, МВт	31,4	31,2	31,4	31,1	30,2
ККД, %	39,5	39,4	41,1	41,0	39,3
Витрата робочого тіла, кг/с	87,2	86,8	84,3	83,8	85,7
Міра підвищення тиску	22,5	22,6	21,5	21,4	22,2
Температура газу, К: перед силовою турбіною за ГТД	1085 788	789	— 772	774	1109 791
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3600		6100		3600
Маса, т	53,1		140,0		5,2
Габарити, м	10,3×2,4×2,9		13,4×5,7×4,9		6,7×2,0×2,0

Довжина компресора в результаті додавання ступеня збільшилася на 330 мм. Проте зміна передньої частини рами ГТД і використання додаткових опорних бічних зв'язків дозволяє використовувати для монтажу LM2500+ ті ж фундаментні рами, що і для LM2500. Довжина лопаток турбіни компресора порівняно з базовим LM2500 зросла на 11 %.

Двигун поставляється з двома варіантами силової турбіни: низькооборотною шестиступінчастою, яка має номінальну частоту обертання 3600 об/хв, та високооборотною двоступінчастою. Відповідно розрізняють модифікацію двигуна **LM2500+ 6Stg** (за іншим маркуванням – **LM2500PK**) та модифікацію

LM2500+ 2Stg (інша назва – **LM2500PV**). Силова турбіна 6-ступінчаста (випускається з 1997 р.) має кілька вдосконалень порівняно з аналогічною турбіною двигуна LM2500: 1) для досягнення відповідності з компресором збільшена її пропускна здатність; 2) робочі лопатки 1, 5 та 6-го ступенів, також як і соплові лопатки 1-го ступеня перепрофільовані; 3) для всіх ступенів збільшені розміри дисків; 4) у зв'язку з більшим крутним моментом посилений ротор турбіни; 5) збільшений тепловий захист корпусу від впливу потоку гарячих газів.

Номінальна частота обертання турбіни 3600 об/хв дозволяє здійснювати привід дво полюсного генератора електричного струму частотою 60 Гц без використання додаткових редукційних передач. Для прямого (безредукторного) приводу генераторів із частотою струму 50 Гц силова турбіна частково модифікується (змінюються тільки соплові лопатки 1-го ступеня), її частота обертання при цьому знижується до 3000 об/хв.

Двоступінчастий варіант силової турбіни (випускається з 2002 р.) має номінальну частоту обертання 6100 об/хв і робочий діапазон частот обертання 3050...6400 об/хв. Такою турбіною комплектуються привідні агрегати в тих випадках, коли є можливим прямий привід споживача. У деяких випадках дво-ступінчастою силовою турбіною оснащуються енергетичні агрегати. Використання додаткового редуктора (ККД перетворення – 0,985) у таких модифікаціях дозволяє створювати на їхній основі ефективні ГТА для генерації струму частотою 50 Гц. Електрогідравлічна пускова система двигуна забезпечує набірання повної потужності з холодного стану за 10 хв.

При роботі зі стандартною кільцевою камерою згоряння концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах для двигуна LM2500+ становить: для газоподібного палива – 229 ppm, для рідкого – 346 ppm. Додавання води або пари знижує ці значення відповідно до 25 та 42 ppm. Розроблена компанією низько-емісійна камера згоряння ("DLE") забезпечує при роботі на газоподібному паливі вміст NO_x не більше 25 ppm.

Двигун LM2500+ спочатку створювався як судновий, який мав замінити у флоті базову модель LM2500. Уперше суднова версія двигуна була представлена у 1998 р. У 2000 р. почалася експлуатація LM2500+ водночас на круїзному лайнері "Millennium" та швидкохідному поромі "Corsaire 13000". Широке застосування в наступні роки LM2500+ одержав на великих круїзних судах.

У всіх випадках двигун використовувався у складі комбінованих енергетичних установок: дизель-газотурбінної ("CODAG") або парогазотурбінної ("COGES"). За даними на 2000 р. вартість одного суднового ГТА з LM2500+ оцінювалася у 10,25...10,75 млн дол.

Основною відмінністю промислових модифікацій від суднової (крім конструктивних змін, пов'язаних із застосуванням газоподібного палива замість рідкого) є використання інших матеріалів для корпусу і термобар'єрного покриття лопаток 1-го ступеня турбіни компресора.

За даними на 2006 р. "General Electric Co." випустила 183 промислових двигуни LM2500+. Їхній сумарний наробіток на той час становив 2 млн год, більшість з яких відносилася до ГТД із низькоемісійними камерами згоряння (технологія "Dry Low Emissions"). Перший LM2500+ із цією технологією був введений в експлуатацію у складі когенераційної установки у вересні 1998 р. у м. Дордрехт (Нідерланди).

Наприкінці 2005 р. компанія оголосила про створення нової, посиленої версії двигуна, що одержала найменування **LM2500+G4** (рис. 11Д) та мала потужність на 10 % більшу, ніж у моделі LM2500+ 6Stg. Ще однією перевагою нового ГТД є дещо менша залежність вироблюваної потужності від температури зовнішнього повітря. "General Electric Co." вважає, що модифікація LM2500+G4 відкриває четверту генерацію двигунів сімейства LM2500. Перше суднове застосування цей ГТД може знайти на фрегатах класу "Horizon" нового покоління, які будуватимуться для ВМФ Франції та Італії.

* * *

Поступове вдосконалювання двигуна LM2500 привело до збільшення його потужності від 15 (як було в перших модифікаціях) до 24 МВт. У перші роки ХХІ ст. для заповнення ряду потужностей компанія почала роботи зі створення **двигуна LM2000** (табл. 3.1.6). Цей двигун за конструкцією повністю аналогічний LM2500. Зменшення потужності до 18 МВт забезпечується зниженням початкових параметрів робочого тіла та ККД.

Таблиця 3.1.6. Характеристики агрегатів на основі двигуна LM2000

Параметри	Енергетичні				Привідні	
	для частоти 50 Гц		для частоти 60 Гц			
	LM2000PS	LM2000PJ	LM2000PS	LM2000PJ	LM2000PS	LM2000PJ
Номінальна потужність, МВт	17,7	17,9	17,6	17,7	18,0	18,1
ККД, %	34,9	34,5	35,6	35,2	36,4	36,0
Витрата робочого тіла, кг/с	64,4	63,6	62,9	61,7	62,9	61,7
Міра підвищення тиску	16,0	15,9	15,6	15,4	15,6	15,4
Температура газу за ГТД, К	752	769	747	765	747	765
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000		3600			
Маса, т	95,2				48,5	
Габарити, м	17,4×2,6×2,9				10,3×2,4×2,9	

Без додаткових засобів заглушення стандартна кільцева камера згоряння двигуна забезпечує концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 129 (для газоподібного палива) та 240 ppm (для рідкого). Додавання води або пари знижує ці значення відповідно до 25 та 42 ppm. Розроблена компанією низько-емісійна камера згоряння ("DLE") забезпечує для газоподібного палива вміст NO_x не більше 25 ppm (модифікація **LM2000PJ**).

Перший LM2000 у складі когенераційної установки дійшов до споживача (компанія "BIOVET", м. Пештера, Болгарія) влітку 2005 р. Теплоутилізаційний контур цієї установки генерує виробничу пару тиском 1,1 МПа та температурою 468 К у кількості 21 т/год. Крім того, для зниження оксидів азоту до камери згоряння ГТД подається пара тиском 4,7 МПа та температурою 616 К у кількості 4,5 т/год.

На базі двигунів LM2500, LM2000 та LM2500+ 6Stg "General Electric Co." комплектує **енергетичні парогазові установки** бінарного термодинамічного циклу (табл. 3.1.7). Високою ефективністю відрізняються також когенераційні установки, створювані з використанням цих двигунів.

Таблиця 3.1.7. Характеристики установок на базі двигунів LM2500, LM2000 та LM2500+

Кількість і тип двигунів	Потужність на клемах генератора, МВт	ККД на клемах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
на базі LM2500				
1×LM2500PE	31,0	50,0	22,6	8,4
1×LM2500PJ	30,9	50,0	22,5	8,5
на базі LM2000				
1×LM2000PS	23,7	48,0	17,5	6,2
1×LM2000PJ	24,1	48,0	17,5	6,6
на базі LM2500+ 6Stg				
1×LM2500+ 6Stg	40,9	52,0	30,5	10,4
1×LM2500+ 6Stg (DLE)	40,6	51,0	30,3	10,3

Двигун LM6000

Газотурбінний LM6000 (рис. 3.1.8, табл. 3.1.8 та 3.1.9) був спроектований на базі авіаційного турбовентиляторного двигуна CF6-80C2, який успішно застосовується на широкофюзеляжних пасажирських лайнерах В-747 і В-767 компанії "Boeing", а також А300, А310 та А330 компанії "Airbus". (За даними на 2003 р. в експлуатації знаходилося 3786 од. CF6-80, сумарний наробіток яких на той час становив 103 млн год.) Кількість спільних деталей двигунів LM6000 та CF6-80C2 перевищує 90 %. Компанія "General

Electric Co." уперше представила LM6000 наприкінці 1990 р. Перші ГТА із цим двигуном введені в дію у 1992 р.

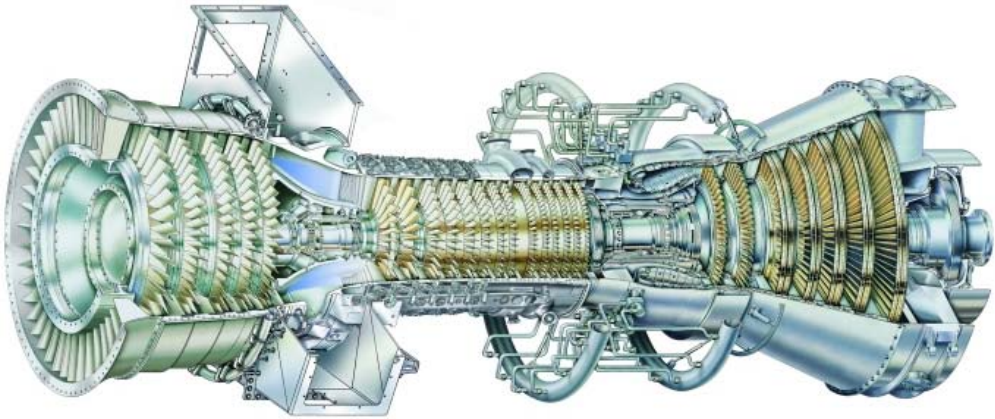


Рис. 3.1.8. Двигун LM6000

Таблиця 3.1.8. Характеристики енергетичних агрегатів на основі LM6000

Параметри	Для частоти 50 Гц				Для частоти 60 Гц			
	LM6000PC	LM6000PC SPRINT	LM6000PD	LM6000PD SPRINT	LM6000PC	LM6000PC SPRINT	LM6000PD	LM6000PD SPRINT
Номінальна потужність, МВт	42,9	46,8	41,7	46,9	43,4	46,8	42,3	46,8
ККД, %	41,7	41,9	40,7	41,2	42,1		41,1	41,4
Витрата робочого тіла, кг/с	129	133	127	133	128	132	126	131
Міра підвищення тиску	29,2	30,5	29,3	30,9	29,1	30,3	29,3	30,7
Частота обертання КНТ, об/хв	3627				3600			
Температура газу за ГТД, К	709	712	721	719	713	714	725	720
Маса, т	305				241			
Габарити, м	19,7×4,1×4,4				17,1×4,1×4,4			

Таблиця 3.1.9. Характеристики привідних та суднових агрегатів на основі LM6000

Параметри	LM6000PC	LM6000PC SPRINT	LM6000PD	LM6000PD SPRINT	LM6000PC (судновий)
Номінальна потужність, МВт	44,3	47,7	43,1	47,7	42,8
ККД, %	42,9		41,8	42,2	41,9
Витрата робочого тіла, кг/с	127	132	126	131	124
Міра підвищення тиску	29,1	30,3	29,3	30,7	28,5

Продовж. табл. 3.1.9

Параметри	LM6000PC	LM6000PC SPRINT	LM6000PD	LM6000PD SPRINT	LM6000PC (судновий)
Температура газу, К: перед силовою турбіною за ГТД	1089 713	1144 714	— 725 720		1112 729
Частота обертання КНТ, об/хв	3600				
Маса, т	109				8,16
Габарити, м	8,8×4,1×7,7				7,3×2,5×2,5

Двигун LM6000 виконаний двокаскадним за простою тепловою схемою. Компресорна частина складається з послідовно розташованих 5-ступінчастого КНТ та 14-ступінчастого КВТ (рис. 3.1.9). Вхідні напрямні апарати обох компресорів, а також п'ять перших напрямних апаратів КВТ виконані поворотними. Кільцева камера згоряння оснащена 30-ма замінними індивідуальними паливними форсунками. Привід компресорів здійснюється дво-ступінчастою охолоджуваною ТВТ та п'ятиступінчастою ТНТ. Кожен турбокомпресорний ротор підтримується трьома опорними й одним упорним підшипниками.

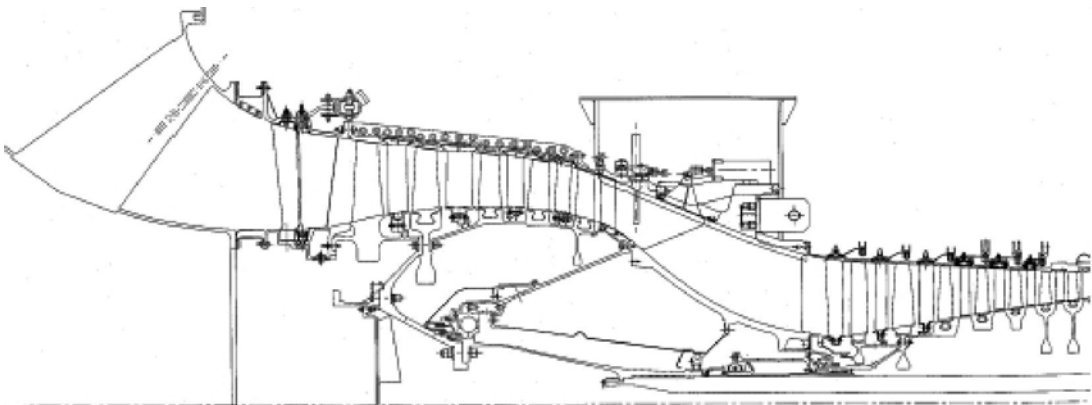


Рис. 3.1.9. Компресорна частина двигуна LM6000

Відмітною рисою двигуна є відсутність вільної силової турбіни. Відбирання потужності здійснюється від ротора ТКНТ. Залежно від компонування ГТА це відбирання може виконуватися як з боку входу повітря до проточної частини, так і з боку виходу газів із ГТД. Ротор низького тиску служить також джерелом механічної енергії для навішеного на нього блока допоміжних механізмів (коробки приводів).

Характерними рисами LM6000 є компактна модульна конструкція, надійний

пуск та швидке набирання повної потужності (менше 10 хв), можливість використання як для пікового, так і для тривалого експлуатаційного режимів роботи, гарна пристосованість для спільної роботи з теплоутилізаційним контуром у складі парогазових та когенераційних установок, можливість варіювання частоти обертання силової турбіни для приводу різних механізмів.

При роботі зі стандартною кільцевою камерою згоряння концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах для двигуна LM6000 становить: для газоподібного палива – 205 ppm, для рідкого – 403 ppm. Додавання води або пари знижує ці значення відповідно до 25 та 42 ppm. З 1994 р. "General Electric Co." випускає модифікацію **LM6000PD**, оснащену низькоемісійною камерою згоряння, яка дозволяє при роботі на газоподібному паливі забезпечити концентрацію NO_x не більше 25 ppm. Перший такий двигун був введений у комерційну експлуатацію в січні 1995 р. на електростанції компанії "SPRE" у м. Гент (Бельгія). У травні 2004 р. "General Electric Co." представила модель LM6000PD з новою конструкцією камери згоряння, яка забезпечує зниження оксидів азоту до 15 ppm. (За даними на 2004 р. в експлуатації знаходилося 86 двигунів LM6000PD, сумарний наробіток яких становив 1,8 млн год.)

Створювані на основі LM6000 енергетичні агрегати комплектуються двофазними генераторами перемінного струму, які мають ефективність перетворення 0,98. Частота обертання силової турбіни 3600 об/хв (вона ж і турбіна низького тиску) дозволяє для генерації струму частотою 60 Гц приводити їх в обертання прямо, без додаткової понижуючої передачі. Для вироблення струму частотою 50 Гц до складу ГТА включають редуктор, ККД якого становить 0,985.

За даними на 2006 р. "General Electric Co." продала більше 600 енергетичних ГТА з двигунами сімейства LM6000. Їх сумарний наробіток перевищив 10 млн год з документально підтвердженими рівнями надійності двигуна 98,8 % і надійності всього агрегату 97,7 %. Більше третини всіх ГТА довгостроково експлуатуються на номінальному навантаженні, напрацьовуючи в середньому близько 8000 год у рік. Інші використовуються у складі пікових та резервних електростанцій. Їх середньорічний наробіток становить не менше 1500 год.

Суднова модифікація LM6000 знаходить застосування для постачання енергією морських нафтовидобувних платформ, а також використовується у складі енергетичних установок суден з електричним передаванням потужності (зокрема, швидкохідних поромів та вантажопасажирських суден).

З 1997 р. "General Electric Co." випускає модифікацію двигуна **LM6000PC SPRINT**, головною особливістю якого є використання принципу проміжного охолодження повітря для збільшення ККД і генерованої потужності. Проте на відміну від ГТА, в яких цей принцип реалізується в додатково введених теплообмінних апаратах, у LM6000 SPRINT охолодження повітря здійснюється впорскуванням води безпосередньо в проточну частину компресора (рис. 3.1.10). ("SPRINT" – скорочення від "SPRay INTercooling".) Це дозволяє отримати

бажаний ефект без будь-яких істотних матеріальних витрат на переоснащення ГТА.

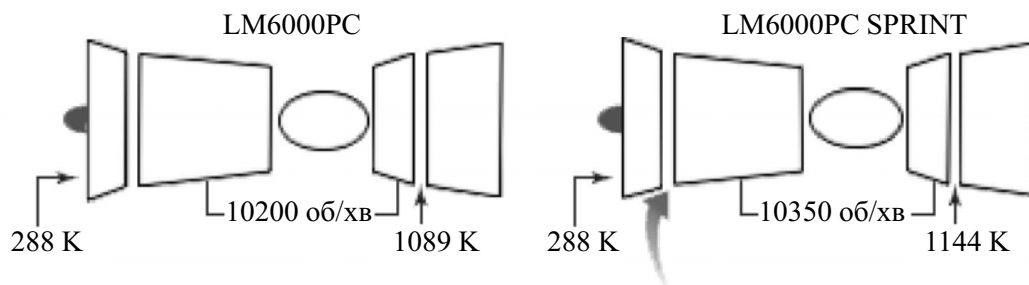


Рис. 3.1.10. Порівняльна оцінка параметрів LM6000PC та LM6000PC SPRINT

Система "SPRINT" стає особливо ефективною при експлуатації двигуна в жаркий період року, коли підвищення температури атмосферного повітря призводить до істотного зниження генерованої потужності. При температурі повітря 15 °С упорскування води приводить до збільшення потужності ГТД на 9 %, при температурі 32 °С потужність зростає вже на 20 % (рис. 3.1.11).

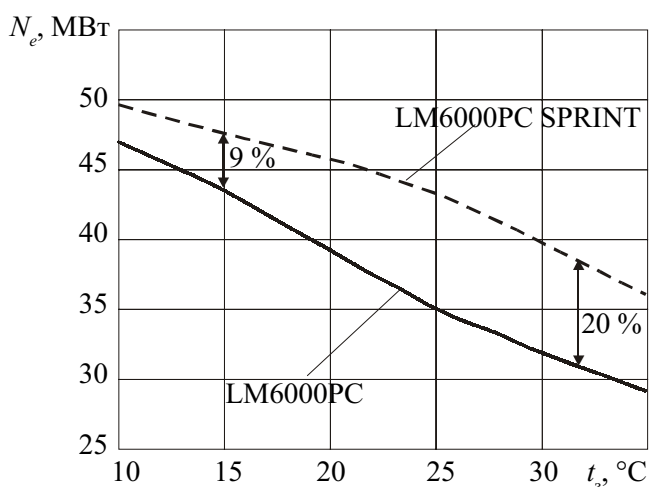


Рис. 3.1.11. Залежність потужності двигунів LM6000PC та LM6000PC SPRINT від температури зовнішнього повітря

Розпилювання води здійснюється через 24 форсунки, які знаходяться в перехіднику між компресорами. Для розпилювання використовується повітря, яке відбирається від клапана перепуску, розташованого над 8-м ступенем КВТ. Подача води контролюється виходячи з графіка генерованої двигуном потужності. Для зниження впливу атмосферного повітря можливою є також подача води до вхідного пристрою КНТ.

За даними на 2006 р. компанія продала близько 80 агрегатів з LM6000PC SPRINT.

На базі двигуна LM6000 "General Electric Co." виготовляє енергетичні парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (табл. 3.1.10).

Таблиця 3.1.10. Характеристики установок на базі двигуна LM6000

Кількість і тип двигунів	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
1×LM6000PC	55,0	53,0	43,3	11,7
1×LM6000PC SPRINT	58,8	53,0	46,6	12,2
1×LM6000PD	54,6	53,0	42,1	12,5
1×LM6000PD SPRINT	59,1	52,0	46,6	12,5

Двигун LMS100

Газотурбінний двигун LMS100 номінальною потужністю 100 МВт та ККД 46 % (рис. 3.1.12, табл. 3.1.11) уперше був представлений "General Electric Co." в грудні 2003 р. Двигун призначений для роботи у складі стаціонарних агрегатів, що генерують струм частотою 50 і 60 Гц, а також у складі судових автономних енергетичних модулів. Дослідні випробування головного зразка LMS100 зі стандартною кільцевою камерою згоряння (тип "SAC" – "Standard Annual Combustor") проводилися протягом 2004 р.; після закінчення серії доводочних робіт у другій половині 2005 р. було оголошено про готовність компанії розпочати його серійне виробництво. У 2006 р. "General Electric Co." проводила дослідження зразка агрегату з подачею пари у проточну частину (проект "STIG"), наприкінці того ж року почалися роботи з оснащення LMS100 низькоемісійною камерою згоряння (тип "DLE2" – "Dry Low Emissions – 2").

Відмітною конструктивною особливістю LMS100, яка забезпечила істотне збільшення ефективності, є використання проміжного охолодження повітря між компресорами. При цьому час набирання двигуном повної потужності не перевищує 10 хв; навіть при 50%-му навантаженні ККД не нижче 39 %.

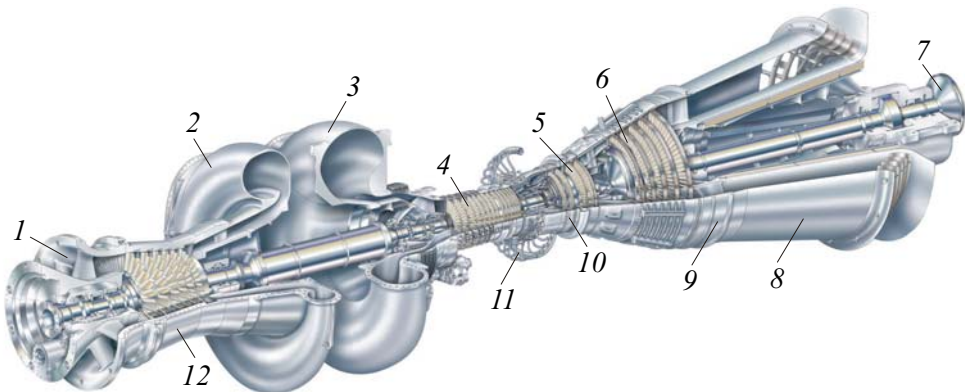


Рис. 3.1.12. Двигун LMS100:

- 1 – радіальне підведення повітря; 2 – колектор відведення повітря на проміжне охолодження; 3 – колектор підведення повітря до КВТ; 4 – КВТ; 5 – ТНТ; 6 – СТ; 7 – пружна муфта; 8 – дифузор; 9 – задній корпус турбіни; 10 – ТВТ; 11 – стандартна кільцева КЗ; 12 – КНТ

Таблиця 3.1.11. Характеристики енергетичних агрегатів на основі LMS100

Параметри	Для частоти 50 Гц			Для частоти 60 Гц		
	LMS100PA	LMS100PA (STIG)	LMS100PB (STIG)	LMS100PA	LMS100PA (STIG)	LMS100PB (STIG)
Номінальна потужність, МВт	99,0	110,8	99,0	98,6	112,2	98,7
ККД, %	45,5	49,5	45,4	45,5	49,8	45,4
Витрата робочого тіла, кг/с	204	200	204	199	204	
Міра підвищення тиску	40,0	41,0	40,0	41,0	40,0	
Температура газу, К:						
початкова	1653	—	1653	—		
за ГТД	689	660	689	660	689	
Частота обертання силової турбіни, об/хв	3000			3600		

За оцінкою фахівців, що була проведена у 2005 р., собівартість одного енергетичного ГТА з двигуном LMS100 становить близько 25 млн дол*. Залежно від конкретного місця й умов експлуатації питома вартість усієї газотурбінної установки "під ключ" із урахуванням будівельних та монтажних робіт буде становити 400...450 дол. за кіловат виробленої потужності.

Двигун LMS100 створювався "General Electric Co." сумісно з трьома іншими компаніями. Ці партнери розділяють витрати на створення, прибуток від реалізації та відповідальність за експлуатовані двигуни пропорційно своїм інвестиціям. Шведська "Volvo Aero Corp." відповідальна за розробку конструкції та виробництво корпусу силової турбіни; вона також виготовляє окремі частини рами двигуна. Італійська "Avio S.p.A." займається проектуванням та виробництвом елементів роторної та статорної частин ТНТ і силової турбіни. Японський торговий дім "Sumitomo" здійснює постачання електрогенераторів.

У двигуні LMS100 знайшли вдале поєднання досвід і традиції двох основних газотурбобудівних центрів компанії. Поєднаними в одному ГТД виявилися технічні рішення, що характерні як для авіаційного, так і для промислового турбобудування. Сама назва "LMS" являє собою поєднання "LM" та "MS".

Двигун виконаний за двокаскадною схемою з вільною силовою турбіною. Використання проміжного охолодження повітря дозволило істотно знизити витрати потужності на привід КВТ та підняти загальну міру підвищення тиску повітря в ГТД до 41. Ще одним позитивним наслідком такого конструктивного

* Крім двигуна ГТА містить у собі вхідний повітроочисний пристрій, електрогенератор, допоміжне встаткування двигуна та генератора, пристрої газовипуску та шумоглушіння, систему керування.

рішення є більш низька температура повітря, яке надходить із КВТ до системи охолодження турбін. Останнє дозволило збільшити початкову температуру газу в циклі, що також сприяло підвищенню ефективного ККД*.

Компресор низького тиску виконаний осьовим, 6-ступінчастим. Його ступені аналогічні першим шістьом ступеням компресора двигуна MS6001FA.

Відведення повітря від КНТ до зовнішнього проміжного охолоджувача та повернення його до КВТ здійснюються за допомогою аеродинамічно досконалих завиткових пристроїв. Стандартне компонування передбачає водяне охолодження компресорного повітря (рис. 3.1.13,*а*). У місця експлуатації з нестачею водяних ресурсів доставка ГТА здійснюється з теплообмінником, охолоджуваним повітрям (див. рис. 3.1.13,*б*).

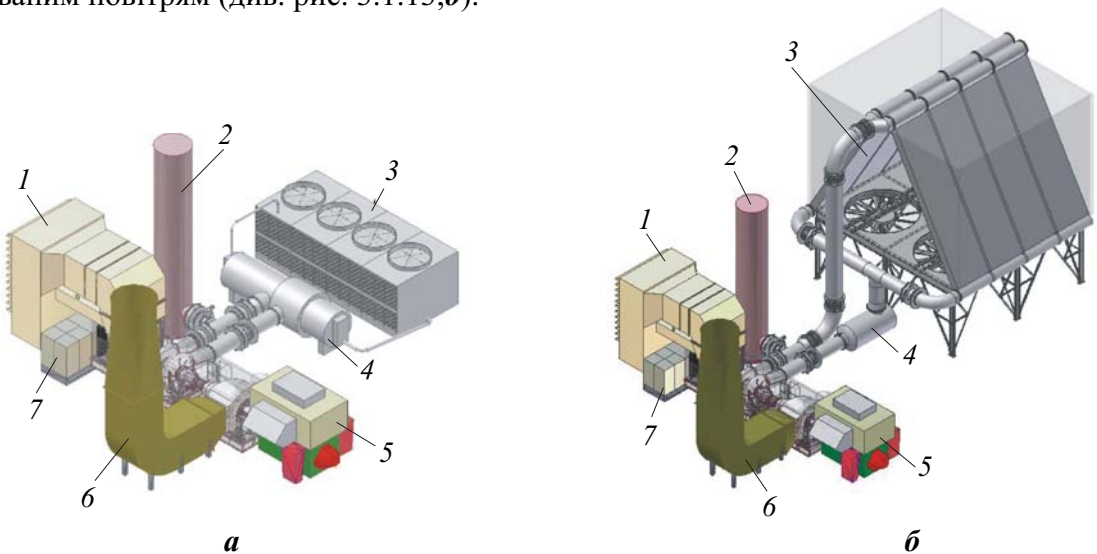


Рис. 3.1.13. Компонування агрегатів з водяним (*а*) та повітряним (*б*) повітроохолоджувачами:

а – 1 – вхід повітря; 2 – труба байпасування повітря та глушник; 3 – охолоджувальна башня; 4 – водяний повітроохолоджувач; 5 – генератор; 6 – вихлопна труба; 7 – блок допоміжних механізмів; *б* – 1 – вхід повітря; 2 – труба байпасування повітря та глушник; 3 – повітряний повітроохолоджувач; 4 – сепаратор вологи; 5 – генератор; 6 – вихлопна труба; 7 – блок допоміжних механізмів

Використовувані водяні охолоджувачі являють собою типові кожухотрубчасті теплообмінники. (Маса кожного більше 100 т.) Їхнє з'єднання з ГТД здійснюється за допомогою повітропроводів та ресиверних камер. Повітряні повітроохолоджувачі оснащуються розвинутою теплообмінною поверхнею з оребренням. Для компонування їхніх трубок використовується так звана *А-конфігу-*

* Незважаючи на більшу температуру газу, температура металу лопаток турбін така ж, як у двигуна LM6000.

рація (див. рис. 3.1.13,б), яка задовольняє стандарту API 661 та прийнята для повітряних конденсаторів паротурбінних установок*.

Компресор високого тиску, камера згоряння, а також турбіна високого тиску монтуються у складі ГТД єдиним центральним блоком і являють собою конвертовану частину авіаційного турбовентиляторного двигуна CF6-80. Осьовий 14-ступінчастий КВТ та стандартна кільцева камера згоряння конвертовані з модифікації CF6-80C2, двоступінчаста ТВТ – з модифікації CF6-80E1. До складу центрального блока входить також двоступінчаста ТНТ, яка була спеціально розроблена для цього двигуна.

З використанням авіаційних технологій створювалася і силова 5-ступінчаста турбіна. Її номінальна частота обертання 3600 об/хв дозволяє приводити дво полюсний генератор електричного струму частотою 60 Гц без використання додаткових редуційних передач. Для прямого (безредукторного) приводу генераторів струму частотою 50 Гц силова турбіна частково модифікується (змінюються лише соплові лопатки 1-го ступеня), її частота обертання при цьому знижується до 3000 об/хв.

Відведення потужності з гарячої частини двигуна та газовипускний пристрій реалізовані за традиційною для промислових агрегатів схемою.

Ремонт гарячої частини LMS100 здійснюється (як і для LM6000, який також створений на базі авіаційного CF6-80) через 25000 год експлуатації, капітальний ремонт усього ГТД – через 50000 год. Блоковий принцип компонування істотно спрощує проведення монтажних робіт, що знижує витрати через простий енергетичної установки. Наявність багатьох отворів дозволяє проводити моніторинг внутрішньої частини LMS100 за допомогою бороскопів без розбирання двигуна. Компанія "General Electric Co." планує для LMS100 досягти рівні надійності не менше 98,5 % та готовності введення у дію не менше 97,5 %.

При використанні стандартної кільцевої камери згоряння для зниження концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах до 25 ppm у камеру згоряння може подаватися вода або пара. Розроблювана в цей час модифікація ГТД із низькоемісійною камерою згоряння при використанні як палива природного газу дозволить забезпечити ту ж концентрацію без подачі води або пари. Передбачається, що рівень емісії шкідливих речовин для LMS100 в цілому буде на 7...18 % менше, ніж для двигуна LM6000. У місцях з підвищеними вимогами до екології постачання ГТА буде здійснюватися разом з низькотемпературними каталітичними системами.

Рівень шуму від ГТД не перевищує 85 дБ на відстані 1 м від агрегату. У наступних модифікаціях планується досягнення рівня, що не перевищує 80 дБ.

Перший агрегат із LMS100 був введений в дію на електростанції м. Гротон (штат Південна Дакота) влітку 2006 р.

* Постачання повітроохолоджувачів для LMS100 здійснюється компанією "Thermal Engineering International, Inc." (м. Санта Фе, штат Каліфорнія).

Двигун LV100-5

Танковий газотурбінний двигун LV100-5 потужністю 1120 кВт (1500 к. с.) розробляється "General Electric Co." спільно з "Honeywell International, Inc." (50 на 50 % пайової участі). Вихідним матеріалом для проекту є, з одного боку, 40-річний досвід створення танкових ГТД AGT1500 фахівцями "Honeywell International, Inc."; з іншого – вдала конструкція турбовального двигуна T700, який серійно випускається для вертольотів "Black Hawk" та "Apache" підприємством "GE Aviation" у Лінні (штат Массачусетс).

Фінансування робіт зі створення LV100-5 здійснюється Департаментом оборони в рамках прийнятої в 1999 р. Конгресом США програми модернізації бронетанкової техніки. Цим двигуном передбачається замінити ГТД AGT1500, яким у цей час оснащені бойові танки M1 "Abrams" та створені на його основі гусеничні машини. Головною вимогою військового відомства до LV100-5 є істотне збільшення паливної економічності при одночасному збереженні більшості інших характеристик (зокрема маневреності та виду використовуваного палива). Визнано доцільним зменшити рівень шуму від роботи силової установки та ліквідувати видимий випускний слід.

У вересні 2000 р. з консорціумом компаній був підписаний перший контракт на три роки на суму 196 млн дол. Спочатку планувалося, що загальний обсяг замовлення армії США протягом 10 років складе приблизно 3500 двигунів на суму 2 млрд дол. У планах Департаменту оборони передбачалося також оснащення двигуном LV100-5 проєктованих 155-міліметрових самохідних артилерійських установок типу "Crusader". Очікувалося, що їхній серійний випуск складе близько 800 од. Проте в травні 2002 р. програма "Crusader" була офіційно припинена, оскільки установку визнали недостатньо мобільною і точною згідно з вимогами XXI ст.

У травні 2002 р. закінчилося створення першого дослідного зразка двигуна. Серійне виробництво ГТД почалося у 2004 р. Вартість одного LV100-5 у 2003 р. оцінювалася в 380...420 тис. дол.

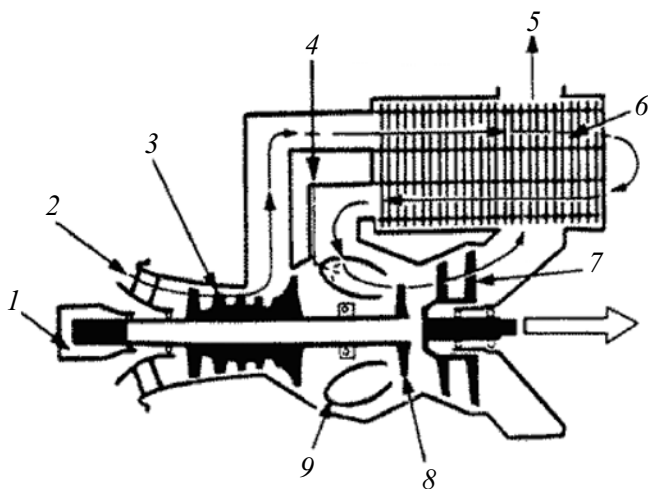
Двигун LV100-5 виконаний двовальним за схемою з регенерацією тепла відпрацьованих газів (рис. 3.1.14). Він є п'ятою модифікацією базової моделі LV100, яка розроблялася ще у 1984–1989 рр. у рамках програми "AIPS-T" ("Advanced Integrated Propulsion System – Turbine") для основного бойового танка майбутнього. У цьому спільному проєкті компанія "Honeywell International, Inc." відповідає за створення і виробництво компресора, регенератора, допоміжного встаткування, системи керування; "General Electric Co." – за камеру згоряння та турбінну частину.

Двигун має вбудовану двоступінчасту самоочисну систему фільтрації повітря ("Pulse Jet Air Cleaner filtration system"), яка поставляється компанією "Donaldson Co. Inc.". Ця система вдало пройшла 200-годинні випробування, працюючи при нульовій видимості без погіршення характеристик.

Компресор двигуна – однокаскадний, осевідцентровий, складається із чотирьох осьових та одного відцентрового ступенів. Осьовий 1-й ступінь має 16 робочих лопаток, 2-й – 32. Вхідний напрямний апарат та напрямні апарати перших трьох ступенів виконані регульованими. Спільний регулятор з електроприводом здійснює їхній розворот за програмою, що передбачена системою повного електронного керування та контролю ("FADEC").

Рис. 3.1.14. Конструктивна схема LV100-5:

1 – стартер-генератор; 2, 4 – підведення повітря і палива відповідно; 3 – компресор; 5 – вихід відпрацьованого газу; 6 – регенератор; 7 – СТ; 8 – турбіна компресора; 9 – КЗ



Двигун оснащений кільцевою, двостінною камерою згоряння, яка має 12 пневматичних паливних інжекторів. Схема руху повітря дозволяє забезпечити надійне охолодження елементів камери та використовувати для їхнього виготовлення традиційні жароміцні матеріали без нанесення термобар'єрних покриттів. Регенератор являє собою матрицю, набрану з профільованих труб і оснащену ребрами жорсткості.

Одноступінчаста осьова турбіна компресора має 38 монокристалічних робочих лопаток. Двоступінчаста вільна силова турбіна утворює єдиний модуль разом з опорним вінцем та картером. Соплові лопатки обох її ступенів виконані поворотними.

Основні проектні характеристики двигуна становлять: ККД – 36 %, міра підвищення тиску – 12, частота обертання ротора компресора – 34800 об/хв, маса – 1043 кг, габарити – 1,43×0,92×0,95 м.

Двигун LV100-5 складається із чотирьох основних модулів, що спрощує обслуговування і ремонт. Прогнозується, що витрати часу на обслуговування складуть приблизно 12 % від часу роботи ГТД. Це є особливо важливим, оскільки доступ до силових установок броньованих машин, як правило, дуже утруднений. Двигун є багатопаливним: без зміни комплектації він може використовувати палива DF-1, DF-2, JP-8 та бензин.

Відмітною рисою LV100-5 є відсутність навішеного на ротор блока допоміжних механізмів. Замість цього потужність від ротора відбирається на привід стар-

тер-генератора, який живить електроенергією не тільки системи танка (як було в AGT1500), але і всі обслуговуючі ГТД допоміжні пристрої.

Двигун LV100-5 має уніфікацію з прототипом AGT1500 понад 40 %, але при цьому має майже в два рази менший габаритний об'єм та на 90 кг меншу масу. Планувалося, що паливна економічність буде на 30 % кращою. Витрата палива на холостому ході повинна була становити приблизно половину від витрати палива його попередника. Двигун розроблявся на ресурс 6000 год та наробіток на відмовлення приблизно 3000 год.

На сьогодні зазначені показники паливної економічності не досягнуті. Результати випробувань показали, що на холостому ході витрата палива приблизно така ж, як і в AGT1500, що в чотири рази більше, ніж у дизельних двигунів. Ураховуючи режими роботи двигуна, повна витрата палива за період експлуатації буде приблизно на 20...25 % більшою, ніж у танкових дизелів німецької компанії "MTU Friedrichshafen GmbH".

3.1.2. Науково-виробничий центр у м. Сканектеді, Грінвілл (США) та Бельфор (Франція)

Науково-виробничий центр у м. Сканектеді (штат Нью-Йорк)*, Грінвілл (штат Південна Кароліна) та Бельфор (Франція) входить до складу підрозділу **"GE Energy"**, який у свою чергу є складовою частиною "GE Infrastructure".

Даний підрозділ є одним із провідних світових виробників енергогенеруючого та перетворюючого встаткування, яке використовує хімічну енергію вугілля, нафти, газу, а також ядерну енергію. В останні роки пріоритетним напрямком стало створення енергоустановок на основі поновлюваних джерел енергії – вітру, сонця, біогазу. Сумарний обсяг реалізованої у 2006 р. продукції склав 19,1 млрд дол. при чисельності працюючих 34000 чол. За свою більше ніж 100-літню історію підрозділ виготовив 6600 промислових ГТА, сумарний наробіток яких до 2006 р. перевищив 200 млн год, 3380 парових турбін, 5400 газових поршневих двигунів, 8500 турбін для вітроелектростанцій, 3600 гідравлічних турбін, 56 ядерних енергетичних установок, 63 установки газифікації вугілля.

Сьогодні "GE Energy" випускає таку основну енергогенеруючу продукцію:

газотурбінні та парогазові установки потужністю 40...420 МВт;

парові турбоагрегати потужністю 40...1500 МВт;

газові поршневі двигуни потужністю від 250 кВт до 3 МВт;

турбіни для вітроустановок потужністю 1,5...3,6 МВт;

гідравлічні турбіни потужністю 10...800 МВт;

ядерні енергетичні установки з реакторами киплячого типу ABWR і ESBWR;

установки газифікації вугілля та когенераційні установки;

енергоустановки, що використовують сонячну енергію і працюють на біогазі.

* Місто з населенням 62 тис. чол. (2000 р.). Адреса підприємства: One River Road, Schenectady, NY 12345, U.S.A.

Ці енергетичні агрегати "GE Energy" комплектують всім необхідним допоміжним та обслуговуючим устаткуванням власного виробництва. Підрозділ також здійснює їхнє постачання, монтаж, сервісне обслуговування, вдосконалення, діагностику та ремонтні роботи. Підприємства "GE Energy" розташовані в США, Канаді, Німеччині, Франції, Італії, Норвегії та Угорщині. Її штаб-квартира знаходиться в м. Атланта (штат Джорджія) за адресою: 4200 Wildwood Parkway, Atlanta, GA 30339, U.S.A.

Історія науково-виробничого центру почалася у 1887 р., коли Т. Едісон перемістив основне виробництво своєї компанії "Edison Electric Light Co." з Менло Парка в Сканектеді, де у 1892 р. розміщується штаб-квартира новоствореної "General Electric Company".

У 1900 р. "General Electric Co." організовує в цьому місті науково-дослідну лабораторію, яка стала надалі головним дослідницьким центром компанії.

Наприкінці XIX ст. на заводі в Сканектеді починає розвиватися паротурбобудування. Значний внесок у цей процес зробив Чарльз Кьортіс (рис. 3.1.15), який запатентував у 1896 р. оригінальну конструкцію парової турбіни, що дозволяла, порівняно з турбінами англійця Ч. Парсонса і француза О. Рато, при однакових масогабаритних характеристиках розвивати істотно більшу потужність. Роботи з практичного створення подібних турбін велися в Сканектеді з 1897 р. спочатку під керівництвом самого Ч. Кьортіса, а потім (з 1901 р.) Вільяма Еммета (рис. 3.1.16). Перша парова турбіна компанії була виготовлена у 1901 р., мала потужність 500 кВт, складалася з двох ступенів тиску, кожний з яких містив у собі три вінці швидкості. Цей турбоагрегат у 1902 р. знайшов застосування на заводі "General Electric Co." у м. Лінн (штат Массачусетс).

Тривалий час після цього паротурбобудування компанії розвивалося в напрямку вдосконалювання конструкції Ч. Кьортіса. В Європі випуском подібних турбін займався завод у м. Редбі (Великобританія), що належав "British Thomson-Houston Co."

Необхідно відзначити, що з 1903 по 1913 рр. турбіни підприємства випускалися

з вертикальним розташуванням ротора. За цей період було виготовлено близько 1000 подібних агрегатів, перший з яких потужністю 500 кВт у лютому 1903 р. був установлений на електростанції компанії "Newport & Fall River Co." у м. Ньюпорт (штат Нью-Йорк). У цьому ж році "General Electric Co." випускає найпотужніший на той час у світі турбоагрегат (5 МВт), установ-



Рис. 3.1.15. Чарльз Кьортіс (1860–1953)



Рис. 3.1.16. Вільям Еммет (1859–1941)

лений на електростанції "Fisk Street Station" компанії "Chicago Edison Co.". Цей агрегат, порівняно з паровою машиною, займав у десять разів менше місця; вартість його була в три рази менше.

У 1912 р. "General Electric Co." для першого американського корабля з електроприводом "Jupiter" постачає паротурбогенератор потужністю 5,2 МВт.

Створення промислових ГТА науково-виробничим центром почалося безпосередньо після закінчення Другої Світової війни і було тісно пов'язане з авіаційним газотурбобудуванням компанії, яке інтенсивно розвивалося у той час. Базовою для цього процесу стала конструкція турбореактивного двигуна з осовим компресором TG180, розроблена в Сканектеді у роки війни.

На основі цього ТРД під керівництвом Алана Говарда (рис. 3.1.17) наприкінці 40-х років створюється одновальний промисловий двигун потужністю 3,5 МВт. У червні 1949 р. дослідний зразок двигуна вводиться в експлуатацію на електростанції "Belle Isle Station", що належала компанії "Oklahoma Gas and Electric Co.". У 1952 р. там же встановлюється другий такий агрегат. Подальше вдосконалювання цього ГТД привело до створення на його основі сімейства двигунів **MS3002 ("Frame 3")**. З 1952 р. для потреб газоперекачувальних і насосних станцій, а також для виробничих цілей двигуни сімейства "Frame 3" випускаються серійно.



Рис. 3.1.17. Алан Говард (1905–1966)

Необхідно відзначити, що відмітними рисами промислового газотурбобудування компанії надалі стали три основні принципи (рис. 3.1.18 та 3.1.19): тривалий еволюційний розвиток конструкції двигуна; використання геометричного масштабування при створенні нових двигунів; ретельне довиробниче пророблення конструкції.

У 1961 р. "General Electric Co." вперше представляє розроблений на основі MS3002 шляхом геометричного масштабування одновальний промисловий двигун **MS5001** потужністю 15 МВт (**"Frame 5"**). У 1966 р. розробляється двовальна модифікація цього двигуна **MS5002A** потужністю 20 МВт. Модель **MS5001N** 1970 р. стала першим промисловим ГТД компанії, оснащеним регульованим вхідним напрямним апаратом.

Двигун MS3002 був використаний на початку 60-х років і для створення двовального **MS1002** потужністю 1 МВт.

Модифікація MS5001N, у свою чергу, стала вихідною для нового сімейства **"Frame 7"**, перший представник якого MS7001A потужністю 46 МВт з'явився у 1970 р. Основне призначення "Frame 7" – привід генераторів електричного струму, внаслідок чого всі його моделі дотепер випускаються винятково одновальними. Ураховуючи пріоритетну комплектацію енергетичних агрегатів двопо-

люсними електрогенераторами, частота обертання ротора була знижена, порівняно з "Frame 5", від 5100 до 3600 об/хв, що дозволяло здійснювати привід ротора генератора без додаткових редукційних передач. Удосконалювання параметрів циклу та конструкції двигуна (зокрема перших чотирьох ступенів компресора) привело в наступні роки до появи нових модифікацій **MS7001B** (1971 р.) і **MS7001C** (1974 р.) з відповідною потужністю 58 та 65 МВт.

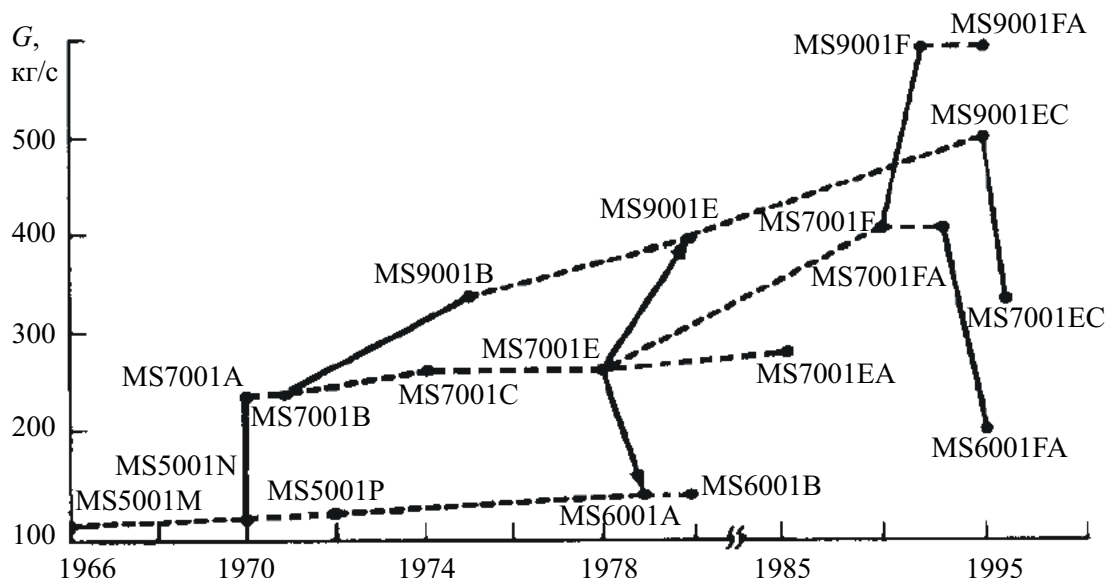


Рис. 3.1.18. Зміна витрати повітря промислових двигунів "General Electric Co." за роками випуску (штрихова лінія – модифікація старого двигуна, жирна – створення нового)

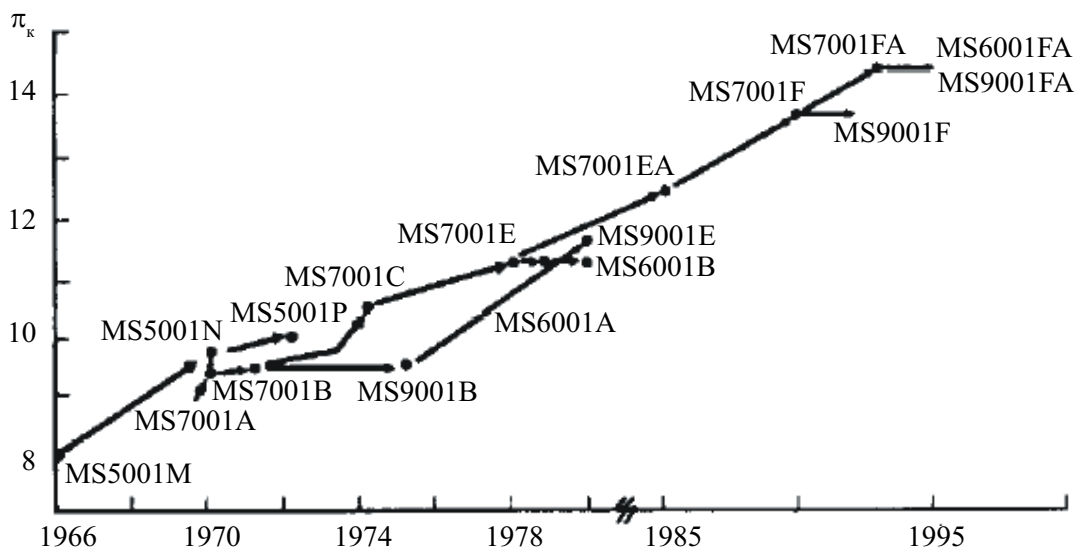


Рис. 3.1.19. Зміна міри підвищення тиску промислових двигунів "General Electric Co." за роками випуску

Характерним для "General Electric Co." є те, що приблизно 70 % збільшення потужності протягом еволюційного розвитку сімейства забезпечується внаслідок підвищення початкової температури газу; 30 % – за рахунок удосконалювання компресора, зокрема збільшення його пропускної здатності. З початку 60-х років збільшення температури газів перед турбіною компенсується використанням охолоджуваних турбінних лопаток. До 70-х років охолодженню компресорним повітрям підлягали лише соплові лопатки 1-го ступеня. У модифікації MS7001B уперше було застосоване охолодження робочих лопаток. Це нововведення дозволило підняти початкову температуру газу до 1277 К, що було на 106 К більше, ніж у попередній MS7001A.

Необхідно відзначити, що починаючи з 1962 р. для зменшення вібрації науково-виробничий центр виготовляє турбінні робочі лопатки з подовженими ніжками. Із цією ж метою лопатки додатково оснащуються бандажними полицями, які виконуються як одне ціле з профільною частиною. Ці конструктивні рішення дозволили надалі повністю уникнути вібраційних поломок турбінного лопаткового апарата. Розширення ринку збуту продукції "General Electric Co." у 70-х роках обумовило необхідність розпочати для європейського й азіатського регіонів випуск енергетичних ГТА, які працювали б для мереж із частотою струму 50 Гц. Спеціально для цього створюється нове сімейство двигунів "Frame 9". Перша модель **MS9001B** потужністю 85 МВт була одержана в 1975 р. конвертуванням двигуна MS7001B.

У другій половині 70-х років для промислових ГТД компанії починає використовуватися нова технологія, що одержала найменування "Е". Першою вводиться в дію у 1978 р. модифікація **MS7001E** потужністю 72 МВт. Досвід, отриманий при її створенні, використовується для розробки двигуна **MS9001E** потужністю 106 МВт (1979 р.). На основі серійно виготовлюваних MS5001P у 1979 р. створюється нова лінія "Frame 6" (перший двигун **MS6001A** з потужністю 38 МВт).

У 1987 р. науково-виробничий центр представив новий двигун **MS7001F** (150 МВт) та конвертований з нього **MS9001F** (210 МВт) (серійно випускаються з 1990 і 1992 рр.). У 1993 та 1995 рр. з'являються модифікації з початковою температурою газу 1561 К – **MS7001FA** (166 МВт) і **MS9001FA** (226 МВт), також у 1995 р. – одержаний геометричним масштабуванням з попередніх **MS6001FA** потужністю 69 МВт. У модифікаціях "FA" компанія вперше застосувала охолодження робочих лопаток 2-го ступеня турбіни.

Подальшим розвитком моделі "F" став двигун **MS7001FB** потужністю 184 МВт, представлений у листопаді 1999 р. Відмітною його рисою є краща пристосованість до спільної роботи з теплоутилізаційним контуром у складі парогазових установок. Через три роки з'являється аналогічна модифікація "Frame 9" **MS9001FB**.

З травня 1995 р. "General Electric Co." веде розробку технології "H", яка передбачає використання водяної пари для охолодження турбінних лопаток.

У 1998 р. почалися випробування дослідного зразка двигуна **MS9001H**, у 2000 р. – випробування першого двигуна **MS7001H**.

Необхідно відзначити, що початок XXI ст. ознаменувався для компанії різким збільшенням попиту на її промислові ГТА. (Це явище багато в чому пояснюється великими замовленнями, що надійшли з Китаю.) У 2003 р. "General Electric Co." уклала контракти на постачання 175 таких агрегатів, у 2004 р. – 122, у 2005 р. – 127; 2006 рік був відзначений істотним спадом замовлень (менше 50 двигунів).

Науково-виробничий центр "General Electric Co." у Сканектеді став першим у галузі застосування **газотурбінних установок з утилізацією тепла відпрацьованих газів**. Розвиток останніх йшов паралельно з розвитком промислових двигунів простої теплової схеми. Уже перший ГТА, встановлений компанією у 1949 р. в Оклахомі, був оснащений контуром підігрівання живильної води відпрацьованими газами. Ця вода далі використовувалася у циклі парової турбіни потужністю 35 МВт.

Значна кількість газотурбінних двигунів, виготовлених компанією у 50–60-х роках, працювала разом з паротурбінними агрегатами. Характерною рисою такої роботи було використання відпрацьованих у ГТД газів у традиційному парогенераторі, де в них відбувалося спалювання палива. Ефективність циклу паротурбінної установки при цьому підвищувалася на 5...6 %. Крім того, поверхня теплообміну парогенератора могла бути прийнята істотно меншою, що позитивно відбивалося б на його масі та вартості.

У другій половині 60-х років поступово стає все більш популярним поєднання ГТА з утилізаційними парогенераторами. Одержувана внаслідок утилізації водяна пара часто використовувалася у виробничих процесах підприємств хімічної та нафтопереробної промисловості.

Істотна зміна в тепловій схемі комбінованих установок "General Electric Co." відбулася на початку 70-х років, коли стали серійно випускатися двигуни нового сімейства "Frame 7", потужність яких перевищувала 50 МВт. Уперше стало доцільним використовувати пару не лише для теплофікаційних або виробничих потреб, але і для вироблення додаткової механічної енергії в парових турбінах, якими оснащувалися такі установки. Починаючи із цього часу, проектування кожного нового двигуна ведеться науково-виробничим центром обов'язково з урахуванням його ймовірного використання у складі парогазових установок різної комплектації*.

* Парогазові установки бінарного термодинамічного циклу позначаються науково-виробничим центром як "STAG" – "STeam And Gas", що є зареєстрованим товарним знаком "General Electric Co.". Перша ПГУ такого типу S105 була введена в дію у 1968 р. на електростанції компанії "Wolverine Electric Co." (США), друга (S103) – у 1969 р. в Оттаві (Канада). У 1974 р. почала роботу перша установка з двигуном сімейства "Frame 7" – S107B у м. Солт Рівер (США). Уперше "Frame 9" був використаний у складі ПГУ (S109E) у 1986 р. на "Futtsu Station" (м. Токіо, Японія), яка належить "Tokyo Electric Power Co.". У 1994 р. у Великобританії введено в дію установку S406B із двигуном сімейства "Frame 6".

За даними на 1994 р. компанія ввела в експлуатацію у складі парогазових установок бінарного термодинамічного циклу такі двигуни: сімейства "Frame 9" – 124 од., "Frame 7" – 138 од., "Frame 6" – 48 од., "Frame 5" і "Frame 3" – 68 од.; у складі когенераційних установок: "Frame 9" – 15 од., "Frame 7" – 116 од., "Frame 6" – 143 од., "Frame 5" та "Frame 3" – 241 од.

У середині 50-х років підприємство вперше взяло участь у створенні **суднової газотурбінної установки**. У зв'язку з проведеною Морською адміністрацією США кампанією з вибору найбільш прийняттого для транспортних суден типу енергетичного приводу "General Electric Co." у 1956 р. установлює на судні "John Sargeant" (одне із чотирьох суден типу "Liberty", виділених для цієї мети) газотурбінний агрегат потужністю 4,4 МВт. Цей ГТА був виконаний двовальним за схемою з регенерацією тепла відпрацьованих газів. Його основою став серійний промисловий двигун MS3002. Котел-утилізатор, розміщений на газовипуску, забезпечував подавання пари на загальносуднові потреби і турбогенератор потужністю 170 кВт. Судно знаходилося в експлуатації 9700 год, з яких 7000 год працювало на важкому залишковому паливі.

Задовільні результати експлуатації судна "John Sargeant" дозволили "General Electric Co." у 60-х роках використовувати отриманий досвід для створення цілої серії ГТА суднового призначення. Найбільш доцільною для них стала схема з двовальним двигуном і регенерацією тепла. Були розроблені суднові модифікації агрегатів **MS1002R** потужністю 3,4 МВт, **MS3002R** потужністю 7...8 МВт, **MS5002R** потужністю 16...20 МВт, **MS7002R** потужністю 41 МВт. Усі ГТА мали осьові компресори та одноступінчасті компресорну й силову турбіни. Агрегати розраховувалися на тривалу невинну роботу, відрізнялися високою надійністю та довговічністю. Застосування регульованого соплового апарата силовій турбіни підвищувало ККД на часткових режимах, а також поліпшувало процес керування.

У серпні 1970 р. підприємство в Сканектеді із часів завершення випробувань судна "John Sargeant" одержало своє перше замовлення на суднову газотурбінну установку. Агрегатами MS5212R були обладнані два австралійських ролкери "Iron Monarch" (1973 р.) та "Iron Duke" (1974 р.) дедвейтом 14000 т.

Двигун MS5212R використовувався і для оснащення у 1974 р. норвезького судна "Lucian", яке здійснювало перевезення зрідженого природного газу. Його особливістю була можливість одночасної роботи на дизельному та газоподібному паливі.

Агрегати типу MS3002R були встановлені в середині 70-х років на шести танкерах компанії "Standard Oil Co." ("Chevron Oregon" та ін.). Ці судна стали першими, що використовували газотурбінну енергетичну установку разом з електроприводом.

У цей же період за замовленням фірми "Union Steamship" (Нова Зеландія) будуються два ролкери невеликої водотоннажності ("Seaway Prince" та "Seaway Princess"), оснащени MS3112R. Агрегати виступали приводами електрогене-

раторів перемінного струму. Гребні гвинти приводилися електродвигунами постійного струму. Така ж схема, але вже з MS5262R та електродвигунами перемінного струму була використана на двох інших комерційних суднах, незабаром замовлених тією же компанією.

У 1977 р. двома MS3002R обладнується рудовоз дедвейтом 43000 т, що належав компанії "Broken Hill" (Австралія).

У 80-х роках, після ряду нафтових криз та істотного збільшення цін на паливо, оснащення споруджуваних комерційних суден промисловими ГТА науково-виробничого центру почало різко скорочуватися і практично припинилося у 90-х роках.

Необхідно відзначити, що розвиток компанії та розширення виробництва із часом привели до виведення основних виробничих ліній за межі Сканектеді. На сьогодні у цьому місті, як і раніше, зосереджені головні науково-дослідні лабораторії "General Electric Co." ("Corporate Research & Development Center"), також розміщується виробництво парових турбін та електрогенераторів.

Серійний випуск промислових ГТА ведеться на двох головних заводах науково-виробничого центру в м. Грінвілл (штат Південна Кароліна)* та Бельфор (Франція)**.

Система керування і контролю типу "Speedtronic" (зареєстрований товарний знак компанії) виготовляється на підприємстві в м. Салем (штат Вірджинія).

* * *

Для позначення своїх промислових газотурбінних двигунів "General Electric Co." використовує буквено-чисельне маркування, яке умовно складається із шести частин.

У *першій* частині вказується призначення двигуна – "PG" ("Power Generation") або "MS" ("Mechanical Set"), що означає його використання як привід генератора електричного струму або механічний привід. Історично склалося, що букви "MS" розглядаються як символ усіх промислових ГТД "General Electric Co." (на відміну від букв "LM", якими маркуються конвертовані авіаційні двигуни). Тому дотепер ними часто позначають не лише привідні, але й енергетичні моделі. У *другій* частині вказується сімейство двигуна ("Frame") – "3", "5", "6", "7" або "9". У *третьій* двоцифровій частині наводиться орієнтовна потужність ГТД, виміряна в сотнях, тисячах або десятках тисяч кінських сил. Необхідно відзначити, що навіть у рамках однієї модифікації відбувається постійне вдосконалювання двигуна, наслідком чого є постійне

* Побудований компанією та введений у дію в 1969 р.

** Завод у Бельфорі до 1999 р. був спільною власністю "General Electric Co." та французької компанії "ALSTOM S.A.". (Випускав за ліцензією двигуни американської компанії з 1960 р.) Сьогодні на ньому працює близько 1500 чол. Виготовляються головним чином двигуни та установки, призначені для реалізації на європейському й азіатському ринках (сімейства "Frame 9" та "Frame 6").

збільшення його потужності. Кількість валів ротора позначається в *четвертій* частині ("1" або "2"). Якщо двигун оснащений регенератором, то в *п'ятій* частині проставляється буква "R"; якщо має просту теплову схему, то ця частина не заповнюється. В останній *шостій* частині вказується модифікація двигуна ("A", "B", "C", "E", "FA" тощо).

У своїй технічній документації "General Electric Co." часто використовує спрощене позначення промислових двигунів. Так, наприклад, замість MS9001FA може бути використана назва "Frame 9FA" або просто 9FA; замість MS6001C – "Frame 6C" або 6C.

Необхідно відзначити, що сьогодні заводи в Грінвіллі та Бельфорі виробляють винятково енергетичні агрегати. Випуском двигунів для механічного приводу займається науково-виробничий центр компанії у Флоренції (Італія), який складає основу підрозділу "GE Oil & Gas".

На базі двигунів сімейств "Frame 5", "Frame 6", "Frame 7" та "Frame 9" науково-виробничий центр комплектує парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (тип "STAG"). Для їхнього позначення використовується буквено-чисельне маркірування, відповідно до якого в першій частині проставляється буква "S", що вказує на схему "STAG". Наступна цифра вказує на число двигунів, що входять до ПГУ (від "1" до "6"). Передостаннім визначається сімейство ГТД ("5", "6", "7" або "9") та останнім – модифікація двигуна ("A", "B", "C" та ін.); наприклад, S105, S207B, S109E, S406B тощо.

Промислові ГТД компанії використовуються також для створення когенераційних установок різноманітного призначення і комплектації.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Сімейство двигунів "Frame 6"

Шляхом геометричного масштабування двигуна MS7001E з урахуванням досвіду експлуатації серійних MS5001P науково-виробничий центр у Сканектеді в 1979 р. розробив новий двигун **MS6001A** потужністю 38 МВт, який став першим представником сімейства "Frame 6".

Це сімейство двигунів призначене для роботи у складі енергетичних ГТА, що генерують струм частотою 50 і 60 Гц. Воно широко застосовується також у парогазових і когенераційних установках різноманітного конструктивного виконання. Великим попитом двигуни "Frame 6" користуються в європейських країнах. Випуск цих ГТД ведеться заводом у Бельфорі (Франція). У цей час виробляються модифікації MS6001B, MS6001C та MS6001FA (табл. 3.1.12).

Таблиця 3.1.12. Характеристики енергетичних агрегатів на основі двигунів "Frame 6"

Параметри	PG6581B	PG6591C	PG6111FA
Номінальна потужність, МВт	41,7	42,3	75,9
ККД, %	31,9	36,3	35,0

Продовж. табл. 3.1.12

Параметри	PG6581B	PG6591C	PG6111FA
Витрата робочого тіла, кг/с	141	117	203
Міра підвищення тиску	12,2	19,0	15,6
Температура газу, К:			
початкова	1413	1600	1561
за ГТД	821	842	876
Частота обертання ротора, об/хв	5163	7100	5231
Маса, т	317	351	363
Габарити, м	37,5×7,3×10,4	25,0×8,5×12,5	36,6×6,1×10,4

Модифікація MS6001B

Двигун MS6001B (рис. 3.1.20 та 12Д) традиційно для сімейства "Frame 6" виконаний одновальним за простою тепловою схемою. Підвищення тиску повітря здійснюється в однокаскадному компресорі, що складається із 17 осьових ступенів. Ротор компресора утворений з дисків, з'єднаних стяжними периферійними болтами з передньою та задньою кінцевими частинами. Крутний момент від задньої кінцевої частини передається послідовно від диска до диска за допомогою торцевого шлицевого з'єднання.

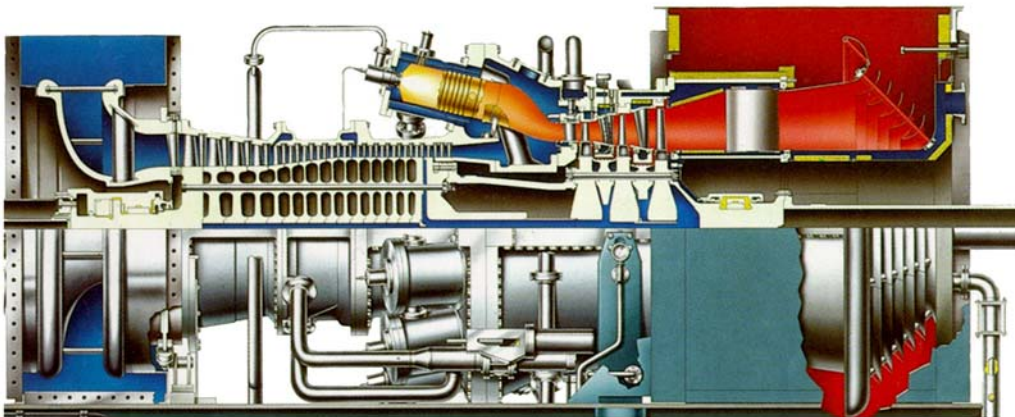


Рис. 3.1.20. Двигун MS6001B

Після спрямного апарата стиснене повітря надходить через осьовий кільцевий дифузор до внутрішньої порожнини протитокової секційної камери згоряння, що складається з 10 жарових труб. Передбачено можливість використання як газоподібного, так і рідкого палива. Переключення з одного виду палива на інший здійснюється без зупинки двигуна або зміни режиму його роботи. Жарові труби мають щільне охолодження і розташовані під кутом 15° до осі ротора. Як і всі ГТД компанії, MS6001B відрізняється високими екологічними показниками. Використання у його складі низькоемісійної камери згоряння ти-

пу "Dry Low NO_x" ("DLN") дозволяє знизити концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах до 15 ppm при роботі на природному газі.

Турбінна частина складається з трьох осьових активних ступенів. Соплові й робочі лопатки виготовлені з жароміцних сплавів методом точного лиття, причому соплові лопатки відливаються окремими сегментами по чотири в кожному. Робочі лопатки мають подовжену ніжку для зменшення можливих вібраційних напружень. Верхні кінці робочих лопаток 2-го та 3-го ступенів обладнані бандажними полицями з ущільнювальними гребенями. Соплові та робочі лопатки перших двох ступенів охолоджуються компресорним повітрям.

Ротор турбіни складається з трьох дисків, двох кінцевих частин та двох проміжних кілець, які з'єднуються між собою стяжними болтами. Передня кінцева частина ротора жорстко зв'язана із задньою кінцевою частиною компресора за допомогою фланця і має шийку для вставлення у проміжний опорний підшипник.

Привід електричного генератора здійснюється з боку турбіни ГТД. Через високу частоту обертання ротора двигун додатково комплектується редуктором.

Турбогрупа монтується на спільній фундаментній рамі, яка водночас служить і маслобаком. На цій же рамі монтуються пускові пристрої (зазвичай електродвигуни постійного або перемінного струму), допоміжний масляний насос, маслоохолоджувач, масляні й паливні фільтри та інше допоміжне встаткування. Головний масляний насос має продуктивність 133 м³/год та тиск нагнітання 0,7 МПа. Номінальна розрахункова температура масла на вході до опор – 54 °С, максимальна температура – 60 °С.

Документально підтвердженими для двигуна MS6001B є коефіцієнти готовності до введення в дію 96,2 % та надійності 99,2 %.

Перша парогазова установка S406B із двигуном MS6001B (узагалі перша з двигуном сімейства "Frame 6") введена в дію у 1994 р. на електростанції "Derwent" у Великобританії.

За даними на 2003 р. в експлуатації знаходилося близько 600 двигунів MS6001B, сумарний наробіток яких перевищив 40 млн год. Необхідно відзначити, що крім енергетичного застосування модифікація MS6001B іноді використовується як механічний привід.

Модифікація MS6001C

Подальшим розвитком сімейства "Frame 6" стала модель MS6001C (рис. 3.1.21). При її створенні використовувалися деякі елементи технології "F", яка освоювалася компанією у той час.

Однокаскадний осьовий компресор має 12 ступенів. Вхідний напрямний апарат та напрямні апарати перших двох ступенів компресора виконані регульованими. Ротор компресора – складений, дисковий. Перші три диски відковані разом з передньою кінцевою частиною та з'єднуються з іншими дисками, а також із задньою кінцевою частиною за допомогою стяжних периферійних болтів. Необхідно

відзначити, що конструкція компресора розроблялася підприємством у Сканектеді сумісно з "GE Aviation" та "GE Oil & Gas" і відпрацьовувалася на експериментальному стенді у Флоренції.



Рис. 3.1.21. Двигун MS6001C

Двигун оснащений протитоковою секційною камерою згоряння із шістьма жаровими трубами, розташованими під кутом до осі ГТД. Реалізована можливість роботи як на газоподібному, так і на рідкому паливі. Зміна виду палива здійснюється без зупинки ГТД або порушення режиму навантаження. При роботі на природному газі забезпечується концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 15 ppm (система "DLN-2.5").

Триступінчаста осьова турбіна має по 60 робочих лопаток на перших двох ступенях і 90 лопаток на третьому. Соплові сегменти 1-го ступеня виготовляються литтям зі сплаву GTD-111. Робочі лопатки 1-го ступеня – монокристалічні, отримані зі сплаву RENE N5.

Охолодженню піддаються соплові та робочі лопатки перших двох ступенів. Охолодне повітря підводиться до ротора турбіни з двох місць: до лопаток 1-го ступеня – з порожнини за компресором; до лопаток 2-го ступеня – з 8-го ступеня компресора.

Двигун MS6001C обладнаний системою автоматичного контролю і керування "Speedtronic Mark VI". Уперше для цього сімейства привід генератора здійснюється з холодної сторони ГТД. Вихід відпрацьованих газів осьовий.

Параметри робочого тіла на виході з двигуна дозволяють компонувати його з теплоутилізаційними контурами різного призначення. Особливо ефективним є використання MS6001C у складі промислових когенераційних установок на нафтопереробних заводах, підприємствах целюлозно-паперової та хімічної промисловості, у складі районних теплових електростанцій. Установлений на газовипуску котел-утилізатор дозволяє одержувати пару високого тиску в кількості 57,6 т/год з параметрами 5,81 МПа та 538 °С. При цьому генерується також пара низького тиску кількістю 8,2 т/год з параметрами 0,44 МПа та 203 °С.

Перші два двигуни MS6001C у складі парогазової установки S206C були поставлені компанії "Akenerji" (Туреччина) та розміщені на площадці "Kemalpasa" у м. Ізмір у 2004 р. Наприкінці 2005 р. почалася їхня промислова експлуатація.

Модифікація MS6001FA

Уперше модифікація MS6001FA потужністю 69 МВт була представлена науково-виробничим центром у 1993 р. Відмітною її рисою є те, що вона отримана не еволюційним розвитком попередніх моделей сімейства, а шляхом геометричного масштабування з ГТД MS7001FA потужністю 166 МВт, який успішно пройшов випробування у 1992 р. Коефіцієнт перерахування становив 0,69.

Уведення в комерційну експлуатацію перших двох ГТА відбулося у жовтні 1996 р. Ці агрегати були встановлені на когенераційній установці "Destec Cogeneration Plant" у м. Кінгстон (штат Онтаріо, Канада) та електростанції "Pinon Pine Power" компанії "Sierra Pacific Power Co." у м. Рено (штат Невада, США).

У травні 2002 р. "General Electric Co." оголосила про завершення робіт над новою версією двигуна PG6111FA, який порівняно з початковим має на 9,2 % більшу потужність та на 2,7 % більший ККД.

За даними на травень 2004 р. у комерційній експлуатації знаходилися 47 двигунів MS6001FA. Більше половини з них були розміщені в Європі. Сумарний наробіток парку 6FA на той час перевищив 819 тис. год.

Двигун MS6001FA має традиційне одновальне компонування (рис. 3.1.22). Підвищення тиску повітря здійснюється 18-ступінчастим осьовим компресором, номінальний розрахунковий ККД якого становить 86,4 %. Перші два ступеня компресора – трансзвукові. Робота регулюється за допомогою поворотного входного напрямного апарата й антипомпажних скидачів повітря після 3-го і 13-го ступенів. Напрямні апарати всіх ступенів нерегульовані.

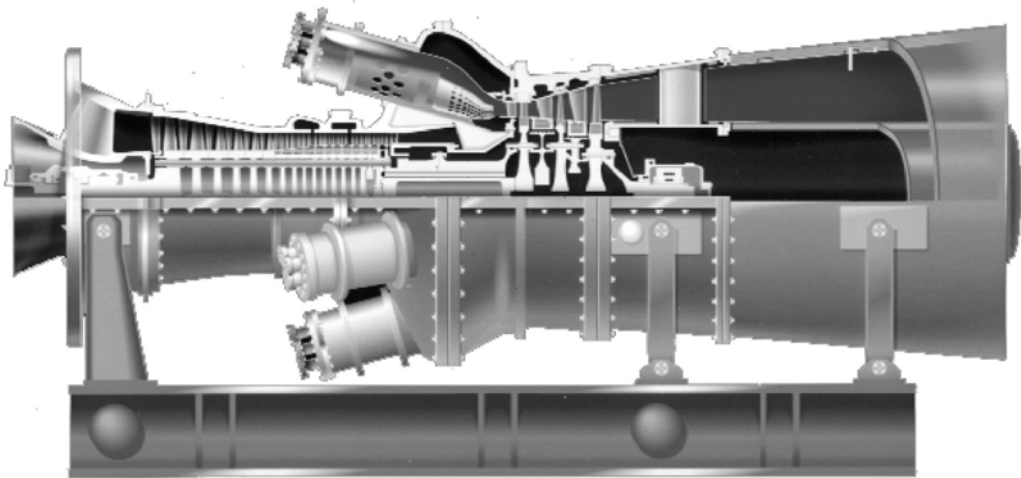


Рис. 3.1.22. Двигун MS6001FA

Камера згоряння складається із шести жарових труб діаметром 356 мм, які встановлені під кутом 15° до осі турбогрупи і виконані зі сплаву "Hastelloy X". У кожній жаровій трубі є по шість форсунок. До складу камери згоряння входять два електроіскрових запальники та два детектори полум'я, що рознесені рівномірно за колом. Як і всі інші представники модифікації "F", двигун MS6001FA може працювати на різних сортах вуглеводневого палива, включаючи газифіковане вугілля (установки "Integrated Gasification Combined Cycle"). Перехід з рідкого палива на газоподібне і навпаки відбувається без зупинки ГТД та порушення режиму роботи. Використання системи "Dry Low NOx" дозволяє при роботі на газоподібному паливі забезпечити концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 15 ppm.

Турбіна двигуна складається з трьох осьових ступенів. Робочі лопатки 1-го ступеня виготовлені зі сплаву GTD-111DS, інших – з GTD-111. Для соплових лопаток 1-го ступеня використаний сплав FSX-414, 2-го та 3-го – GTD-222. Для турбінних дисків застосований матеріал IN706. Точноліті соплові сегменти складаються кожний з двох лопаток у 1-му та 2-му ступенях і трьох лопаток у 3-му. Усі робочі лопатки оснащені бандажними полицями.

Компресорним повітрям охолоджуються п'ять рядів лопаткового апарата – соплові лопатки трьох ступенів і робочі лопатки 1-го та 2-го ступенів. Номінальний розрахунковий ККД турбіни становить 84,6 %.

Корпус двигуна містить у собі п'ять основних частин: корпуси вхідного пристрою та компресора, задній корпус компресора, корпуси турбіни та газо-випускного пристрою. Передбачено отвори для огляду за допомогою ендоскопів компресора, камери згоряння та турбіни. Під обшивкою організовані проходи, що достатні для проведення інспекцій камери згоряння. Обслуговування кожної жарової труби може виконуватися незалежно від інших. Сегменти сопел 1-го ступеня можна замінити без розкриття кришки корпусу.

Привід електричного генератора з холодної сторони двигуна дозволяє здійснювати осьове випускання відпрацьованих газів безпосередньо в лінійно розташований котел-утилізатор (рис. 3.1.23). Двигун обладнаний системою автоматичного контролю та керування "Speedtronic Mark V".

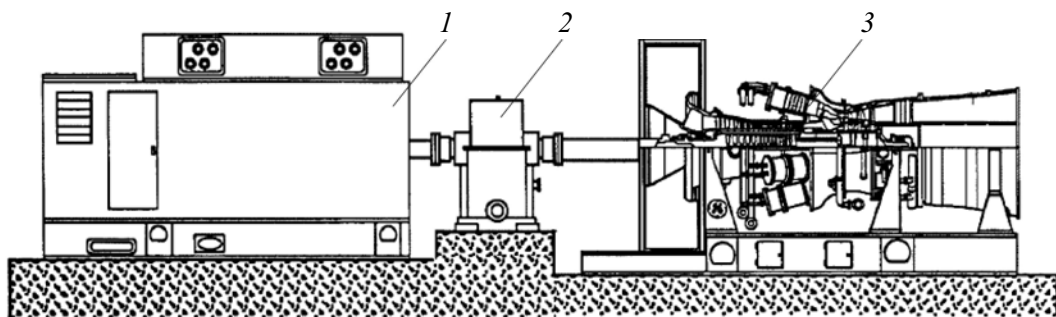


Рис. 3.1.23. Компонування енергетичного агрегату з двигуном MS6001FA:

1 – електрогенератор; 2 – редуктор; 3 – газотурбінний двигун

Компанія "General Electric Co." на базі двигунів сімейства "Frame 6" виготовляє енергетичні парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (табл. 3.1.13). Установки з двигуном MS6001B виконані з теплоутилізаційними контурами двох тисків, без проміжного перегріву пари; з двигунами MS6001C та MS6001FA – з контурами трьох тисків і проміжним перегрівом пари. Спеціально для останніх була розроблена нова конструкція парової турбіни, яка використовує так звану технологію "High Efficiency Advanced Technology" ("HEAT").

Таблиця 3.1.13. Характеристики установок на базі двигунів "Frame 6"

Назва	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
S106B	64,3	49,0	41,6	23,8
S206B	130,7	49,8	83,2	49,4
S406B	261,3	49,8	166,4	99,0
S106C	62,8	54,0	42,2	21,3
S206C	126,7	54,4	84,4	43,7
S106FA	117,7	54,7	75,1	44,4
S206FA	237,9	55,3	150,2	91,2

Сімейство двигунів "Frame 7"

Сімейство двигунів "Frame 7" створювалося на базі освоєного у великосерійному виробництві та добре зарекомендованого в експлуатаційних умовах сімейства "Frame 5". Для розробки першої модифікації MS7001A використовувалася як базова конструкція двигуна MS5001N. Оскільки сімейство "Frame 7" орієнтувалося головним чином для приводу електричних генераторів, то всі його двигуни аж дотепер виконуються винятково одновальними. Ураховуючи пріоритетну комплектацію енергетичних ГТА двополюсними генераторами, частота обертання ротора була знижена, порівняно з "Frame 5", з 5100 до 3600 об/хв, що дозволяє приводити ротор генератора без додаткової редуційної передачі при генеруванні струму частотою 60 Гц (переважно американський ринок).

Двигун MS7001A вперше був представлений компанією у 1970 р. і мав на той час потужність 46 МВт. Удосконалювання параметрів циклу та конструкції ГТД у наступні роки привело до появи нових модифікацій **MS7001B** (1971 р.) і **MS7001C** (1974 р.) з відповідною потужністю 58 та 65 МВт (рис. 3.1.24). Необхідно відзначити, що в модифікації MS7001B уперше було застосоване охолодження робочих лопаток. Це нововведення дозволило підняти початкову температуру газу до 1277 К (на 106 К більше, ніж у попередній MS7001A) і тим самим істотно збільшити потужність та ККД двигуна.

У 1977 р. науково-виробничий центр представляє нову модель **MS7001E** потужністю 75 МВт, а в 1984 р. – її поліпшену версію **MS7001EA** (табл. 3.1.14).

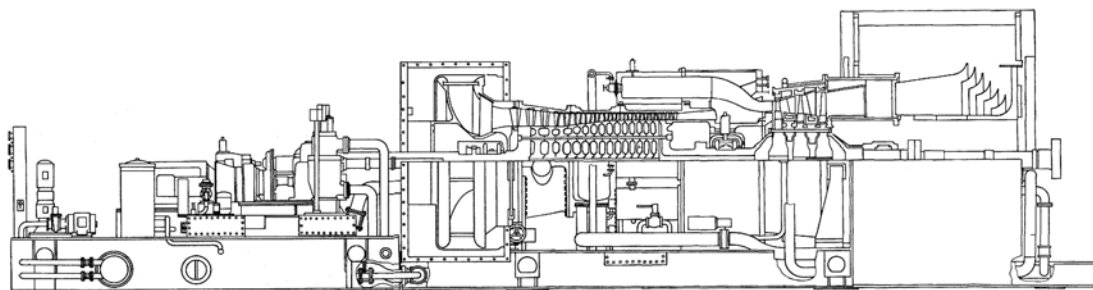


Рис. 3.1.24. Двигун MS7001C

Таблиця 3.1.14. Характеристики енергетичних агрегатів на основі двигунів "Frame 7"

Параметри	PG7121EA	PG7241FA	PG7251FB	MS7001H
Номінальна потужність, МВт	85,1	171,7	184,4	~262,0
ККД, %	32,7	36,4	37,0	~38,7
Витрата робочого тіла, кг/с	294	444	441	558
Міра підвищення тиску	13,0	16,0	18,0	23,0
Температура газу, К:				
початкова	1386	1603	1645	1700
за ГТД	810	874	896	865
Частота обертання ротора, об/хв	3600			
Маса, т	485	745	–	
Габарити, м	40,2×21,6×9,5	54,9×22,9×9,5	–	

Модифікація MS7001EA

Двигун MS7001EA (рис. 13Д) традиційно для сімейства виконаний одно-вальним за простою тепловою схемою. Осьовий 17-ступінчастий компресор має однобічне або верхнє підведення повітря в збірну кільцеву камеру, з якої воно направляється до переднього корпусу компресора, повертається на 90° та проходить через конфузور до вхідного поворотного напрямного апарата. Ротор складається з дисків, поєднаних 12-ма стяжними периферійними болтами з передньою та задньою кінцевими частинами. Крутний момент від задньої кінцевої частини передається послідовно від диска до диска за допомогою торцевого шлицевого з'єднання. Робочий діапазон частот обертання ротора менше від першої критичної частоти.

Після трирядного спрямного апарата стиснене повітря надходить через осьовий кільцевий дифузور до внутрішньої порожнини протитокової секційної камери згоряння, яка містить у собі 10 жарових труб. Передбачено можливість використання як газоподібного, так і рідкого палива. Переключення з одного виду

палива на інший здійснюється без зупинки двигуна або зміни режиму його роботи. Жарові труби розташовані під кутом 15° до осі ротора. У деяких моделях для зменшення концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах є можливим упорскування в проточну частину води або пари. В останніх моделях використовується розроблена компанією система "DLN" ("Dry Low NO_x ").

Турбіна виконана осьовою, триступінчастою. Соплові канали 1-го ступеня охолоджуються повітрям, яке відбирається з кільцевого корпусу камери згоряння. Робочі лопатки 1-го ступеня охолоджуються продуванням повітря крізь радіальні наскрізні канали. Соплові й робочі лопатки виготовлені з жароміцних сплавів методом точного лиття, причому соплові лопатки відливаються окремими сегментами по чотири у кожному.

Робочі лопатки мають подовжену ніжку для зменшення можливих вібраційних напружень. Верхні кінці робочих лопаток 2-го і 3-го ступенів оснащені бандажними полицями з ущільнювальними гребенями.

Ротор турбіни складається з трьох дисків, двох кінцевих частин та двох проміжних кілець, які з'єднуються між собою вісьма стяжними болтами. Передня кінцева частина ротора жорстко зв'язана із задньою кінцевою частиною компресора за допомогою фланця і має шийку для вставлення у проміжний опорний підшипник.

На виході з останнього ступеня турбіни розміщений осьовий дифузор, з якого потік газів надходить до випускної кільцевої камери з одnobічним виходом, яка не має жорсткого зв'язку з корпусом.

Турбогрупа монтується на спільній фундаментній рамі, яка водночас служить і маслобаком. На цій же рамі монтуються пускові пристрої, допоміжний масляний насос, маслоохолоджувач, масляні й паливні фільтри та інше допоміжне встаткування. Головний масляний насос має продуктивність $135 \text{ м}^3/\text{год}$ і тиск нагнітання $0,63 \text{ МПа}$. Номінальна розрахункова температура масла на вході до опор становить 54°C , максимальна – 60°C .

Транспортування двигуна здійснюється разом з усім устаткуванням, яке встановлене на фундаментній рамі, але зі знятими повітроприймальною та випускною камерами. З фундаментною рамою ГТД з'єднаний каркас, на якому змонтована зовнішня звуко- та вологоізолююча обшивка (кожух). На місце монтажу окремими блоками поставляються камера фільтрів із шумоглушінням, випускна шахта з димоходом і шумоглушінням, а також блок системи автоматичного керування та контролю.

За даними на 2005 р. компанія ввела в комерційну експлуатацію близько 780 двигунів типу MS7001E та MS7001EA, які напрацювали на той час у сумі десятки мільйонів годин.

Необхідно відзначити, що крім енергетичного двигун MS7001EA іноді знаходить також привідне застосування (наприклад, на заводах здобування зрідженого природного газу).

Модифікація MS7001FA

У червні 1987 р. науково-виробничий центр у Сканектеді представив новий двигун **MS7001F** потужністю 150 МВт (модель **PG7191F**), серійний випуск якого почався у 1990 р. Розробка ГТД велася протягом 5 років. На неї було витрачено більше 650 тис. людино-годин та 62 млн дол. У конструкції широко застосовувалися передові технології, використовувані в авіаційному газотурбобудуванні. Підвищення економічності було досягнуте за допомогою вдосконалення аеродинамічних та механічних властивостей агрегату, перспективних систем охолодження, матеріалів і покриттів. Це дозволило підняти початкову температуру газу до 1533 К, збільшивши ККД до 34,5 %. Уперше для сімейства "Frame 7" турбогрупа ГТД була виконана з двохопорним ротором. Новим також було приєднання електричного генератора з боку компресора та осьове відведення відпрацьованих газів з турбіни.

У 1993 р. з'явилася його вдосконалена версія **MS7001FA** (модель **PG7221FA**) потужністю 159 МВт і ККД 35,9 % (рис. 3.1.25). Підвищення параметрів циклу супроводжувалося розвитком системи охолодження турбінної частини: у цьому ГТД уперше в своїй історії науково-виробничий центр застосував охолодження робочих лопаток 2-го ступеня турбіни.

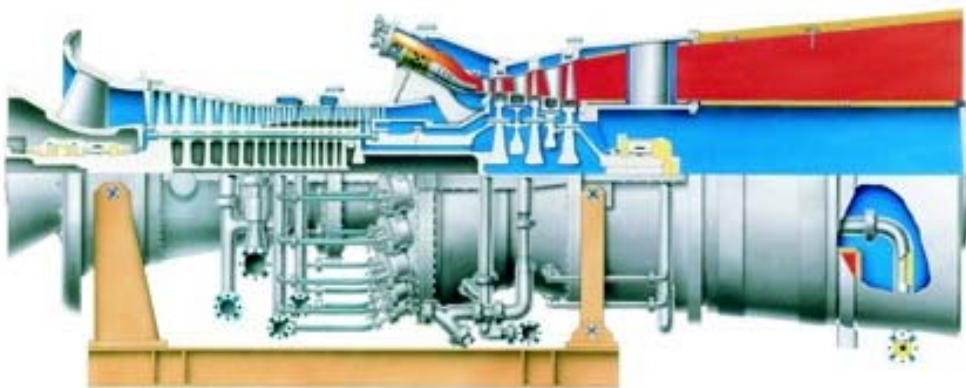


Рис. 3.1.25. Двигун MS7001FA

Подальше вдосконалювання параметрів циклу привело у 1997 р. до появи моделі **PG7231FA** (168 МВт; 36,3 %) та в 1999 р. модифікації **PG7241FA** (див. табл. 3.1.14).

Компресор двигуна MS7001FA складається з 18 осьових ступенів. Він змодельований аеродинамічно з компресора модифікації "Е" цього ж сімейства, до якого доданий нульовий і замінений 1-й ступені. Обидва вони спроектовані для роботи з трансзвуковими швидкостями й узяті з авіаційного двигуна. Їхні показники прийняті досить помірними, а аеродинамічні навантаження інших ступенів збережені невеликими. Робота компресора регулюється за допомогою поворотного вхідного напрямного апарата й антипомпажних скидань повітря

після 3-го і 13-го ступенів. Напрямні апарати всіх ступенів нерегульовані. Для збереження міцності лопаток при підвищених напруженнях вони виготовлені на вхідних ступенях (від нульового до 8-го) з нержавіючої сталі 450, а на 9–18-му ступенях – зі зміцненого легованого ніобієм сплаву AISI403.

Камера згоряння складається із 14 жарових труб діаметром 356 мм*, що встановлені під кутом 15° до осі турбогрупи і виконані зі сплаву "Hastelloy X". У кожній жаровій трубі є по шість форсунок. Це зменшує довжину факелу та скорочує на 645 мм довжину жарових труб, а також знижує шум горіння (пульсації тиску) і дозволяє збільшити інтервал між інспекціями з 3 до 12 тис. год. До складу камери згоряння входять два електроіскрових запальники і два детектори полум'я, рознесених рівномірно за колом.

Модифікація "FA" має гарні показники з емісії шкідливих речовин. Багато-річний досвід застосування системи "Dry Low NO_x" дозволив для моделі "DLN-2.6" досягти концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 10 ppm.

Для інтенсифікації охолодження газопідвідних патрубків їх оточують перфорованим екраном, крізь отвори в якому здійснюється вхід струменів повітря (душовання).

Турбіна двигуна складається з трьох ступенів із середньою мірою реактивності. Соплові лопатки 1-го та робочі лопатки 1-го та 2-го ступенів охолоджуються за допомогою внутрішнього контуру з відбиранням охолодного повітря за 17-м ступенем компресора; соплові лопатки 2-го та 3-го ступенів – за допомогою зовнішнього контуру з відбиранням охолодного повітря після 13-го ступеня компресора.

Соплові лопатки 1-го ступеня виконані з двома внутрішніми (передньою і задньою) порожнинами та комбінованим плівковим і конвективним охолодженням. Для охолодження робочих лопаток 1-го ступеня застосована конвективна система з каналами, що утворюють серпантин, і внутрішніми турбулізаторами. Робочі лопатки 2-го ступеня охолоджуються за допомогою радіальних каналів.

Робочі лопатки всіх ступенів турбіни оснащені бандажними полицями. Усі вони виготовлені зі сплаву GTD-111. Точнолиті зі сплаву FSX-414 соплові сегменти складаються кожний з двох лопаток у 1-му та 2-му і трьох лопаток у 3-му ступенях.

Незважаючи на значне зростання початкової температури газів, унаслідок більш ефективного охолодження температура робочих лопаток 1-го ступеня знизилася порівняно з моделлю 7EA на 11 К, а соплових – на 15 К.

Усі робочі лопатки захищені покриттями. На робочі лопатки 1-го ступеня нанесене плазмове покриття (кобальт, хром, алюміній, ітрій), яке збільшує опір

* Цей розмір є традиційним для жарових труб ГТД сімейств "Frame 6", "Frame 7" та "Frame 9".

корозії в три рази; 2-го ступеня – покриття (кобальт, хром, ітрій), стійке до високо- і низькотемпературної корозії; 3-го ступеня – дифузійне покриття з високим вмістом хрому, яке захищає від низькотемпературної корозії.

При проектуванні враховані вимоги з контролю- і ремонтпридатності. Для цього при розробці здійснювалося повнорозмірне макетування і проводилися консультації з експлуатаційними та ремонтними підрозділами.

Корпус турбогрупи виконаний з горизонтальним розніманням; передбачені отвори для огляду за допомогою ендоскопів компресора, камери згоряння і турбіни. Під обшивкою організовані проходи, достатні для проведення інспекцій камери згоряння. Обслуговування кожної жарової труби може виконуватися незалежно від інших. Сегменти сопел 1-го ступеня можна замінити без розкриття кришки корпусу.

Велика увага приділена підвищенню надійності агрегату. Розрахунковий коефіцієнт технічного використання становить 95 %, коефіцієнт готовності – 98 %, середній наробіток на відмовлення – 3000 год. Для досягнення таких показників прийняті відносно консервативні конструктивні рішення та дубльовані допоміжні пристрої (паливні й масляні насоси, вентилятори, фільтри, теплообмінні апарати) так, щоб при виходу їх з ладу для заміни не була потрібна зупинка ГТД.

Для підвищення надійності використане автоматичне зварювання труб у стик. Широко застосовані гнучкі трубопроводи, які зменшують небезпеку поломок і витоків.

Блок приводів знятий з ротора ГТД; привід допоміжних механізмів здійснюється окремим електродвигуном. Це дозволило також істотно полегшити їхнє обслуговування та заміну, яку стало можливим здійснювати за допомогою крана без зняття інших пристроїв, трубопроводів і кабелів.

Повітря засмоктується через самоочисні фільтри, застосування яких запобігає погіршенню показників ГТД через забруднення компресора і захищає контури охолодження турбіни. Для керування двигуном використовується система "Speedtronic Mark IV".

Перший двигун MS7001F був установлений у 1990 р. на електростанції "Chesterfield Station", яка належить компанії "Virginia Power Co." (штат Вірджинія). За даними на 2003 р. він напрацював більше 40 тис. год при 500 пусках.

У 1994 р. парогазова установка з MS7001FA, яка була введена в дію на електростанції "Seoinchon" компанії "Korea Electric Power Corp." (Південна Корея), вперше у світі досягла ефективності 55 %. Надалі розміщення нових агрегатів із MS7001FA перетворило "Seoinchon" у найбільшу в світі газотурбінну електростанцію сумарною потужністю 4000 МВт.

Наприкінці 1995 – початку 1996 рр. двигун MS7001FA, встановлений на "Independence Station" компанії "Sithe Energies Co." (штат Нью-Йорк), протягом 108 днів безупинної роботи демонстрував 100%-й показник надійності та го-

товності до введення в дію (перше рекордне значення для технології "FA"). У 1997 р. на "Martin Station" (штат Флорида) цей показник становив 203 дні.

Перший мільйон годин сумарного наробітку двигунів моделі "F/FA" (включаючи і "Frame 9F/FA") був досягнутий у 1997 р. Цей показник 31 січня 2002 р. перевищував 5 млн год. Загальна кількість ГТД, в яких використовувалася ця технологія, становила на той час 345 од.

Модифікація MS7001FB

Подальшим розвитком моделі "F" став двигун MS7001FB (рис. 14Д) потужністю 184 МВт, представлений компанією в листопаді 1999 р. Необхідно відзначити, що в цьому двигуні науково-виробничий центр застосував деякі елементи інтенсивно досліджуваної на той час технології "H". Із цієї причини він вважається перехідним між цими двома модифікаціями і спочатку в документації навіть маркувався під найменуванням MS7001G.

Незважаючи на деяке збільшення міри підвищення тиску, без істотних змін з аеродинамічної точки зору (порівняно з 7FA) залишився 18-ступінчастий осьовий компресор двигуна. Турбінна же частина була повністю перепрофільована. Робочі лопатки її 1-го ступеня виконані монокристалічними (кристал N5), інших ступенів виготовлені шляхом спрямованої кристалізації зі сплаву GTD-444. Ці зміни, а також більш розвинута система охолодження дозволили на 42 К збільшити початкову температуру газу й істотно підвищити ККД і потужність двигуна. Соплові лопатки перших двох ступенів виконані зі сплаву GTD-111.

Низькоемісійна камера згоряння типу "DLN-2.6+" забезпечує при роботі на газоподібному паливі вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 25 ppm. Двигун обладнаний системою автоматичного контролю і керування "Speedtronic Mark VI".

Перший енергетичний ГТА простої теплової схеми з MS7001FB був введений в експлуатацію на електростанції компанії "Reliant Energy Co." у м. Хантерстаун (штат Пенсільванія) на початку 2003 р. У грудні того ж року почалася його робота в складі парогазової установки S207FB.

Модифікація MS7001H

Технологія "H" традиційно для останніх десятиліть вводилася майже водночас на двигунах двох сімейств – "Frame 7" та "Frame 9". Проте на відміну від попередніх модифікацій початкове відпрацьовування конструкції здійснювалося на сімействі "Frame 9". Створення двигунів моделі "H" проводилося в рамках фінансованої Департаментом енергетики США програми "Advanced Turbine Systems".

Досвід, отриманий при відпрацьовуванні конструкції MS9001H, був урахований при вдосконалюванні MS7001H (рис. 3.1.26 та 15Д). У лютому 2000 р.

двигун успішно проходить програму досліджень на холостому ході без навантаження. У 2002 р. закінчуються його приймальні випробування. Перший двигун MS7001H повинний бути введений у комерційну експлуатацію у складі парогазової установки S107H на електростанції "Suroit" компанії "Hydro-Quebec" у м. Бьюгарноз (штат Квебек, Канада) наприкінці 2007 р.

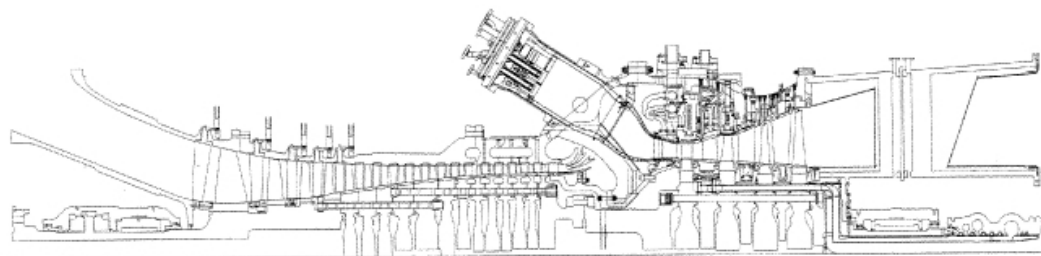


Рис. 3.1.26. Подовжній переріз двигуна MS7001H

Основною особливістю технології "H" є застосування парового охолодження лопаток турбіни. У двигуні MS7001H парою охолоджуються соплові й робочі лопатки перших двох ступенів, а також обід 1-го ступеня; лопатки 3-го ступеня охолоджуються компресорним повітрям; 4-й ступінь – неохолоджуванний.

Модифікація MS7001H призначена лише для використання у складі ПГУ з теплоутилізаційним контуром трьох тисків і проміжним перегріванням пари. Пара на охолодження відбирається після циліндра високого тиску парової турбіни з лінії холодного перегрівання, проходить через системи охолодження газової турбіни і повертається до лінії гарячого проміжного перегрівання. Ефективність ПГУ з MS7001H становить 60 %.

Відповідно до угоди про спільне виробництво ПГУ технології "H", що була укладена в 1998 р. між "General Electric Co." і "Toshiba Corp." (Японія), американська сторона відповідає за загальне проведення проекту, розробку й постачання газотурбінного двигуна; японська – забезпечує виготовлення (за ліцензією "General Electric Co.") компресорної частини ГТД, а також поставляє електрогенератори та парові турбіни власної розробки.

Двигун MS7001H традиційно має одновальний ротор. Вхідний напрямний апарат та напрямні апарати перших чотирьох ступенів 18-ступінчастого осьового компресора виконані поворотними. Низькоемісійна камера згоряння (тип "DLN-2.6") – протитокова, секційна, складається з 12 жарових труб, розміщених під кутом до осі двигуна. Можливим є спалювання як рідкого, так і газоподібного палива. При роботі на природному газі концентрація оксидів азоту у відпрацьованих газах не перевищує 10 ppm.

Уперше для сімейства "Frame 7" турбіна двигуна виконана 4-ступінчастою. Лопатки всіх ступенів турбіни спроектовані на основі тривимірних розрахунків відповідно до методик підрозділу "GE Aviation". Для 1-го ступеня вони відлиті як монокристал (сплав RENE N5), для інших трьох отримані литтям зі спрямо-

ваною кристалізацією з матеріалу GTD-444. Соплові та робочі лопатки 1-го і 2-го ступенів захищені термобар'єрним покриттям зі стабілізованого цирконієм окису ітрію.

Двигун обладнаний системою автоматичного контролю і керування "Speedtronic Mark VI".

* * *

Компанія "General Electric Co." на базі двигунів сімейства "Frame 7" виготовляє енергетичні парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (табл. 3.1.15). Установки з двигуном MS7001EA виконані з теплоутилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегрівання пари; з двигунами MS7001FA та MS7001FB – з контурами трьох тисків і проміжним перегріванням пари. В останньому випадку до складу установки входить двоциліндрова парова турбіна (другий циліндр має частини середнього та низького тисків), що виконана за технологією "High Efficiency Advanced Technology" ("HEAT").

Таблиця 3.1.15. Характеристики установок на базі двигунів "Frame 7"

Назва	Потужність на клемах генера- тора, МВт	ККД на клемах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
S107EA	130,2	50,2	83,5	48,7
S207EA	263,6	50,9	167,0	100,7
S107FA	262,6	56,0	170,8	95,6
S207FA	529,9	56,5	341,7	195,8
S107FB	280,3	57,3	183,1	101,0
S207FB	562,5	57,5	366,3	204,0
S107H	400,0	60,0	—	

Сімейство двигунів "Frame 9"

Сімейство двигунів "Frame 9" створювалося науково-виробничим центром спеціально для ринку енергетичних агрегатів, що генерують струм частотою 50 Гц, тобто головним чином для європейського й азіатського регіонів. Майже всі представники цього сімейства отримані шляхом геометричного масштабування аналогічних моделей сімейства "Frame 7", що призначені для генерації струму частотою 60 Гц і були введені у серійне виробництво кількома роками раніше.

Перший представник сімейства – двигун **MS9001B** потужністю 85 МВт і ККД 31,1 % був одержаний у 1975 р. конвертуванням із ГТД MS7001B. При однаковій початковій температурі газу (1277 К) потужність нового двигуна перевищувала потужність базового на 42 %.

У другій половині 70-х років у промислових ГТД компанії починає використовуватися нова технологія, що одержала найменування "Е". Першим з них у 1978 р. вводиться в дію модифікація MS7001E потужністю 75 МВт. Досвід,

отриманий при її створенні, використовується для розробки двигуна **MS9001E** (1979 р.) (табл. 3.1.16).

Таблиця 3.1.16. Характеристики енергетичних агрегатів на основі двигунів "Frame 9"

Параметри	PG9171E	PG9231EC	PG9351FA	PG9001FB	MS9001H*
Номінальна потужність, МВт	126,1	169,1	255,6	268	~310
ККД, %	33,8	34,9	36,9	37,5	~38,8
Витрата робочого тіла, кг/с	418	508	640	660	685
Міра підвищення тиску	12,6	14,0	17,0	18,5	23,0
Температура газу, К: початкова за ГТД	1397 816	1477 829	1603 875	1645 895	1701 866
Частота обертання ротора, об/хв	3000				
Маса, т	862	771	1088		368
Довжина, м	35,1	41,2	34,1		11,9
Ширина, м	23,5	16,2	7,6		4,9
Висота, м	11,9	13,7	15,2		5,0

* Для MS9001H указані маса і габарити тільки двигуна. Постачання цього ГТД окремим модулем (поза парогазової установки) не здійснюється.

Модифікація MS9001E

Двигун MS9001E, як і всі представники цього сімейства, виконаний одно-вальною за простою тепловою схемою (рис. 3.1.27). Частота обертання ротора 3000 об/хв дозволяє приводити двополюсний генератор електричного струму без використання яких-небудь додаткових редукційних передач.

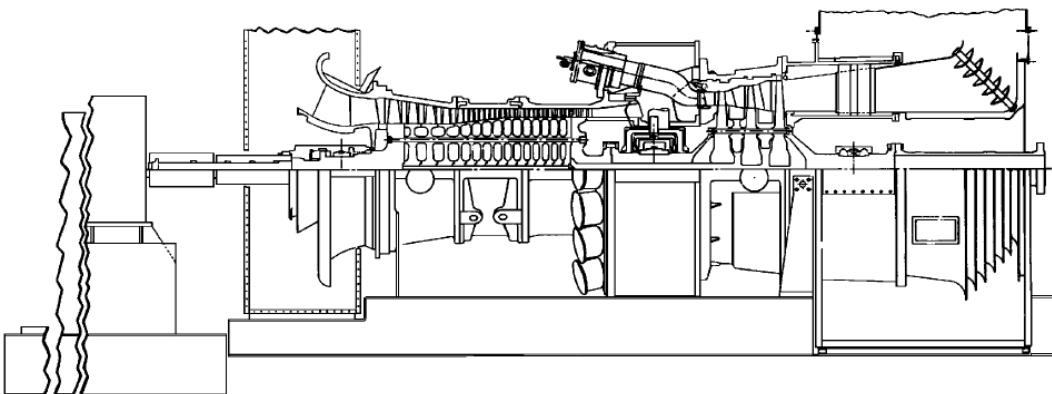


Рис. 3.1.27. Подовжній переріз двигуна MS9001E

Однокаскадний компресор має 17 осьових ступенів. У проточній частині передбачено кілька відбирань повітря для охолодження турбіни. Ротор виготовляється збірним, складається з окремих дисків, а також передньої та задньої кінцевих частин, що стягнуті болтами між собою. Передавання крутного моменту здійснюється за допомогою торцевих шліців, які виконані в дисках та кінцевих частинах ротора. Робочий діапазон частот обертання менше від першої критичної частоти. Найбільший зовнішній діаметр спостерігається у вхідному перетині та становить 2162 мм, колова швидкість на цьому діаметрі – 340 м/с.

З компресора повітря через спрямний апарат надходить до секційної протитокової камери згоряння, що містить у собі 14 жарових труб, які розташовані рівномірно за колом під кутом 15° до осі двигуна та оснащені комбінованими пальниковими пристроями. Порівняно з технологією "В" конструкція камери згоряння істотно змінилася. Якщо в попередній моделі використовувалися жарові труби жалюзійного типу з охолодженням крізь жалюзійну перфорацію, то новий ГТД оснащений жаровими трубами із щілинним охолодженням. Зменшилася довжина жарових труб, змінилася їхня орієнтація щодо осі двигуна (рис. 3.1.28). Як основний матеріал прийнятий сплав "Hastelloy X". Уперше на елементи камери згоряння нанесені термобар'єрні покриття.

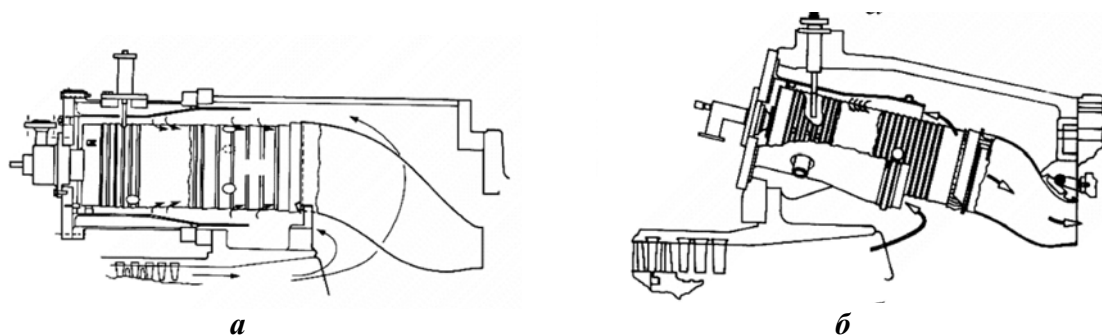


Рис. 3.1.28. Схема камер згоряння двигунів MS9001B (а) та MS9001E (б)

Відмітною рисою MS9001E є багатопаливність. Можливою є його робота на природному газі, легких та важких сортах дизельного палива, моторному паливі, нафті, залишкових маслах, газифікованих твердих паливах. Переключення з одного виду палива на інший здійснюється без зупинки ГТД та зміни режиму навантаження. Низькоемісійна камера згоряння "Dry Low NO_x " дозволяє знизити вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах до 15 ppm при роботі на природному газі.

Турбіна – осьова, триступінчаста, активного типу, оснащена складеним ротором, який містить у собі передню та задню кінцеві частини, три диски і два проміжні кільця між ними. Елементи ротора з'єднуються в одне ціле за допомогою периферійно розташованих стяжних болтів. Ротор турбіни жорстко з'єднаний на фланці з ротором компресора. Сопловий апарат 1-го ступеня скла-

дається з 18 сегментів, кожний з яких містить у собі по дві лопатки. (У моделі MS9001B було 12 сегментів по 4 лопатки в кожному.)

Поверхні дисків охолоджуються компресорним повітрям. Корпус турбіни двостінний і також має повітряне охолодження. Соплові та робочі лопатки 1-го ступеня мають внутрішнє конвективне охолодження. Уперше для цього сімейства охолоджуються також соплові лопатки 2-го ступеня.

З турбіни газ надходить до вихідного кільцевого дифузора з однобічним виходом через патрубок, оснащений напрямними лопатками для кращої організації потоку.

Двигун MS9001E призначений для роботи як у базовому, так і піковому режимах. Час виведення ГТД із холодного стану на номінальну потужність не перевищує 26 хв. Монтаж ГТД здійснюється на спільній фундаментній рамі разом з обслуговуючими механізмами та іншим допоміжним устаткуванням. Це забезпечує транспортування агрегату вже зібраним та значно скорочує час і кошти при монтажі на місці.

Необхідно відзначити, що з 1979 р. двигун MS9001E неодноразово вдосконалювався. Перша модель **PG9141E** при початковій температурі газу 1341 К мала потужність 106 МВт і ККД 31,9 %. У 1983 р. представляється **PG9151E** (1366 К, 112 МВт, 32,3 %), у 1988 р. – **PG9161E** (1377 К, 117 МВт, 33,2 %), у 1991 р. – **PG9171E**.

Подальшим розвитком сімейства стала **модифікація MS9001EC**, одержана з MS9001E з урахуванням змін у технології, вперше введених у MS7001EC. Серійно випускається з 1996 р.

За даними на червень 2002 р. було виготовлено більше 350 двигунів типу MS9001E, сумарний наробіток яких на той час перевищив 8 млн год. Двигун показав відмінні експлуатаційні якості при роботі в найрізноманітніших кліматичних умовах, у т. ч. жарких пустелях, вологих тропіках і холодних арктичних регіонах.

Модифікація MS9001FA

Модифікація MS9001F розроблялася як геометрично подібна (масштабний коефіцієнт 1,2) двигуну MS7001F. Роботи над обома ГТД велися практично паралельно. Перший дослідний зразок двигуна потужністю 210 МВт і ККД 33,9 % (модель **PG9301F**) виготовляється компанією у 1988 р. Початкова температура газу в циклі становила 1533 К.

У 1992 р. MS9001F уперше вводиться в комерційну експлуатацію на електростанції "Gennevilliers" біля Парижу (Франція). На той час він став найпотужнішим (215 МВт) у світі газотурбінним двигуном.

У 1995 р. з'являється вдосконалена модифікація **MS9001FA** (рис. 3.1.29 та 16Д), що мала на той час при початковій температурі газу 1561 К потужність 224 МВт і ККД 35,4 % (модель **PG9311FA**).

Двигун MS7001FA має одновальний двохопорний ротор з відведенням потужності з боку компресора. Вихід відпрацьованих газів з ГТД осьовий.

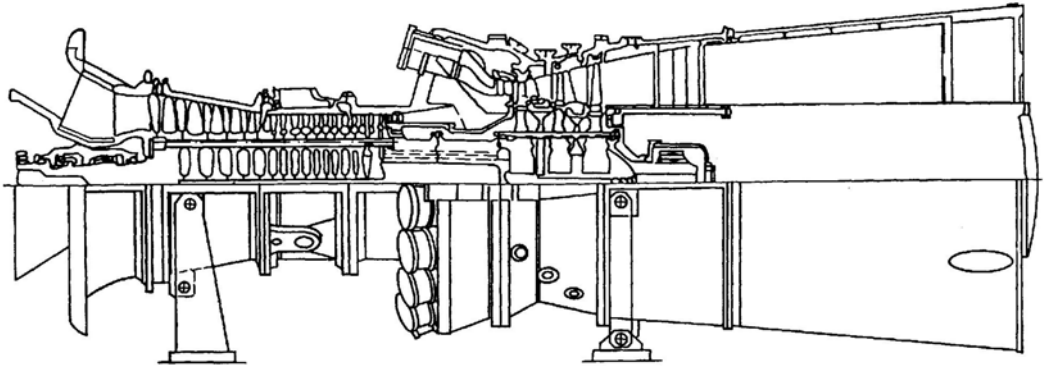


Рис. 3.1.29. Подовжній переріз двигуна MS9001FA

Двигун MS7001FA має одновальний двохопорний ротор з відведенням потужності з боку компресора. Вихід відпрацьованих газів з ГТД осьовий.

Компресор двигуна складається з 18 осьових ступенів, перші два з яких трансзвукові. Робота компресора регулюється за допомогою поворотного вхідного напрямного апарата та антипомпажних скидань повітря після 3-го і 13-го ступенів. Напрямні апарати всіх ступенів нерегульовані. Найбільший зовнішній діаметр компресора становить 2487 мм, колова швидкість на цьому діаметрі – 391 м/с.

Протитокова секційна камера згоряння складається з 18 жарових труб діаметром 356 мм, що встановлені під кутом 15° до осі турбогрупи і виконані зі сплаву "Hastelloy X". У кожній жаровій трубі є по шість форсунок. До складу камери згоряння входять два електроіскрових запальники і два детектори полум'я, що розміщені рівномірно за колом. Для інтенсифікації охолодження газопідвідних патрубків їх оточують перфорованим екраном, крізь отвори в якому здійснюється вхід струменів повітря (душовання).

Модифікація "FA" має гарні показники з емісії шкідливих речовин. Багаторічний досвід застосування системи "Dry Low NO_x" дозволив для моделі "DLN-2.0+" при роботі на природному газі досягти концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 25 ppm.

Турбіна двигуна складається з трьох осьових ступенів. Соплові лопатки 1-го і робочі лопатки 1-го та 2-го ступенів охолоджуються за допомогою внутрішнього контуру з відбиранням охолодного повітря за 17-м ступенем компресора; соплові лопатки 2-го і 3-го ступенів – за допомогою зовнішнього контуру з відбиранням охолодного повітря після 13-го ступеня компресора.

Робочі лопатки всіх ступенів турбіни оснащені бандажними полицями. Усі вони виготовлені зі сплаву GTD-111. Точноліті зі сплаву FSX-414 соплові сегменти складаються кожний із двох лопаток у 1-му і 2-му та трьох лопаток у 3-му ступенях.

Корпус турбогрупи виконаний з горизонтальним розніманням; передбачені отвори для огляду за допомогою ендоскопів компресора, камери згоряння і турбіни. Під обшивкою організовані проходи, достатні для проведення інспекцій камери згоряння. Обслуговування кожної жарової труби може виконуватися незалежно від інших. Сегменти сопел 1-го ступеня можна замінювати без розкриття кришки корпусу.

За даними на грудень 2003 р. були поставлені або знаходилися в стадії виконання замовлення 149 двигунів типу MS9001FA, з них 85 у Європі.

Модифікація MS9001FB

Подальшим розвитком моделі "F" став двигун MS9001FB потужністю 268 МВт, представлений наприкінці 2002 р. Відмітною його рисою є висока пристосованість до спільної роботи з теплоутилізаційним контуром у складі парогазових і когенерацийних установок. Компанія "General Electric Co." не виконує постачання цього ГТД без теплоутилізаційного контуру. Необхідно також відзначити, що в моделі "FB" науково-виробничий центр використовував деякі елементи технології "H", яка інтенсивно розроблялася у той час.

Незважаючи на деяке збільшення міри підвищення тиску, без істотних змін з аеродинамічної точки зору (порівняно з MS9001FA) залишився 18-ступінчастий осьовий компресор двигуна. Турбінна же частина була повністю перепрофільована. Робочі лопатки її 1-го ступеня виконані монокристалічними (кристал N5), інших ступенів відлиті зі спрямованою кристалізацією зі сплаву GTD-444. Ці зміни, а також більш розвинута система охолодження дозволили збільшити початкову температуру газу й істотно підвищити ККД і потужність двигуна. Соплові лопатки перших двох ступенів виконані зі сплаву GTD-111.

Низькоемісійна камера згоряння (система "DLN-2+") дозволяє знизити концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах до 25 ppm при роботі на газоподібному паливі. Двигун обладнаний системою автоматичного контролю і керування "Speedtronic Mark VI".

Перші ГТА з MS9001FB введені в експлуатацію у складі парогазових установок S209FB у 2005 р. на двох електростанціях, що належать іспанській компанії "Iberdrola Generacion S.A." – "CCC Arcos de la Frontera Grupo III" (м. Кадіз) та "Escombreras" (м. Мурсія).

Модифікація MS9001H

Розробка конструкції двигуна модифікації "H" почалася у 1991 р. У травні 1995 р. "General Electric Co." офіційно затверджує програму створення такого ГТД. Традиційно для останніх десятиліть нова технологія вводилася водночас на двигунах двох сімейств – MS7001H та MS9001H. Однак уперше роботи почалися саме з двигуна "Frame 9", оскільки реалізація цього сімейства на сьогодні вважається більш перспективною.

У серпні 1997 р. компресорна частина MS9001H проходить серію випробувань (рис. 3.1.30). У жовтні того ж року спеціально для двигуна науково-виробничий центр виготовляє перший комплект монокристалічних робочих лопаток великої довжини.

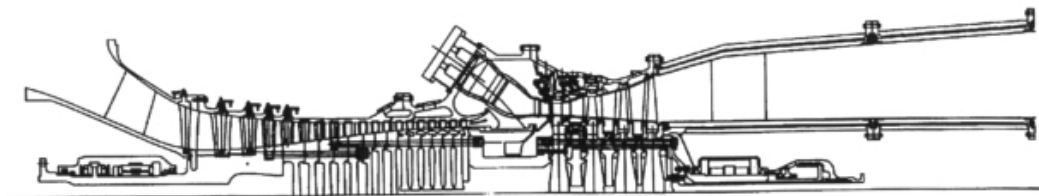


Рис. 3.1.30. Подовжній переріз двигуна MS9001H

У травні 1998 р. здійснюються випробування виготовленого дослідного зразка ГТД на холостому ходу без навантаження (рис. 17Д). Після доробки конструкції в листопаді 1999 р. досліджуються характеристики MS9001H з метою перевірки придатності його до монтажу в складі агрегату й у грудні 2000 р. він транспортується у Великобританію для встановлення на електростанції "Baglan Bay" (м. Кардіфф, Уельс). Після закінчення монтажних і перевіро-чних робіт у вересні 2003 р. двигун 9H вводиться на цій площадці в дослідну експлуатацію. Результати перших років експлуатації стали матеріалом для подальшого вдосконалювання конструкції двигуна й усунення недоліків.

Компанія "General Electric Co." у своїх релізах відзначає, що ніколи вартість робіт зі створення і доведення нового ГТД не була настільки високою. В окремі роки над технологією "H" працювали водночас до 600 чол., витрати в рік іноді перевищували 100 млн дол.

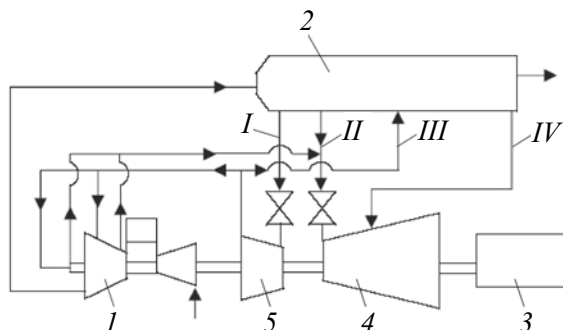
Основною особливістю технології "H" є використання парового охолодження лопаток газової турбіни. При температурі газів на виході з камери згоряння 1700 К глибина охолодження компресорним повітрям соплових лопаток 1-го ступеня становить 155 К. При заміні охолодного повітря парою, що циркулює в замкнутому контурі, глибина охолодження підвищується на 44 К. Це дозволяє за тих самих умов горіння палива підвищити температуру перед ротором турбіни на 110 К.

У двигуні MS9001H парою охолоджуються соплові та робочі лопатки перших двох ступенів, а також обід 1-го ступеня турбіни. Пара відбирається після циліндра високого тиску парової турбіни з лінії холодного проміжного перегрівання, проходить через системи охолодження газової турбіни і повертається в лінію гарячого проміжного перегрівання (рис. 3.1.31). Для системи охолодження ротора розроблені ущільнення, що зводять до мінімуму витоки пари.

Використання пари істотно зменшує кількість повітря, що відбирається з компресора для охолодження. Це повітря потрібне тільки для ущільнення пазах дисків і внутрішніх каналів ротора та охолодження деталей 3-го ступеня турбіни. Більша кількість повітря надходить унаслідок цього до камери

згоряння і розширюється далі у турбіні, відповідно збільшуючи потужність ГТД.

Рис. 3.1.31. Схема парогазової установки з двигуном MS9001H:
1 – двигун; 2 – котел-утилізатор;
3 – електрогенератор; 4 – циліндр із частинами середнього і низького тисків;
5 – циліндр високого тиску;
I, IV – відповідно лінії пари високого та низького тисків; II, III – відповідно лінії гарячої та холодної перегрітої пари



Традиційно для останніх моделей сімейства двигун MS9001H виконаний одновальним, із приводом електричного генератора з боку компресора й осьовим відведенням газу з турбіни. Компресор 18-ступінчастий змодельований у масштабі 3:1 із 14-ступінчастого КВТ авіаційного турбовентиляторного двигуна CF6-80C2 зі зміною профілів 1-го і додаванням на виході ще чотирьох ступенів. Вхідний напрямний апарат та напрямні апарати перших чотирьох ступенів виконані поворотними.

Камера згоряння – протитокова, секційна, розрахована на спалювання як рідкого, так і газоподібного палива. До її складу входять 14 жарових труб, діаметр яких збільшений порівняно з моделлю MS9001FA на 20 %. У трубах здійснюється спалювання збідненої попередньо підготовленої паливоповітряної суміші при температурі 1755...1870 К (система "DLN-2.5"). На номінальному режимі роботи при збереженні високої повноти згоряння викиди NOx не перевищують 10 ppm.

На відміну від попередніх модифікацій турбіна двигуна MS9001H має чотири ступені. Додавання одного ступеня дозволило зберегти високий ККД конструкції при збільшеній глибині розширення робочого тіла. Охолоджуються соплові та робочі лопатки перших трьох ступенів турбіни, з них парою – 1-й і 2-й, компресорним повітрям – 3-й ступені.

Лопатки всіх ступенів турбіни спроектовані на основі тривимірних розрахунків відповідно до методик авіаційного газотурбобудування. Для 1-го ступеня вони відлиті як монокристал (сплав RENE N5), для інших трьох отримані литтям зі спрямованою кристалізацією зі сплаву GTD-444. Соплові та робочі лопатки 1-го і 2-го ступенів захищені термобар'єрним покриттям зі стабілізованого цирконієм окису ітрію. Лопатки перших трьох ступенів турбіни виконані охолоджуваними, 4-го ступеня – без охолодження.

Газотурбінний двигун MS9001H використовується тільки у складі парогазових установок з теплоутилізаційним контуром трьох тисків і проміжним перегріванням пари. Він не призначений для автономної роботи. При температурі газу на виході 866 К у паровому циклі використовується пара з тиском 16,5 кПа

і температурою проміжного перегрівання 838 К. Ефективність ПГУ з двигуном MS9001H становить 60 % (уперше в історії "General Electric Co." і всього світу). Двигун обладнаний системою автоматичного контролю і керування "Speedtronic Mark VI".

* * *

Компанія "General Electric Co." на базі двигунів сімейства "Frame 9" виготовляє енергетичні парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (табл. 3.1.17). Установки з двигунами MS9001E та MS9001EC виконані з теплоутилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегрівання пари; ПГУ з іншими ГТД – з контурами трьох тисків і проміжним перегріванням пари. В останньому випадку до складу установки входить двоциліндрова парова турбіна (2-й циліндр має частини середнього і низького тисків), виконана за технологією "High Efficiency Advanced Technology" ("HEAT").

Таблиця 3.1.17. Характеристики установок на базі двигунів "Frame 9"

Назва	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на клеммах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
S109E	193,2	52,0	124,3	71,8
S209E	391,4	52,7	248,6	148,5
S109EC	259,3	54,0	166,6	96,6
S209EC	522,6	54,4	333,2	197,6
S109FA	390,8	56,7	254,1	141,8
S209FA	786,9	57,1	508,2	289,2
S109FB	412,9	58,0	266,7	151,7
S209FB	825,4	58,0	533,4	303,7
S109H	480,0	60,0		—

3.1.3. Науково-виробничий центр у м. Флоренція (Італія)

Науково-виробничий центр у Флоренції (Італія) є складовою частиною італійської компанії "**Nuovo Pignone S.p.A.**" і часто асоціюється з нею. У свою чергу "Nuovo Pignone S.p.A." складає основу підрозділу "**General Electric Oil & Gas**". До складу цього підрозділу входять підприємства "Gemini", "GE Packaged Power Odessa", "Rotoflow", "AC Compressor and Conmec" (США), "Thermodyn" (Франція) та "PII Pipeline Solutions" (Великобританія). Загальна чисельність працівників "GE Oil & Gas" становить 5500 чол. (2006 р.).

Компанія "**Pignone**" була заснована у Флоренції в 1842 р. як чавуноливарне підприємство. У 1853 р. у машинобудівному цеху компанії виготовляється перший у світі газовий поршневий двигун внутрішнього згоряння. Друга половина XIX ст. характеризується істотним розширенням машинобудівного виробництва.

У перші роки XX ст. підприємство організовує випуск поршневих компресорів, виробництво яких постійно розширюється. У 20–30-х роках "Pignone S.p.A." освоює випуск поршневих КВТ для синтезу аміаку та інших хімічних процесів.

В історії підприємства 1935 рік ознаменувався будівництвом нового заводу, після чого назва компанії змінилася на **"Nuovo Pignone S.p.A."**.

У 1936 р. підприємство виготовляє рекордний для свого часу поршневий КВТ, який приводився в дію двигуном потужністю 1840 кВт (2500 к. с.).

У 1954 р. "Nuovo Pignone S.p.A." входить до складу італійського концерну "ENI" і починає розробку та випуск турбінного встаткування, швидко розвиваючись як провідний виробник спеціального встаткування для обробної промисловості й енергетики.

У 60-х роках виготовляються перші відцентрові компресори для синтезу аміаку, що створювали тиск до 35 МПа; з'являються перші відцентрові компресори для виробництва сечовини, які в цей час використовуються на 80 % підприємств світу цього профілю.

До цього ж періоду (1961 р.) відносять і придбання в американської "General Electric Co." першої ліцензії на виробництво газотурбінних двигунів сімейства "Frame 3" (перший ГТА виготовляється у 1963 р.), яке надалі доповнюється сімейством "Frame 5". На підприємстві створюється дослідницька лабораторія з гідродинаміки, що стане незабаром однією з найбільш передових у промисловому світі.

У 70-х роках "Nuovo Pignone S.p.A." створює відцентрові компресори реінжекції газу з тиском до 45 МПа, бере участь у створенні найбільших у світі станцій з реінжекції в пустелі Алжиру. Відцентрові компресори цього типу з тиском до 70 МПа виробляються для морських платформ у Північному морі.

У 80-х роках компанія бере участь у створенні Транссибірського трубопроводу, забезпечуючи постачання 19 компресорних станцій з 57 відцентровими компресорами, оснащеними 57 ГТД. Збільшуються виробництво ГТА та обсяг продажів агрегатів для вироблення електроенергії, освоюється випуск нових ліцензійних моделей.

У 1994 р. "General Electric Co." здобуває більше 80 % акцій "Nuovo Pignone S.p.A.", яка, однак, залишається незалежною компанією з юридичної та фінансової точок зору. Підписується другий контракт на переоснащення і відновлення Транссибірського трубопроводу.

У 1998 р. кількість акцій, що належать "General Electric Co.", зростає до 91 %, унаслідок чого "Nuovo Pignone S.p.A." реорганізується, окремі її частини продаються іншим компаніям, залишок же фірми на правах структурної одиниці вводиться до складу підрозділу "GE Oil & Gas".

* * *

Сьогодні науково-виробничий центр у Флоренції є світовим лідером у галузі компримування газу. Він поставляє високоякісне встаткування для всіх секторів нафтової, газової, нафтохімічної промисловості, а також для

виробництва електроенергії. За свою історію підприємство виготовило більше 10000 промислових систем*.

Основною продукцією науково-виробничого центру є відцентрові, осьові та поршневі компресори, парові турбіни і газотурбінні агрегати, відцентрові й багатоступінчасті насоси, різне встаткування для нафтової та газової промисловості, нафтопереробки, нафтохімії та виробництва електроенергії. Підприємство виконує широкий комплекс відбудовних і ремонтних робіт виготовлюваного встаткування.

Для застосування в промисловості випускаються парові турбіни конденсаційного і протитискового типів потужністю 1...150 МВт із початковим тиском пари до 14 МПа та початковою його температурою до 540 °С. Частота обертання ротора таких турбін може становити 2800...16000 об/хв.

Підприємство випускає багатоступінчасті відцентрові компресори таких основних типів: "МС", "2МС" та "3МС" (продуктивність 350 тис. м³/год, тиск нагнітання 4,5 МПа); "DMC" (500 тис. м³/год, 1,0 МПа); "SR" (240 тис. м³/год, 5,0 МПа); "BC" і "2BC" (100 тис. м³/год, 7,5 МПа); "DBC" (200 тис. м³/год, 10,0 МПа); "PC" (100 тис. м³/год, 12,0 МПа).

Випускаються також осевідцентрові компресори типу "АС" (600 тис. м³/год, 2,5 МПа) та осьові компресори типу "АН" (600 тис. м³/год, 1,5 МПа). Підприємство виготовляє турбодетандери серії "PGE" вхідним тиском до 8 МПа та витратою робочого тіла до 150 кг/с.

Для енергетичного і привідного призначення науково-виробничий центр пропонує газотурбінні агрегати, засновані на таких двигунах:

GE5 потужністю 5,5 МВт та ККД 31 %;

GE10 потужністю 11 МВт і ККД 32 %;

MS3002J та MS3002K ("Frame 3") потужністю 8...11 МВт і ККД 26...29 %;

PG5001PA, MS5002C, MS5002D та MS5002E ("Frame 5") потужністю 26...32 МВт із ККД 28...36 %;

PGT16 потужністю 14 МВт і ККД 36 %;

PGT20, PGT25 та PGT25+ потужністю 18...31 МВт із ККД 36...41 %.

Крім цього, науково-виробничий центр здійснює комплектацію, збирання і постачання ГТА з двигунами, виготовленими іншими заводами компанії – LM6000, MS6001B, MS7001EA і MS9001E.

Пекіджування та тестові випробування ГТА здійснюються на підприємстві "GE Oil & Gas" у м. Масса (Італія).

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

* Підприємство виготовило 9400 поршневих компресорів, 8000 відцентрових насосів, 3000 відцентрових компресорів, 2000 турбоагнітативів, 1700 газотурбінних агрегатів, 1600 гвинтових компресорів, 700 парових турбін; провело інспекцію 241,4 тис. км нафто- і газопроводів.

Двигун GE5 (PGT5B)

Двигун GE5 (раніше PGT5B)* випускається науково-виробничим центром у двох основних модифікаціях: енергетичній одновальній (**GE5-1**) та привідній двовальній (**GE5-2**); поєднує у собі технології авіаційного газотурбобудування підрозділу "GE Aviation" і промислового турбобудування підприємства у Флоренції (рис. 3.1.32 та 18Д). Дослідження зразка двигуна пройшли в червні 1999 р., серійне виробництво моделі GE5-1 ведеться з кінця 1999 р., моделі GE5-2 – з 2003 р.

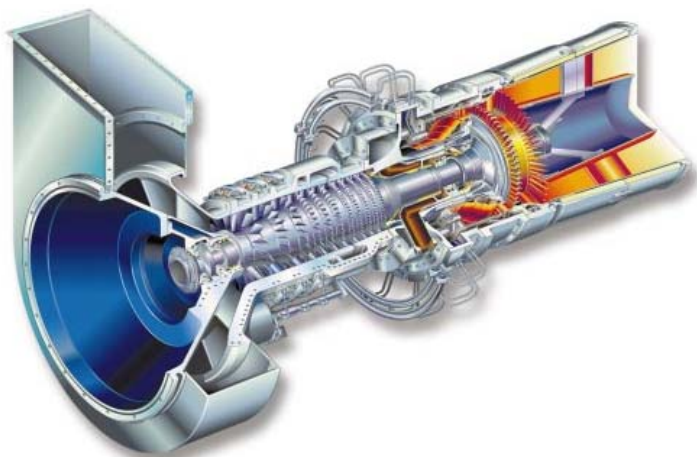


Рис. 3.1.32. Двигун GE5-1

Основні характеристики енергетичних та привідних ГТА на основі двигуна GE5 наведені нижче:

	Енергетичний ГТА	Привідний ГТА
Номінальна потужність, МВт	5,5	5,6
ККД, %	30,7	31,5
Витрата робочого тіла, кг/с	19,5	20,0
Міра підвищення тиску	14,8	14,6
Температура газу, К:		
початкова	1465	1470
за ГТД	847	829
Частота обертання силової турбіни, об/хв	16630	12500
Маса, т	57,8	23,0
Габарити, м	9,8×2,5×3,0	8,1×2,5×2,9

Компресор – осьовий, 11-ступінчастий; його проточна частина отримана геометричним масштабуванням з компресора двигуна GE10. Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших двох ступенів виконані поворотними.

* Енергетична модифікація попередньої моделі PGT5 мала потужність 5,2 МВт, ККД 26,8 % (на клеммах генератора), міру підвищення тиску 9,1; оснащувалася 15-ступінчастим осьовим компресором та однотрубчастою індивідуальною камерою згоряння.

Перші п'ять ступенів є трансзвуковими. Ротор компресора – суцільнокований. Напрямні лопатки встановлені в каналах литого корпусу.

Відбирання повітря із 4-го ступеня компресора здійснюється для підпирання масляних ущільнень, із 7-го ступеня – для охолодження турбіни. Додаткове скидання повітря здійснюється для запобігання помпажних явищ під час набирання та скидання потужності.

Кільцева камера згоряння має 18 паливних форсунок, один електроіскровий запальник; вона виготовлена зі сплаву "Hastelloy X" і розроблена з урахуванням мінімізації виходу оксидів азоту (система "Dry Low NO_x"). Кожна паливна форсунка має дворядний завихрювач, який забезпечує якісне змішання паливоповітряної суміші та стабілізацію фронту полум'я в зоні горіння. Можливою є робота як на газоподібному, так і рідкому паливі. Переключення між видами використовуваного палива відбувається без зупинки ГТД і скидання навантаження. Концентрація NO_x у відпрацьованих газах при роботі на газоподібному паливі не перевищує 25 ppm, на рідкому – 65 ppm. При цьому забезпечується вміст окису вуглецю менше 20 і 25 ppm відповідно.

В енергетичній модифікації GE5-1 турбіна виконана двоступінчастою, реактивною. Соплові та робочі лопатки 1-го ступеня охолоджуються компресорним повітрям. Ротор турбіни дисковий, складений. Його з'єднання з ротором компресора дає єдиний ротор ГТД, що спирається на два опорних підшипники ковзання. Упорний підшипник розміщений у компресорній частині двигуна. Відведення потужності від вала здійснюється з холодної сторони ГТД.

Для робочих лопаток 1-го ступеня використаний сплав RE80, для 2-го – RE180. Їхнє кріплення здійснюється за допомогою ялинкових хвостовиків. Усі соплові сегменти зроблені з матеріалу FSX414. На лопатки нанесене термобар'єрне покриття з платинового алюмініду. Сопловий апарат 1-го ступеня складається із 16 сегментів, 2-го – із 14.

Невелике число ступенів турбіни при значній мірі зниження тиску в ній обумовило високі швидкості течії газу за сопловими каналами і, внаслідок цього, значні хвильові втрати енергії. З метою підвищення ефективності турбіна двигуна пройшла спеціальну програму експериментальних досліджень в університеті м. Грац (Австрія).

Характерною рисою енергетичної модифікації є наявність вбудованого планетарного редуктора, що необхідний для зниження частоти обертання вихідного вала. У моделі GE5-1 частота обертання знижується до 1500 або 1800 об/хв, що дозволяє приводити в обертання чотириполюсні генератори перемінного струму частотою 50 або 60 Гц.

У привідній модифікації GE5-2 одноступінчаста турбіна компресора являє собою модернізовану турбіну ГТД GE5-1 зі знятим другим ступенем. Вільна силова турбіна виконана двоступінчастою.

Двигун GE5 монтується на спільній рамі із системою запуску (як правило, гідравлічною), редуктором, допоміжними механізмами та теплозвукоізолю-

ючим кожухом. За межами рами здійснюється монтаж тільки охолоджувачів масла й електричного генератора. На верхній частині кожуха розміщується вхідний повітроочисний пристрій. Кожух має широкі подвійні дверцята для зручного доступу до всіх компонентів двигуна і допоміжних механізмів, а також для полегшення виймання ГТД.

Пекіджування агрегатів, створюваних на основі GE5, стандартизовано з метою прискорення виконання доставок замовнику. Передбачається також широкий спектр додаткових можливостей з оснащення ГТА.

Двигуни GE5 часто поставляються разом з теплоутилізаційним контуром. Генерована за рахунок тепла відпрацьованих газів пара використовується для одержання додаткової потужності в паровій турбіні або витрачається на виробничі та теплофікаційні потреби.

Протягом експлуатації передбачене проведення щорічних бороскопічних інспекцій проточної частини. Інспекція гарячих частин ГТД проводиться кожні два роки. Капітальний ремонт здійснюється через 50 тис. год сумарного наробітку і може проходити безпосередньо на станції, у ремонтній майстерні або на базовому підприємстві.

Двигун GE10 (PGT10B)

Двигун GE10 (раніше PGT10B)* випускається науково-виробничим центром з 1999 р. у двох основних модифікаціях: енергетичній одновальній (GE10-1) та привідній двовальній (GE10-2) (рис. 3.1.33).

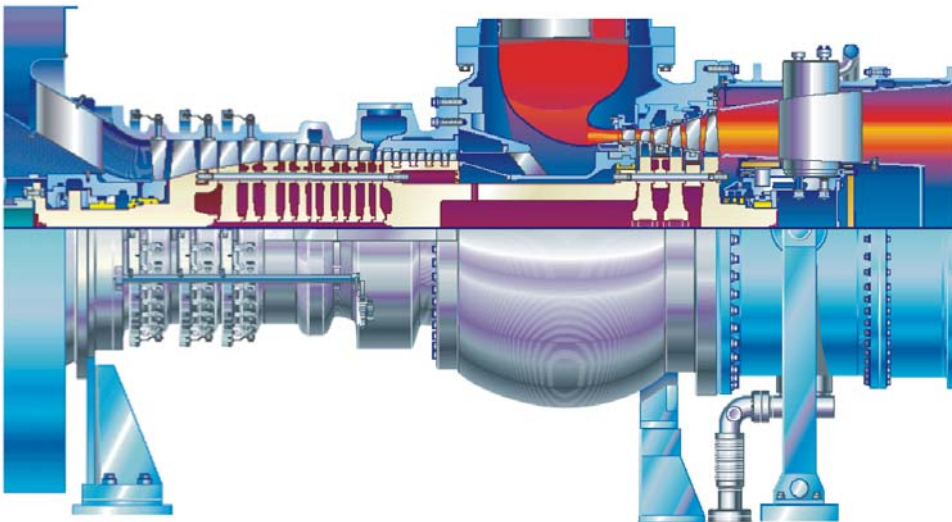


Рис. 3.1.33. Енергетичний двигун GE10-1

* Енергетична модифікація попередньої моделі PGT10 мала потужність 10,2 МВт, ККД 31,2 % (на клеммах генератора), міру підвищення тиску 13,8; серійно випускалася з 1988 по 2000 р.

Основні характеристики енергетичних та привідних ГТА на основі двигуна GE10 наведені нижче:

	Енергетичний ГТА	Привідний ГТА
Номінальна потужність, МВт	11,3	11,7
ККД, %	31,4	32,5
Витрата робочого тіла, кг/с	47,5	46,9
Міра підвищення тиску	15,5	15,4
Температура газу за ГТД, К	755	757
Частота обертання турбіни компресора/силової турбіни, об/хв	11000/11000	11000/7900
Маса, т	77,8	58,0
Габарити, м	12,8×2,5×3,0	11,0×3,0×3,8

В обох моделях використовується 11-ступінчастий однокаскадний осьовий компресор. Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших двох ступенів виконані регульованими. Перші п'ять ступенів є трансзвуковими. Відбирання повітря із 4-го ступеня компресора здійснюється для підпирання масляних ушільнень, із 7-го ступеня – для охолодження турбіни. Додаткове скинення повітря здійснюється для запобігання помпажних явищ під час набирання та скидання потужності.

Ротор компресора – складений, дисковий. Диски 1-го та останнього ступенів відкуті разом з передньою і задньою кінцевими частинами. З'єднання дисків в одне ціле здійснюється за допомогою периферійно розташованих стяжних болтів. Направні лопатки встановлені в каналах литого корпусу.

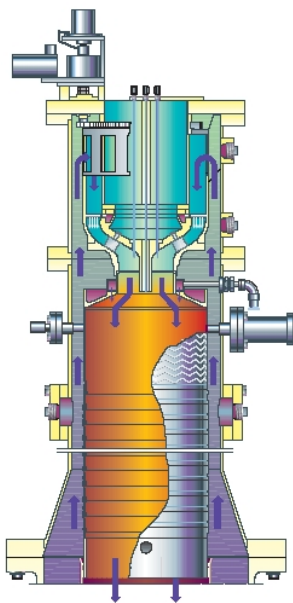


Рис. 3.1.34. Камера згоряння двигуна GE10

Камера згоряння двигуна – індивідуальна, однотрубчаста, із щілинним охолодженням (рис. 3.1.34); може мати як вертикальне, так і горизонтальне розташування; призначена для спалювання різноманітних видів палива, включаючи залишкові сорти та газ із низькою теплотворною здатністю. Для зниження концентрації шкідливих речовин можливим є подання в проточну частину води або пари. Також можливим є оснащення ГТД низько-емісійною камерою згоряння, яка гарантує вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 25 і 85 ppm при роботі на природному газі та рідкому паливі відповідно. При цьому концентрація окису вуглецю в обох випадках менше 25 ppm.

Протягом ремонтних робіт камера згоряння може бути відокремлена від GE10 без розбирання іншої частини ГТД.

Турбіна **енергетичної модифікації** двигуна – триступінчаста, осьова, реактивна. Лопатки перших двох ступенів охолоджуються компресорним повітрям. Ротор турбіни виготовляється складеним, дисковим. Диски з'єднані в одне ціле за допомогою периферійних стяжних болтів. Робочі лопатки 2-го та 3-го ступенів оснащені бандажними полицями з ущільнювальними гребенями.

Роторна частина ГТД виконана двохопорною. В обох опорах використовуються підшипники ковзання. Упорний підшипник розташований у передній частині двигуна. Відведення потужності до чотириполюсного електричного генератора здійснюється з боку компресора. Для зниження частоти обертання ротора до 1500 або 1800 об/хв застосовується вбудований планетарний редуктор.

Система змащення є спільною для двигуна, редуктора й електрогенератора. Маслобак розміщується на рамі ГТД. Головний масляний насос приводиться в обертання внаслідок відбирання потужності від ротора двигуна. У момент запуску надійне змащення забезпечується роботою електронасоса, приводом якого є електродвигун перемінного струму. На випадок аварійної ситуації у складі агрегату передбачений електронасос із електродвигуном постійного струму. У стандартній комплектації охолодження масла здійснюється в повітряному теплообміннику. За вимогою замовника можлива комплектація ГТА водяним теплообмінником.

У стандартній комплектації енергетичний агрегат крім ГТД, редуктора, електрогенератора та допоміжних механізмів, містить у собі також теплозвукоізолюючий контейнер, маслоохолоджувач, повітроочисну камеру, вертикальний повітровід й осьовий газовипуск. Контейнер забезпечує на відстані 1 м від нього рівень шуму, що не перевищує 85 дБ.

У **привідній модифікації** двигуна використовуються двоступінчасті осьові турбіна компресора і вільна силова турбіна. Лопатки турбіни компресора охолоджувані. Соплові лопатки 1-го ступеня силової турбіни виконані поворотними. Відведення потужності від силової турбіни здійснюється з гарячої частини ГТД.

Для запуску GE10 застосовується гідравлічний мотор, що приводиться в обертання тиском масла, яке нагнітається насосом з електродвигуном перемінного струму. У деяких (аварійних) випадках замість електродвигуна може застосовуватися дизель.

Експлуатаційне обслуговування GE10 містить у собі періодичні інспекції внутрішньої частини за допомогою бороскопів. Капітальний ремонт здійснюється через 50 тис. год сумарного наробітку і може проходити безпосередньо на станції, у ремонтній майстерні обслуговуючого центру або на самому базовому підприємстві. Виймання ГТД із контейнера полегшене наявністю у ньому широких подвійних дверцят. Це дозволяє також гранично скоротити час заміни двигуна резервним агрегатом та уникнути тривалого простою встаткування.

Відповідно до угоди, що була підписана у березні 2003 р., пекіджування

і постачання ГТА з двигуном GE10-1 на території Японії та Південно-Східної Азії буде виконувати японська компанія "Kobe Steel Ltd."

Сімейство двигунів "Frame 3"

Сімейство двигунів "Frame 3" розроблялося науково-виробничим центром у Сканектеді наприкінці 40-х років на базі турбореактивного двигуна з осьовим компресором TG180. Перший дослідний зразок потужністю 3,5 МВт (тоді ще одновальний) був введений в експлуатацію у червні 1949 р. на електростанції "Belle Isle Station", що належала компанії "Oklahoma Gas and Electric Co.". У 1952 р. там же встановлюється другий такий агрегат.

Подальше вдосконалювання двигуна привело до створення двовального ГТД **MS3002A** потужністю 3,7 МВт (початкова температура газу 1061 К, витрата повітря 44,7 кг/с), серійний випуск якого почався у 1952 р. Перші 28 двигунів були поставлені компанії "El Paso Natural Gas Co.". Через 30 років експлуатації середній наробіток кожного з них становив близько 200 тис. год. Удосконалена модель **MS3002B**, що була випущена у 1954 р., за тих же параметрів робочого тіла мала потужність 5,0 МВт.

З 1955 по 1959 р. виготовлявся двигун **MS3002C** потужністю 5,6 МВт (температура газу 1089 К). У 1961 р. починається випуск модифікації **MS3002D** потужністю 5,9 МВт; із 1963 по 1966 р. виготовляється **MS3002E** (потужність 6,2 МВт, температура газу 1102 К).

У 1963 р. перший ліцензійний двигун сімейства "Frame 3" виготовляється підприємством із Флоренції "Nuovo Pignone S.p.A."

У 1965 р. з'являється новий двигун сімейства **MS3002G** потужністю 6,4 МВт; у 1966 р. – **MS3002F** потужністю 6,9 МВт при початковій температурі газу 1130 К; у 1969 р. – **MS3002H** потужністю 10 МВт.

Необхідно відзначити, що у своїй переважній більшості двигуни сімейства "Frame 3" випускалися двовальними. За всю історію його існування лише кілька двигунів було виготовлено одновальними (модель MS3001).

У 50–80-х роках з метою підвищення ефективності двигуни сімейства "Frame 3" часто додатково оснащувалися регенератором, у якому тепло відпрацьованих газів використовувалося для підігрівання компресорного повітря перед підведенням його до камери згоряння. Відповідно випускалися модифікації MS3002RA, MS3002RB, MS3002RC та ін. При роботі з регенератором потужність ГТА трохи знижувалася внаслідок збільшення аеродинамічних втрат тиску, проте істотно підвищувався його ККД. (Наприклад, у MS3002RF – до 30 %, у MS3002RH – до 34 %.)

Усього (за даними на 1996 р.) "General Electric Co.", а також її ліцензіати ("Nuovo Pignone S.p.A.", "ALSTHOM S.A.", "AEG Kanis Turbinenfabrik GmbH", "Hitachi Ltd.", "Thomassen N.V. Motorenfabrikk", "John Brown Engineering Ltd.") виготовили 1026 ГТД сімейства "Frame 3". Приблизно 90 % з них дотепер

знаходяться в експлуатації. З 1975 по 1985 р. було поставлено 260 двигунів газотранспортній мережі Радянського Союзу. Сімейство "Frame 3" використовується на території 33 країн. Крім СРСР, іншими значними споживачами цієї продукції були США (313 од.), Алжир (48 од.), Ірак, Іран та Кувейт.

З 1026 виготовлених 901 двигун використовується як механічний привід, 116 – як привід електричного генератора та 9 знайшли застосування на судах.

Сьогодні випускаються модифікації **MS3002J** (з 1992 р.) та **MS3002K** (з 2002 р.). Основні характеристики приводних ГТА на їхній основі наведені нижче:

	MS3142J	MS3152K
Номінальна потужність, МВт	11,1	8,8
ККД, %	26,7	28,9
Витрата робочого тіла, кг/с	52,3	51,6
Міра підвищення тиску	7,0	8,0
Температура газу за ГТД, К	816	795
Частота обертання, об/хв:		
компресора	7100	7050
силової турбіни		6500
Маса, т	76,0	67,0
Габарити, м	10,7×5,5×3,7	10,7×3,3×3,8

Модифікація MS3002J

Двигун MS3002J виконаний двовальним за простою тепловою схемою, призначений для приводу великих механізмів (нагнітачів газу на компресорних станціях, насосів значної продуктивності й т. д.).

Компресор двигуна – осьовий, 15-ступінчастий. Його корпус складається із чотирьох частин і має горизонтальний подовжній і вертикальний поперечний рознімання. Вхідний патрубок литий; він також служить опорою переднього підшипника. За 10-м ступенем у циліндричному корпусі передбачена камера для відбирання повітря на охолодження. У напірному патрубку є дифузор. Ротор компресора складається з дисків і кінцевих частин (передньої та задньої), стягнутих за периферією болтами. Ротор компресора зв'язаний жорсткою муфтою з ротором турбіни компресора й утворює разом з ним жорстку трьохопорну конструкцію (турбокомпресор). Робочі лопатки кріпляться до дисків хвостовиками типу "ластівчин хвіст".

Двигун оснащений 6-секційною протитоковою камерою згоряння, кожна секція якої містить у собі зовнішній корпус, жарову трубу і пальниковий пристрій. Як матеріал стінок обраний сплав "Hastelloy X". Жарові труби об'єднані в два блоки по три труби в кожному, які розташовані з боків турбокомпресора.

Обидві турбіни осьові, одноступінчасті. Соплові апарати турбін виготовлені з окремих сегментів, у кожному з яких по дві лопатки. Сегменти закріплені жорстко на зовнішньому діаметрі. Над робочими лопатками турбіни компресора розташовані 24 сегменти, що закріплені в охолоджуваному корпусі цієї

турбіни. Як матеріал соплових лопаток використаний сплав FSX414, робочих лопаток – сплав GTD-111. На лопатки нанесене спеціальне термобар'єрне покриття.

Турбіна компресора має внутрішнє конвективне охолодження соплових лопаток (36 шт.), які для цього виконані порожніми, з внутрішнім дефлектором. Вихід повітря назовні відбувається крізь отвори у вихідних кромках.

Робочі лопатки турбіни компресора (80 шт.) виготовляються точним литтям, порожніми, з внутрішнім подовжнім ребром (для зниження навантаження від відцентрових сил і термічних напружень) та подовженою прямокутною ніжкою. При встановленні лопаток на диск подовжені ніжки прикриваються з торців діафрагмами. Така конструкція забезпечує надійну ізоляцію диска від гарячих газів, а також демпфірування коливань лопаток. Повітря на охолодження хвостовиків лопаток й обода диска відбирається крізь отвори в роторі компресора між 14-м і 15-м ступенями та надходить через порожній вал і радіальні канавки між фланцем вала й диском турбіни під діафрагми.

Соплові лопатки силової турбіни (32 шт.) виконані регульованими і можуть повертатися навколо своєї осі, змінюючи прохідне перетинання соплового апарата. Безпосереднім їхнім приводом є кривошипи, що насаджені на подовжену вісь лопатки. Кривошипи зв'язані зі спільним поворотним кільцем, яке охоплює корпус турбіни. У втулках, через які проходять осі лопаток, циркулює (за каналами) охолодна вода.

Ротори обох турбін однодискові, консольні, інтенсивно охолоджуються повітрям за полотном дисків. Диск турбіни компресора з'єднаний з ротором компресора порожнім проміжним валом. Середній підшипник ротора турбокомпресора і підшипник силової турбіни є опорно-упорними. До вихідної частини корпусу приєднаний вихідний патрубок разом із супортом, в якому розміщені підшипники і ротор силової турбіни.

Охолодження корпусів турбін повітряне. Корпус турбіни компресора охолоджується повітрям, яке надходить для охолодження соплових лопаток і проходить через порожнину між силовими корпусами й обичайками. Корпус силової турбіни охолоджується зовнішнім повітрям, що ежектується за допомогою ежекторів, виконаних у вигляді стояків-лопаток і розташованих в потоці газу.

Система змащення є спільною для двигуна і привідного механізму. Пуск ГТД здійснюється за допомогою одноступінчастої доцентрової турбіни (турбодетандера), яка працює від тиску магістрального природного газу. Витрата газу на один пуск становить близько 1000 м³. Можливою є також комплектація ГТА системою запуску за допомогою електростартера, парової турбіни або дизеля.

За цінами 1996 р. вартість одного агрегату з MS3002J становила 3,8... 4,0 млн дол.

Модифікація MS3002K

Цей двигун на сьогодні є останнім і найбільш досконалим представником сімейства "Frame 3". Порівняно з попередньою моделлю повністю перепрофільо-

ваний лопатковий апарат компресора і турбіни, що було виконано з використанням сучасних тривимірних технологій. У тій чи іншій мірі змінені всі частини ГТД, наслідком чого стало зростання міри підвищення тиску в компресорі та ефективності в цілому всього двигуна.

Сімейство двигунів "Frame 5"

Перший представник сімейства "Frame 5" – одновальний промисловий двигун **MS5001** потужністю 15 МВт створювався наприкінці 50-х років шляхом геометричного масштабування з ГТД MS3002. Істотно видозмінилася при цьому компресорна частина базового двигуна. Повністю перепрофільованим виявився лопатковий апарат усіх ступенів. Робочі лопатки вперше виконувалися з перемінним за висотою перетином і були закручені за довжиною. Товщина кореневого перетину лопаток становила 13,5 % від хорди профілю. За 4-м та 10-м ступеннями встановлювалися вікна скидання повітря, що дозволяло захистити компресор від помпажу в момент набирання потужності. Початкова температура газу становила 1089 К, міра підвищення тиску – 6,8, витрата повітря – 72 кг/с. Двигун уперше був введений компанією у серійне виробництво у 1961 р.

Модель 1970 р. **MS5001N** стала першим промисловим ГТД "General Electric Co.", що був оснащений регульованим вхідним напрямним апаратом компресора. Найбільшу потужність з одновальних двигунів "Frame 5" має **MS5001P** (26 МВт), який випускається до цього часу.

У 1966 р. почалися роботи зі створення двовальної модифікації двигуна **MS5002A**, серійне виробництво якої почалося в 1970 р. Початкова потужність ГТД становила 19,5 МВт, ККД – 26,0 %, температура газу – 1194 К, міра підвищення тиску в 15-ступінчастому компресорі – 7,4. Із часом його конструкція неодноразово вдосконалювалася. Кожне з перетворень супроводжувалося підвищенням ефективності та продуктивності двигуна. Уже у 1971 р. з'являється наступна модифікація **MS5002B** потужністю 24,3 МВт та ККД 27,5 %. Продуктивність цієї моделі була до 1978 р. доведена до 26,1 МВт, ККД становив 28,8 % (рис. 19Д).

У даний час підприємство випускає три основні двовальні модифікації сімейства "Frame 5": **MS5002C**, **MS5002D** та **MS5002E** (табл. 3.1.18). Перші дві з них є найбільш численними за всю історію "Frame 5" – в сумі більше 390 од., які напрацювали майже 10 млн год (за даними на 2005 р.). Наробіток головних ГТА становить 100 тис. год.

У 60–70-х роках теплова схема двигунів часто ускладнювалася введенням регенератора, в якому тепло відпрацьованих газів використовувалося для підігрівання компресорного повітря перед підведенням його до камери згоряння. Відповідно випускалися модифікації **MS5002RA**, **MS5002RB** та **MS5002RC**. При роботі з регенератором потужність ГТА трохи знижувалася внаслідок збільшення аеродинамічних втрат тиску, проте істотно підвищувався його ККД. Вартість ГТА при цьому зростала приблизно на 15 %. Так, наприклад,

для MS5002A додавання регенератора призвело до зниження потужності на 3,6 %, ККД же зростав у 1,32 рази. Для MS5002B зниження потужності на 4,5... ..8,5 % супроводжувалося підвищенням ефективності в 1,23...1,25 рази.

Таблиця 3.1.18. Характеристики агрегатів на основі двигунів "Frame 5"

Параметри *	PG5371PA	MS5382C	MS5432D	MS5002E
Номінальна потужність, МВт	26,1	28,4	32,6	30,5
ККД, %	28,3	28,9	29,4	36,0
Витрата робочого тіла, кг/с	124		141	102
Міра підвищення тиску	10,5	8,8	10,8	17,0
Температура газу, К:				
початкова	–	1240	1260	–
за ГТД	760	790	782	756
Частота обертання силової турбіни, об/хв	5094	4670		5714
Маса, т	87	110		
Габарити, м	11,6×3,2×3,7	15,0×3,2×3,8	15,9×3,2×3,8	17,2×4,3×3,9

* Потужність і ККД енергетичного ГТА наведені на клеммах генератора, привідних – на вихідному валу ГТД. Для PG5371PA вказуються маса і габарити лише двигуна.

Поступове збільшення початкових параметрів термодинамічного циклу, що є однією з головних умов підвищення ефективності ГТД, із часом привело до того, що схема з регенерацією тепла відпрацьованих газів була змінена на більш ефективну в цій ситуації схему з утилізацією тепла. У 80-х роках усе частіше перевагу почали надавати компонуванню ГТД разом з різноманітними тепло-утилізаційними контурами, й у 90-х роках агрегати з регенерацією тепла були практично повністю витиснуті з асортименту продукції, що випускається підприємством.

Необхідно відзначити, що в цей час сімейство "Frame 5" як і раніше знаходить широке застосування для приводу електричних генераторів, а також різноманітного механічного встаткування, особливо нагнітачів компресорних і насосних станцій різних магістральних трубопроводів, газосховищ, станцій інжекції та реінжекції газу, установок зрідження газу. Відмітною рисою цих двигунів, що сприяє розширенню галузі їхнього застосування, є можливість працювати на різних сортах рідкого і газоподібного палива.

За 45 років виробництва було випущено більше 2500 од. цього сімейства (з них 500 од. – MS5002) здебільшого науково-виробничим центром у Флоренції. Двигуни "Frame 5" експлуатуються в найрізноманітніших кліматичних умовах (у т. ч. Арктика, пустелі, морські бурові платформи), виявляючи у всіх моделях високу надійність і готовність до введення в дію.

Модифікація MS5001PA

Двигун MS5001PA виконаний одновальним за простою тепловою схемою, призначений для приводу електричного генератора (рис. 3.1.35). Корпуси компресора, камери згоряння і турбіни жорстко з'єднані й утворюють спільний силовий корпус ГТА, що встановлений і закріплений на опорах.

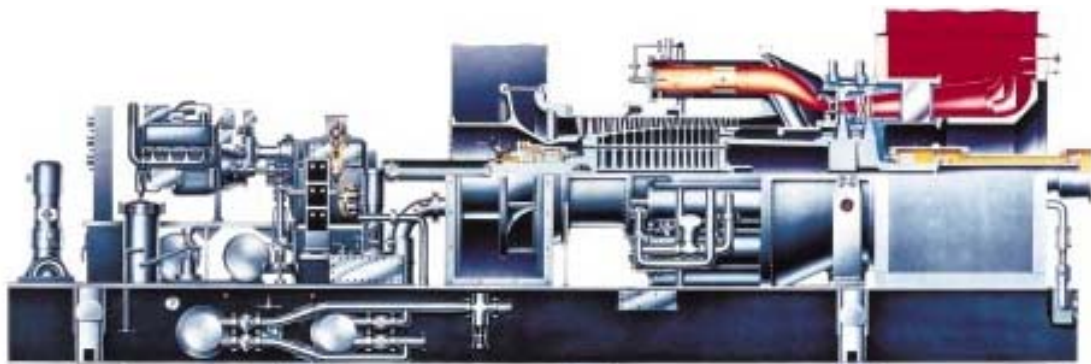


Рис. 3.1.35. Двигун MS5001PA

Компресор – осьовий, 17-ступінчастий. Його корпус складається з трьох частин: вхідної, середньої та напірної. У місцях з'єднання частин є камери для відбирання повітря. Повітря в компресор надходить через вхідний патрубок. Напірна частина корпусу закінчується кільцевим дифузором, через який повітря переходить до камери згоряння.

Ротор компресора – дисковий, складений; спирається на два самовстановлювальні підшипники ковзання. Упорний підшипник з хитними сегментними колодками розташований у напірній частині компресора. Диски стягнуті болтами. Диски перших шести ступенів виконані суцільними, без виточень. Перший і останній диски відковані разом з кінцевими частинами. Робочий діапазон частот обертання ротора менше від першого критичного числа обертів. Лопатки кріпляться до ротора хвостовиками типу "ластівчин хвіст".

Турбіна осьова, двоступінчаста. Корпус турбіни вміщений у тонкостінний кожух і приєднаний до корпусу камери згоряння (з одного боку) та вихідного патрубку (з іншого). У корпусі розташовані сопловий апарат 1-го ступеня, діафрагма із сопловими лопатками 2-го ступеня, сегментні вставки, сегментні бандажі (ущільнювальні кільця), що призначені для зменшення витоків газу крізь зазори між робочими лопатками і корпусом. Сопловий апарат 1-го ступеня і діафрагма закріплені радіальними штифтами. Корпусні бандажі соплових апаратів складені з окремих сегментів, виконаних з аустенітної сталі. У вихідному патрубку є дифузор для зниження швидкості вихідного газу (приблизно в два рази). Дифузор утворений тонкою зовнішньою конічною обичайкою і трубою. Ребра, до яких приварені спрямні лопатки, жорстко прикріплені до труби. Фланець з'єднаний із трубою дифузора за допомогою опорних штирів.

Ротор турбіни – дисковий. Диски виконані з окремих ковоч хромистої феритної сталі та з'єднані стяжними болтами. Робочі лопатки 1-го ступеня виготовлені з жароміцного сплаву на кобальтовій основі, лопатки 2-го ступеня – з хромистої феритної сталі з присадками вольфраму, молібдену та ванадію. Робочі лопатки закріплені в пазах дисків ялинковими хвостовиками.

У турбіні охолоджуються майже всі елементи, що працюють при високих температурах. Ротор, корпус і соплові лопатки 1-го ступеня охолоджуються повітрям низької температури; для цього повітря, яке відбирається за компресором, перед подаванням у турбіну проходить через спеціальний водяний охолоджувач. Корпус турбіни зовні охолоджується повітрям, яке проходить між тонкостінною оболонкою і зовнішньою частиною корпусу; для цього повітря відбирається за 4-м ступенем компресора. Диск 1-го ступеня з передньої частини охолоджується повітрям, яке подається з боку входу газу; повітря проходить уздовж поверхні диска і вливається в потік газу біля хвостовиків робочих лопаток. Повітря на охолодження внутрішніх поверхонь дисків подається крізь отвори в соплових лопатках до вала, а далі проходить уздовж поверхонь до хвостовиків лопаток і також вливається в загальний потік газу.

Камера згоряння – протитокова, секційного типу, містить у собі 10 окремих жарових труб, розташованих паралельно осі ротора. Кожна труба складається з окремих обичайок, з'єднаних за допомогою пластинок і скоб. Крізь щілини між суміжними обичайками проходить повітря, яке охолоджує їхні стінки. Жарові труби в зоні горіння з'єднані пропускними патрубками. Гарячі гази, що виходять з жарових труб, підводяться до соплового апарата турбіни через тонкостінні вставки, виконані з жароміцної сталі.

Модифікація MS5002C

Двигун MS5002C виконаний двовальним за простою тепловою схемою; максимально уніфікований з одновальною моделлю MS5001.

Компресор двигуна – однокаскадний, осьовий, 16-ступінчастий. Його ротор складається з окремих дисків, стягнутих між собою периферійними стяжними болтами. Перший і останній диски відковані разом з передньою та задньою кінцевими частинами. Ротор спирається на два самовстановлювальні підшипники ковзання. Упорний підшипник з хитними сегментними колодками розташований у напірній частині компресора. Робочий діапазон частот обертання ротора менше від першого критичного числа обертів. Робочі лопатки кріпляться до ротора хвостовиками типу "ластівчин хвіст". Напрявні лопатки заводяться у виточки корпусу компресора. Довгі напрямні лопатки перших ступенів кріпляться в спеціальних кільцях-вставках.

Відбирання повітря для антипомпажного пристрою здійснюється крізь отвори біля кореня напрямних лопаток після 10-го ступеня (отвори виключають виникнення небезпечних коливань лопаток, як це можливо у випадку застосування щілин).

Камера згоряння протитокова, складається з 12 окремих секцій, розташованих горизонтально осі двигуна. Кожна секція містить у собі зовнішній корпус, жарову трубу та індивідуальний паликовий пристрій.

Турбіна компресора і вільна силова турбіна виконані осьовими, одноступінчастими. Ротори обох турбін однодискові, консольні, інтенсивно охолоджуються повітрям. Диск турбіни компресора з'єднаний з ротором компресора порожнім проміжним валом. Середній підшипник ротора турбокомпресора і підшипник силової турбіни опорно-упорні.

Соплові апарати обох турбін виготовлені з окремих сегментів, кожен з яких містить у собі по дві лопатки. Сегменти жорстко кріпляться до корпусу на зовнішньому діаметрі. Соплові лопатки силової турбіни виконані регульованими і можуть повертатися навколо своєї осі, змінюючи прохідне перетинання соплового апарата. Безпосереднім їхнім приводом є кривошипи, насаджені на продовжену вісь лопатки. Кривошипи зв'язані зі спільним поворотним кільцем, яке охоплює корпус турбіни.

Робочі лопатки силової турбіни виконані з бандажними полицями. На бандажі є два ущільнювальних гребеня, на вставці статора – три. Зазори між гребенями бандажа і вставкою – 0,025 мм, між гребенями вставки і бандажем – 0,05 мм. Таке рішення істотно збільшує потужність за рахунок зниження витоків газу крізь радіальні зазори.

Охолодження корпусів турбін повітряне. Корпус турбіни компресора охолоджується повітрям, яке надходить для охолодження соплових лопаток і проходить у порожнині між силовими корпусами й обичайками. Корпус силової турбіни охолоджується зовнішнім повітрям, що ежектується за допомогою ежекторів, виконаних у вигляді стояків-лопаток і розташованих в потоці газу (температура корпусу при цьому не перевищує 150 °C).

Для підвищення ККД турбін за ними встановлені розвинуті дифузори, в яких відновлюється 66 % напору (втрати з вихідною швидкістю знижені до 6 %). До вихідної частини корпусу приєднаний вихідний патрубок разом із супортом, в якому розміщені підшипники і ротор силової турбіни. Система змащення є спільною для двигуна й привідного встаткування.

Модифікація MS5002D

Модель MS5002D (рис. 3.1.36) отримана шляхом подальшої модернізації двигуна MS5002C із використанням технології компресорної частини ГТД MS6001B. При створенні MS5002D ставилося завдання зберегти габаритні розміри та загальне компонування базового двигуна для забезпечення можливості заміни попередніх моделей сімейства, що виробили свій ресурс, із мінімальними додатковими капіталовкладеннями. Крім цього, доцільним було забезпечення можливості використання окремих вузлів нового ГТД для модернізації та підвищення ефективності раніше встановлених представників "Frame 5".

Роботи зі створення MS5002D почалися у 1995 р. Перший двигун був проданий у 1997 р. компанії "Sonarco" і використовується як привід компресорів реінжекції природного газу на заводі "Rhourde El'Bagel" у пустелі Сахара.

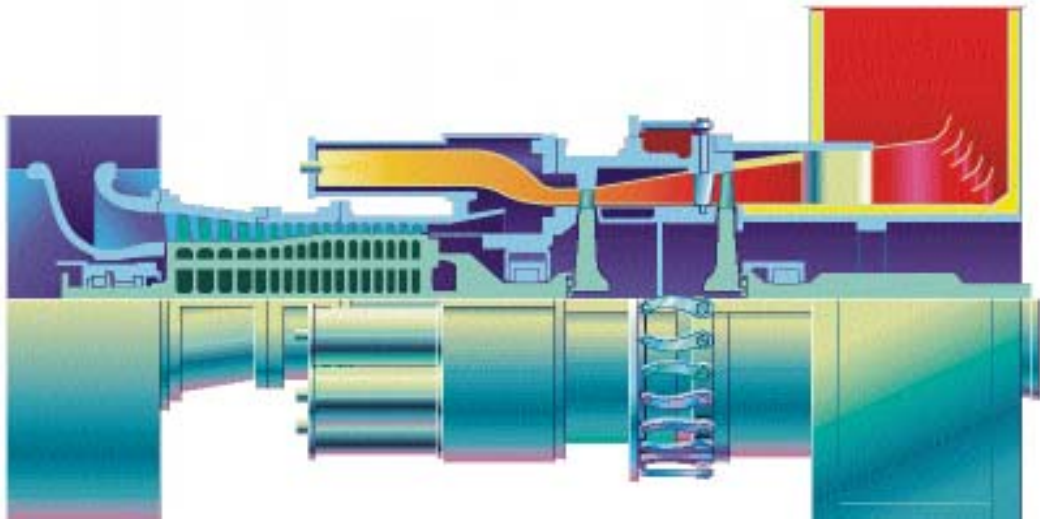


Рис. 3.1.36. Подовжній переріз двигуна MS5002D

Осьовий 17-ступінчастий компресор має такі ж габаритні розміри та відстань між опорами, як і 16-ступінчастий компресор ГТД MS5002C. Порівняно з базовим компресором двигуна MS6001B був перероблений лопатковий апарат 3-го ступеня, ліквідовані деякі відбирання повітря на охолодження турбіни, оскільки система охолодження в MS5002D розвинута менше, ніж у MS6001B. Передній корпус і регульований вхідний напрямний апарат також перейняті в MS6001B. Для виготовлення лопаткового апарата використовується сплав GTD-450.

Необхідно відзначити, що на моделі MS5002D уперше для цього сімейства була застосована технологія "Dry Low NO_x", що дозволяє забезпечити гранично низькі концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Перші ГТД із такими камерами згоряння були поставлені на завод у м. Кавадждаданак (Казахстан).

Кільцева площа на вході до соплових каналів одноступінчастої осьової турбіни компресора зменшена порівняно з MS5002C на 6 %; одночасно із цим трохи зросла міра зниження тиску в цій турбіні. Збільшення початкової температури газу на 20 К ніяк не відбилося на температурі металу лопаток, що пояснюється деяким удосконаленням системи охолодження соплового апарата цієї турбіни.

Конструкція одноступінчастої вільної силової турбіни залишилася (порівняно з MS5002C) практично без змін. Замінений на більший лише упорний підшипник ковзання, що пояснюється збільшеними осьовими навантаженнями на ротор. З метою більш зручного підключення газовипускної системи до котла-утилізатора вихідний дифузор був підданий аеродинамічному перепрофілюванню.

Модифікація MS5002E

Новітнім представником сімейства "Frame 5", недавно введеним компанією на ринок, є двигун MS5002E (рис. 3.1.37). Цей ГТД традиційно виконаний двовальним за простою тепловою схемою. Проте його конструкція, порівняно з попередніми моделями сімейства, була істотно перероблена.

Компресорна частина, отримана геометричним масштабуванням з компресора двигуна GE10, містить у собі 11 осьових ступенів. Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших двох ступенів виконані регульованими. Перші п'ять ступенів є трансзвуковими. Відбирання повітря із 4-го ступеня компресора здійснюється для підпирання масляних ущільнень, із 7-го ступеня –

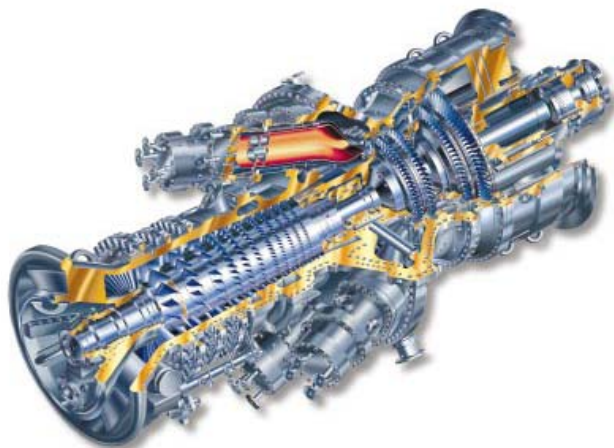


Рис. 3.1.37. Двигун MS5002E

для охолодження турбіни. Додаткове скинення повітря здійснюється для запобігання помпажних явищ під час набирання і скидання потужності.

Ротор компресора – складений, дисковий. Диски 1-го і останнього ступенів відковані разом з передньою і задньою кінцевими частинами. З'єднання дисків в одне ціле здійснюється за допомогою периферійно розташованих стяжних болтів. Напрямні лопатки встановлені в каналах литого корпусу. Частота обертання ротора компресора складає 6100 об/хв.

Низькоемісійна секційна камера згоряння (система "DLN-2.0"), розроблена науково-виробничим центром у Сканектеді, дозволяє знизити концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах до 25 ppm при роботі на газоподібному паливі. Жарові труби із щільним охолодженням розміщені під кутом 15° до осі двигуна.

Турбіна компресора має два осьових, реактивних ступеня, соплові та робочі лопатки яких охолоджуються компресорним повітрям. Вільна силова турбіна також двоступінчаста, соплові лопатки її 1-го ступеня виконані поворотними. Відведення потужності від силової турбіни здійснюється з гарячої частини ГТД.

Ця модифікація вперше була представлена "General Electric Co." у 2002 р. Перший агрегат із MS5002E був введений в експлуатацію наприкінці 2004 р. Протягом подальших робіт з удосконалювання цієї моделі планується на її основі створення одновального двигуна з аналогічними потужністю і ККД.

Двигуни PGT16, PGT20, PGT25 та PGT25+

Двигун PGT16 (табл. 3.1.19), що випускається науково-виробничим центром у Флоренції, являє собою сукупність газогенератора базового двигуна LM1600 і спеціально розробленої "Nuovo Pignone S.p.A." вільної силової турбіни. Газогенераторна частина двигуна поставляється заводом у Лінні (штат Масачусетс), який відноситься до підрозділу "GE Aviation".

Таблиця 3.1.19. Характеристики агрегатів на основі двигунів PGT16, PGT20, PGT25 та PGT25+

Параметри	Енергетичні				Привідні			
	PGT16	PGT20	PGT25	PGT25+	PGT16	PGT20	PGT25	PGT25+
Номінальна потужність, МВт	13,7	17,5	22,4	30,2	14,3	18,1	23,3	31,4
ККД, %	34,9	35,1	36,3	39,6	36,3	36,5	37,7	41,1
Витрата робочого тіла, кг/с	47,3	62,5	68,9	84,3	47,3	62,5	68,9	84,3
Міра підвищення тиску	20,2	18,0	17,9	21,5	20,2	18,0	17,9	21,5
Температура газу за ГТД, К	764	748	798	773	764	748	798	773
Частота обертання силової турбіни, об/хв	7900	6500		6100	7900	6500		6100
Маса, т	19,0	37,7		30,8	19,0	37,6		30,7
Довжина, м	8,1	9,1		6,5	9,1	6,5		9,3
Ширина, м	2,5	3,5		3,6	3,5	3,6		4,2
Висота, м	3,8	3,5		3,9	3,5	3,9		4,4

Вільна силова турбіна ідентична турбіні двигуна PGT10, який раніше серійно випускався підприємством (з 1988 по 2003 р.). Вона має два осьових ступеня, соплові лопатки першого з яких виконані поворотними. Частота обертання ротора (7900 об/хв) оптимізована з метою прямого приводу магістральних, інжекційних та виробничих відцентрових компресорів у широкому діапазоні операційних умов.

Для використання як привід електрогенератора до складу ГТА додатково вводиться редуктор, який знижує частоту обертання ротора до необхідного значення. Газогенератор разом із силовою турбіною монтуються на спільний фундаментний рамі.

Двигуни PGT20, PGT25 та PGT25+ комплектуються підприємством з газогенераторів ГТД LM2000, LM2500 та LM2500+, що поставляються заводом в Івндейлі, та вільних силових турбін власної розробки. Силкові турбіни виконані двоступінчастими, їх частоти обертання знаходяться в діапазоні значень, що дозволяють без допомоги редуктора здійснювати привід відцентрових компресорів магістральних газопроводів і станцій реінжекції газу.

3.2. "Solar Turbines Inc." (США)

	Повне найменування: "Solar Turbines Incorporated". Штаб-квартира: м. Сан-Дієго, штат Каліфорнія, США.

Відомості про компанію

Компанія "Solar Turbines Inc."* веде свою історію з 1927 р., коли в каліфорнійському місті Сан-Дієго було засноване підприємство **"Prudden-San Diego Airplane Company"**, яке займалося будівництвом літальних апаратів. До початку Великої депресії 30-х років компанія встигла виготовити всього три повністю металевих аероплани.

У 1929 р., в умовах кризи, підприємство переходить на випуск різних деталей та вузлів для інших авіаційних компаній. У тому ж році його назва змінюється на **"Solar Aircraft Company"**. (Це найменування відобразило жаркий клімат м. Сан-Дієго.) У важкій конкурентній боротьбі нова компанія освоює нові технологічні процеси, починає виробництво деталей з жароміцних нержавіючих сталей.

У роки Другої Світової війни "Solar Aircraft Co." була дуже важливим для військового комплексу США підприємством, яке виготовляло газовипускні колектори для двигунів літальних апаратів. Усього даного продукту компанія випустила в цей період більше 300 тис. од. Також під час війни "Solar Aircraft Co." вперше почала брати участь у виробництві газотурбінної техніки, одержавши від уряду США замовлення на розробку і створення з жароміцних матеріалів деяких деталей для авіаційних ГТД.

Відразу ж після укладення миру компанія знову потрапляє в досить важке становище, яке цього разу було викликане припиненням державного фінансування військових замовлень і внаслідок цього значним скороченням виробництва. Однак навички, одержані при створенні та використанні жароміцних матеріалів, допомогли "Solar Aircraft Co." укласти нові контракти на випуск виробів для аерокосмічної промисловості, зокрема на виробництво форсажних камер згоряння турбореактивних двигунів і частин ракет. Одночасно із цим компанія, щоб вижити, виготовляла металеві скриньки, сковорідки, молочні контейнери та меблі з червоного дерева.

Наприкінці 40-х років "Solar Aircraft Co." виграє оголошений військово-морським відомством США тендер на створення і серійний випуск ГТД потужністю 35 кВт, призначених для приводу корабельних пожежних насосів. Продовженням цього став новий контракт на виробництво 300-кіловатного ГТД для корабельної електростанції.

Визначна для компанії подія відбулася наприкінці 50-х років, коли з військо-

* Адреса підприємства: 85376, San Diego, CA 92186-5376, U.S.A.

во-морським відомством був укладений наступний контракт на створення двигуна потужністю 750 кВт для швидкісних катерів. Унаслідок цього з'явився ГТД, що одержав найменування "**Saturn**", серійне виробництво якого почалося у 1960 р.

У тому ж році "Solar Aircraft Co." змінює свою назву на "**Solar Turbines Incorporated**", стає філією корпорації "International Harvester Co.", а через три роки – її підрозділом.

Керівники компанії досить швидко зрозуміли, що двигун "Saturn" має величезний комерційний потенціал, оскільки він був набагато меншим, легшим, надійнішим у роботі й простішим в експлуатації, ніж громіздкі, малооборотні поршневі двигуни тієї ж потужності, що домінували в той час у промисловості для приводу електрогенераторів і великих механізмів. Незабаром "Saturn" стає найбільш продаваним у світі промисловим ГТД. Він випускається в двох поліпшених і потужніших модифікаціях дотепер. Загальна кількість виготовлених таких ГТД перевищила 4800 од., які експлуатуються в 80 країнах світу.

Для повного витиснення поршневих двигунів з ринку цієї продукції компанії необхідно було не просто організувати виробництво одних лише ГТД, але і налагодити випуск заводом-виготовлювачем повністю укомплектованих та перевірених турбомашинних агрегатів, таких, наприклад, як газоперекачувальні й насосні агрегати або енергетичні установки. Тому в 1960 р. "Solar Turbines Inc." організовує на своєму заводі лінію виробництва відцентрових компресорів для перекачування природного газу, яка сьогодні нараховує 11 різних сімейств.

Коли "Saturn" почав домінувати на промисловому ринку, стало очевидним, що гарні перспективи буде мати і двигун більшої потужності. Роботи над ГТД "**Centaur**" почалися в середині 60-х років. Перші двигуни потужністю 2015 кВт стали надходити споживачам у 1968 р. У цей час модель "Centaur 40" розвиває номінальну потужність 3500 кВт.

У 60-х роках "Solar Turbines Inc." крім випуску ГТД має також важливе значення у розвитку американської аерокосмічної техніки. Компанія розробляє та виготовляє ракетні паливні системи, комунікаційні антени, елементи гарячих частин авіаційних ТРД, аеродинамічні пристрої керування для відомих винищувачів F-4 "Phantom"; випускає теплові радіатори атомних генераторів для посадкових систем місячних кораблів "Saturn" і "Apollo".

Проте у 1973 р. "Solar Turbines Inc." повністю залишає аерокосмічну промисловість і концентрує свою діяльність на виробництві промислових ГТД, турбомашинних систем та їхнього допоміжного встаткування.

У 1977 р. компанія представляє свій новий газотурбінний двигун "**Mars**" потужністю 7,9 МВт. На сьогодні "Solar Turbines Inc." випускає цей ГТД у двох основних модифікаціях: "Mars 90" та "Mars 100" потужністю відповідно 9,9 і 11,2 МВт.

Корпорація "Caterpillar Tractor Co." (сьогодні – "Caterpillar Inc.") 31 травня 1981 р. викупує пакет акцій "Solar Turbines Inc." у її колишніх власників "International Harvester Co." і встановлює над нею повний контроль*.

У 1985 р. починаються роботи над новою версією двигуна "Centaur" потужністю 4570 кВт, яка одержала назву "**Centaur 50**". Після двигунів "Saturn" сімейство "Centaur" є найбільш чисельним у компанії (близько 3000 од.). У 1990 р. "Solar Turbines Inc." виготовляє перший ГТД нового сімейства "**Taurus 60**" потужністю 5740 кВт.

Закономірним результатом 20-річної роботи зі створення екологічно чистих газотурбінних двигунів стала поява у 1992 р. конструкції низькоемісійної камери згоряння, що виконана за технологією "SoLoNO_x" ("Solar Low NO_x"). Цією камерою згоряння на сьогодні оснащуються всі виготовлювані ГТД сімейств "Centaur", "Mercury", "Taurus", "Mars" та "Titan". Нею також було обладнано чимало раніше випущених двигунів, що дозволило їм більш повно відповідати жорстким екологічним нормам до енергетичних установок. Більше 1200 ГТД, оснащених технологією "SoLoNO_x", знаходяться в експлуатації у всьому світі. Новий "**Taurus 70**" потужністю 7690 кВт, випущений у 1993 р., став першим ГТД компанії з подібною камерою згоряння.

До числа останніх досягнень "Solar Turbines Inc." можна віднести початок у 1997 р. серійного виробництва двигуна "**Titan 130**" потужністю 15 МВт і ККД 36 %, який у двовальному виконанні може застосовуватися як механічний привід, а в одновальному – як енергетичний.

У тому ж році компанія почала випробування дослідного зразка першого у світі промислового ГТД, в якому деякі деталі "гарячої" зони виготовлені з керамічних матеріалів (так званого "CSGT" – "Ceramic Stationary Gas Turbine"). Роботи ведуться в рамках програми, що фінансується Департаментом енергетики США. Як дослідний зразок виступає одновальний двигун "Centaur 50S", установлений на електростанції нафтопереробного заводу в долині Сан-Хоакін (штат Каліфорнія).

Також у рамках програми, фінансованої Департаментом енергетики США ("Advanced Turbine Systems program"), в останні роки XX ст. "Solar Turbines Inc." виконала розробку і почала виробництво нового вискоєфективного двигуна "**Mercury 50**" потужністю 4,6 МВт, що виконаний за тепловою схемою з регенеративним підігріванням повітря перед камерою згоряння відпрацьованими газами.

Сьогодні "Solar Turbines Inc." є провідним світовим виробником промислових ГТД потужністю 1...15 МВт. За свою історію компанія виготовила і продала близько

* "Caterpillar Inc." зі штаб-квартирою в м. Пеорія (штат Іллінойс) спеціалізується на виробництві дизельних і газових поршневих двигунів, а також будівельного та видобувного встаткування. Входить у список компаній "Fortune 100".

12 тис. газотурбінних агрегатів, які експлуатуються в наземних та морських умовах як основні, резервні й аварійні джерела електричної та теплової енергії, а також широко застосовуються для приводу компресорних і насосних установок. Сумарний наробіток двигунів компанії становить близько 1 млрд год, що еквівалентно більше 100 тис. років.

Технічну допомогу з усіх питань, що стосуються експлуатації поставлених ГТД, пропонують 37 сервісних центрів, розміщених в усьому світі. Компанія "Solar Turbines Inc." здійснює також постачання запасних частин і виконання ремонтних робіт. За останні 40 років близько 25 тис. двигунів пройшли капітальний ремонт на заводах компанії.

Необхідно відзначити, що "Solar Turbines Inc." є також одним із провідних світових виробників компресорної продукції. Випускаються відцентрові компресори, що забезпечують кінцевий тиск до 24 МПа та мають продуктивність 4...566 м³/хв. Їхнє число ступенів при цьому складає 1...12.

Хоча 80 % усіх працівників компанії та 85 % усіх її активів зайняті на території США, "Solar Turbines Inc." експортує приблизно 70 % усієї своєї продукції. Компанія є одним з 50 найбільших експортерів США*.

Продукція компанії

Сьогодні для енергетичного і привідного застосування "Solar Turbines Inc." пропонує промислові газотурбінні агрегати, засновані на таких двигунах:

"Saturn 20" потужністю 1,2 МВт та ККД 24 %;

"Centaur 40" і "Centaur 50" потужністю 3,5 та 4,6 МВт, що мають ККД 28...29 %;

"Mercury 50" потужністю 4,6 МВт та ККД 38,5 %;

"Taurus 60", "Taurus 65" і "Taurus 70" потужністю 5,7...7,7 МВт та ККД 31...34 %;

"Mars 90" і "Mars 100" потужністю 9,9 та 11,2 МВт, що мають ККД 33...34 %;

"Titan 130" потужністю 15 МВт і ККД 35 %.

Двигуни "Taurus 60" і "Titan 130" використовуються компанією також для виробництва мобільних енергетичних модулів.

На базі названих ГТД "Solar Turbines Inc." виготовляє когенераційні установки різноманітного призначення та комплектації, а також (для двигунів сімейств "Taurus", "Mars" і "Titan") парогазові установки типу "Steam Turbine Assisted Cogeneration" ("STAC").

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається компанією.

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.solarturbines.com>.

Двигун "Saturn 20"

Двигун "Saturn 20" (рис. 3.2.1) є подальшим розвитком сімейства ГТД, перші представники якого з'явилися ще в 1960 р. Випускається з 1985 р. у двох основних модифікаціях – енергетичній та привідній.

Енергетична модифікація виконана одновальною. Тиск повітря підвищується внаслідок проходження через 8-ступінчастий осьовий компресор. Кільцева камера згоряння оснащена 12-ма паливними форсунками і факельною запалювальною системою. Потужність на привід компресора і корисна потужність генеруються триступінчастою реактивною осью турбіною. В опорах ротора розміщені підшипники ковзання. Турбінні лопатки покриті дифузійно напиляним алюмінідом.

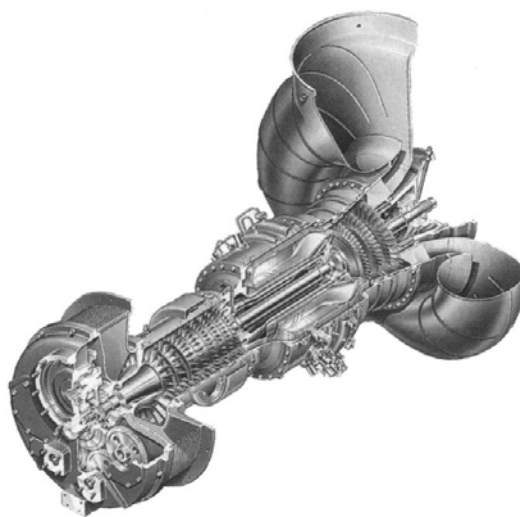


Рис. 3.2.1. Двигун "Saturn 20"

Відведення відпрацьованих газів із двигуна – осьове. Відбирання потужності від ротора здійснюється з боку компресора. Для зниження частоти обертання до 1500 або 1800 об/хв, що відповідає сумісній роботі із чотириполусними генераторами струму частотою 50 або 60 Гц, установлюється планетарний редуктор.

Запуск ГТД здійснюється за допомогою пневматичної або електричної (електродвигуни перемінного струму) системи. Двигуни можуть працювати на газоподібному або рідкому паливі, водночас на обох цих видах або на альтернативних сортах палива. Для зменшення утворення оксидів азоту в камеру згоряння може впорскуватися вода. Система змащення є спільною з привідним механізмом. Установлений на газовипуску двигуна теплоутилізаційний контур здатний генерувати 3,7...16,8 тонн пари у годину.

Двигуни "Saturn 20" поставляються замовнику в складі енергетичних агрегатів, повністю укомплектованих і перевірених на заводі. У таких ГТА використовуються синхронні електрогенератори трифазного струму з безщітковим збудником. Струм частотою 50 Гц виробляється зі стандартною напругою 380, 415 або 3300 В, струм частотою 60 Гц – із напругою 240, 480, 2400 або 4160 В. Агрегати оснащуються мікропроцесорною електронною системою керування "Turbotronic".

Привідна модифікація двигуна виконана двовальною, на відміну від енергетичної компресор у ній приводиться в обертання двоступінчастою осью.

вою турбіною. Вільна силова турбіна має один ступінь. Відведення відпрацьованих газів із ГТД – радіальне. Установлювана за необхідністю зубчаста передача може використовуватися (залежно від виду привідного механізму) як для зменшення, так і для збільшення частоти обертання ротора.

Основні технічні характеристики двигунів "Saturn 20" наведені в табл. 3.2.1. Необхідно відзначити, що з моменту початку виробництва різних моделей двигуна "Saturn" було випущено більше 4800 од., сумарний наробіток яких до 2005 р. становив 620 млн год.

Таблиця 3.2.1. Характеристики агрегатів сімейств "Saturn" та "Centaur"

Параметри	Енергетичні			Привідні		
	Saturn 20	Centaur 40	Centaur 50	Saturn 20	Centaur 40	Centaur 50
Номінальна потужність, кВт	1210	3515	4600	1185	3500	4570
ККД, %	24,3	27,9	29,3	24,5	27,9	29,9
Витрата робочого тіла, кг/с	6,5	18,6	19,1	6,5	18,9	18,8
Міра підвищення тиску	6,7	9,7	10,6	6,7	10,3	
Температура газу за ГТД, К	778	708	783	793	718	788
Частота обертання, об/хв: компресора вільної силової турбіни	22516	14950 –		22850 22300	15000 15500 16500*	
Маса, т	9,0	26,0	27,4	3,7	10,5	10,6
Довжина, м	6,0	9,8		4,0	5,6	
Ширина, м	1,7	2,4		1,8	2,4	
Висота, м	2,1	2,6		2,2	2,7	

* Для модифікації "Centaur 50L" потужністю 4680 кВт, що працює на рідкому паливі, частота обертання силової турбіни становить 14300 об/хв.

Двигуни "Centaur 40" та "Centaur 50"

Двигуни сімейства "Centaur" випускаються "Solar Turbines Inc." з 1968 р.; "Centaur 40" і "Centaur 50" (рис. 3.2.2) у двох основних модифікаціях – енергетичній та привідній – серійно виготовляються з початку 90-х років (див. табл. 3.2.1).

Енергетична модифікація двигунів виконана одновальною. Підвищення тиску повітря здійснюється в 11-ступінчастому осьовому компресорі, вхідний напрямний апарат якого має змінювану геометрію. Кільцева камера згоряння з факельною системою запалення може поставлятися в двох виконаннях – традиційному та низькоемісійному (за технологією "SoLoNO_x"). У першому варіанті число паливних форсунок дорівнює 10, у другому – 12. Потужність на привід компресора і корисна потужність виробляються триступінчастою реактивною осьовою турбіною. В опорах ротора розташовуються підшипники ковзання. Соплові лопатки перших двох турбінних ступенів покриті дифу-

зійно напиляним алюмінідом, робочі лопатки 1-го ступеня – платиновим алюмінідом.

Відведення відпрацьованих газів із двигунів – осьове. Відбирання потужності від ротора здійснюється з боку компресора. Для зниження частоти обертання до 1500 або 1800 об/хв, що відповідає сумісній роботі із чотириполюсними генераторами струму частотою 50 або 60 Гц, установлюється планетарний редуктор.

Запуск ГТД здійснюється за допомогою електростартерів перемінного струму. За вимогою замовника є можливим установлення пневматичної системи пуску. Двигуни

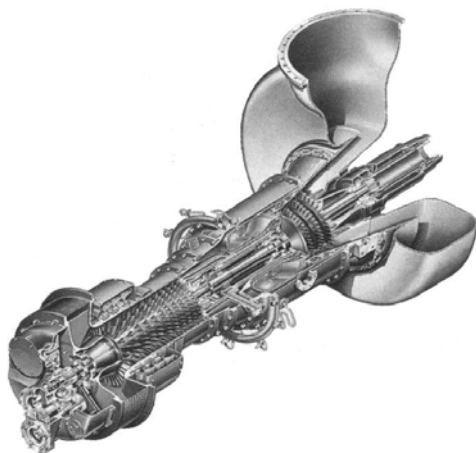


Рис. 3.2.2. Двигун "Centaur 40"

"Centaur" можуть працювати на газоподібному або рідкому паливі, водночас на обох цих видах або альтернативних сортах палива (наприклад, на газах з низькою теплотворною здатністю). Система змащення є спільною з привідним механізмом. Установлений на газовипуску двигуна "Centaur 40" теплоутилізаційний контур здатний генерувати 8,1...48,0 тонн пари в годину. Для "Centaur 50" ця цифра становить 10,9...49,1 т/год.

Двигуни "Centaur" поставляються замовнику в складі енергетичних агрегатів, повністю укомплектованих і перевічених на заводі. У цих ГТА використовуються синхронні електрогенератори трифазного струму з безщітковим збудником. Струм частотою 50 Гц генерується зі стандартною напругою 3300, 6600 або 11000 В, струм частотою 60 Гц – із напругою 4160, 6900, 12470 або 13800 В. Агрегати оснащуються мікропроцесорною електронною системою керування "Turbotronic".

Привідна модифікація двигунів виконана двовальною, на відміну від енергетичної компресор у ній приводиться в обертання двоступінчастою осьовою турбіною. Вільна силова турбіна має один ступінь. Відведення відпрацьованих газів від ГТД – радіальне. Установлювана за необхідністю зубчаста передача може використовуватися (залежно від виду привідного механізму) як для зменшення, так і збільшення частоти обертання ротора.

Двигун "Mercury 50"

Двигун розроблявся в рамках фінансованої Департаментом енергетики США програми "Advanced Turbine Systems", яка була спрямована на створення високоефективних ГТД нового покоління з низькою концентрацією шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Підрозділ "Solar Turbines Inc." оголосив

про закінчення робіт у 1997 р., однак унаслідок виниклих ускладнень з регенератором і необхідності його доробки серійне виробництво "Mercury 50" почалося лише наприкінці 2004 р. На той час шість ГТД "Mercury 50", що знаходилися у дослідній експлуатації в США, Франції та Австралії, напрацювали в сумі близько 48 тис. год. Доробці підлягали також компресорна і турбінна частини двигуна. З метою збільшення динамічної стабільності на 152 мм був укорочений ротор.

Двигун "Mercury 50" виконаний за тепловою схемою з регенерацією тепла відпрацьованих газів (рис. 3.2.3). Ротор двигуна –

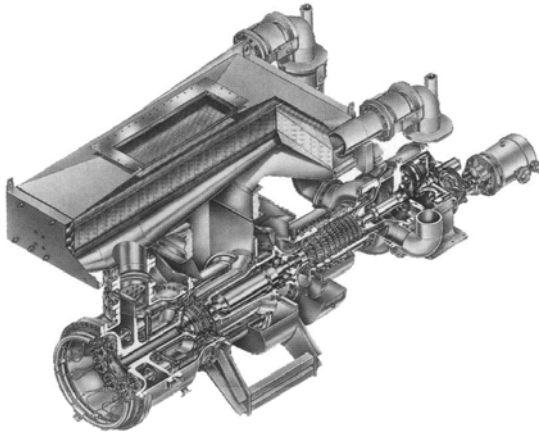


Рис. 3.2.3. Двигун "Mercury 50"

одновальний. Підвищення тиску повітря здійснюється в 10-ступінчастому осьовому компресорі, вхідний напрямний апарат якого і перші ряди напрямних лопаток виконані поворотними. Потужність на привід компресора і корисна потужність генеруються двоступінчастою осьовою реактивною турбіною з правим обертанням ротора (табл. 3.2.2).

Таблиця 3.2.2. Характеристики агрегатів сімейств "Taurus" та "Mercury"

Параметри	Енергетичні				Привідні	
	Mercury 50	Taurus 60	Taurus 65	Taurus 70	Taurus 60	Taurus 70
Номінальна потужність, кВт	4600	5500	6300	7520	5740	7690
ККД, %	38,5	30,4	32,9	33,8	31,9	34,8
Витрата робочого тіла, кг/с	18,0	21,7	21,1	26,9	21,6	26,6
Міра підвищення тиску	9,9	12,5	15,1	16,0	12,2	16,0
Температура газу за ГТА, К	650	783	822	763	783	768
Частота обертання, об/хв:	14180	14950		15200	15000	15200
компресора						
вільної силової турбіни		–			14300	12000
Маса, т	58,8	32,8	33,0	50,3	11,2	20,5
Довжина, м	11,1	9,8		11,3	5,6	7,3
Ширина, м	2,9	2,5		2,9	2,4	2,7
Висота, м	3,7	2,9		2,7		3,0

Двигун оснащений розробленою компанією низькоемісійною ("Ultra Lean Premix") камерою згоряння нової генерації, яка забезпечує концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 5 ppm. При цьому емісія окису вуглецю і незгорілих вуглеводнів не перевищує 10 ppm. Камера згоряння – кільцева, має вісім паливних форсунок і факельну систему запалення.

Він розроблявся для функціонування на газоподібному паливі. Планувалося до 2006–2007 рр. закінчити створення його двопаливної версії та конвертувати для роботи на газоподібному паливі з низьким вмістом метану ("Low BTU fuel").

Для зменшення частоти обертання ротора до 1500 або 1800 об/хв, що дозволяє працювати разом із чотириполюсними генераторами струму частотою 50 або 60 Гц, "Mercury 50" оснащується вбудованим планетарним редуктором.

Теплообмінні поверхні регенератора спочатку виготовлялися з нержавіючої сталі марки "347". Після доробки конструкції як матеріал застосовується сплав "Inconel 625".

Запуск ГТД здійснюється електродвигунами перемінного струму. Час від пуску до виведення двигуна на режим номінальної потужності становить близько 20 хв. Нормальне скидання потужності виконується протягом 9 хв (4,5 хв – скидання 100...50 % від номінальної, ще 4,5 хв – 50...0 %).

Сьогодні "Mercury 50" використовується лише як енергетичний двигун. Він поставляється замовнику в складі агрегатів, повністю укомплектованих і перевірених на заводі. У цих агрегатах застосовуються синхронні електрогенератори трифазного струму з безщітковим збудником. Струм генерується зі стандартною напругою 4160, 6900, 12470 або 13800 В. Агрегати оснащуються мікропроцесорною електронною системою керування "Turbotronic". Установлений на газовипуску двигуна теплоутилізаційний контур здатний генерувати 5,6...47,6 тонн пари в годину.

Двигуни сімейства "Taurus"

Перший дослідний двигун цього сімейства – **"Taurus 60"** – з'явився у 1990 р. Його серійне виробництво ведеться з 1993 р. З 1994 р. "Solar Turbines Inc." виконує постачання двигунів **"Taurus 70"** (див. табл. 3.2.2).

У грудні 2004 р. компанія оголосила про закінчення робіт зі створення нового представника сімейства – **"Taurus 65"** (рис. 3.2.4). Цей ГТД отриманий з "Taurus 60" шляхом збільшення початкових параметрів робочого тіла перед турбіною, що привело до підвищення ККД і генерованої потужності

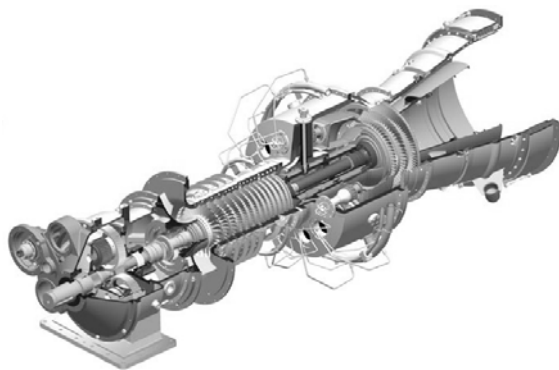


Рис. 3.2.4. Двигун "Taurus 65"

при збереженні в цілому незмінної конструкції. Двигуни "Taurus 60" і "Taurus 70" виготовляються в двох основних модифікаціях – енергетичній та привідній, "Taurus 65" – тільки в енергетичній (за даними на 2006 р.).

Енергетична модифікація двигунів виконана одновальною. Підвищення тиску повітря здійснюється в багатоступінчастому осьовому компресорі (для "Taurus 60" – 12-ступінчастому, "Taurus 65" – 13-ступінчастому, "Taurus 70" – 14-ступінчастому), вхідний напрямний апарат і напрямні лопатки перших ступенів якого мають змінювану геометрію. Кільцева камера згоряння з факельною системою запалення може поставлятися в двох виконаннях – традиційному і низькоемісійному (за технологією "SoLoNO_x"). В останньому випадку число паливних форсунок дорівнює 12 (для "Taurus 65" – 10). Потужність на привід компресора і корисна потужність генеруються триступінчастою реактивною осьовою турбіною. В опорах ротора розташовуються підшипники ковзання.

Відведення відпрацьованих газів із двигунів – осьове або радіальне. Відбирання потужності від ротора здійснюється з боку компресора. Для зниження частоти обертання до 1500 або 1800 об/хв, що відповідає спільній роботі із чотириполюсними генераторами струму частотою 50 або 60 Гц, установлюється планетарний редуктор.

Запуск ГТД здійснюється за допомогою електростартерів перемінного струму. Двигуни "Taurus" можуть працювати на газоподібному або рідкому паливі, водночас на обох цих видах або альтернативних сортах палива (наприклад, на газах з низькою теплотворною здатністю). Система змащення є спільною з привідним механізмом. Установлений на газовипуску двигуна "Taurus 60" теплоутилізаційний контур здатний генерувати 11,6...56,9 тонн пари в годину. Для "Taurus 65" ця цифра становить 14,6...58,2 т/год, для "Taurus 70" – 14,2...69,4 т/год.

Двигуни "Taurus" поставляються замовнику в складі енергетичних агрегатів, повністю укомплектованих і перевірених на заводі. У цих агрегатах використовуються синхронні електрогенератори трифазного струму з безщітковим збудником. Струм частотою 50 Гц генерується зі стандартною напругою 3300, 6600 або 11000 В, струм частотою 60 Гц – із напругою 4160, 6900, 12470, 13200 або 13800 В. Агрегати оснащуються мікропроцесорною електронною системою керування "Turbotronic".

На основі ГТД "Taurus 60" компанія організувала виробництво мобільних енергетичних агрегатів ("Mobile Power Unit").

Привідна модифікація двигунів виконана двовальною, на відміну від енергетичної компресор у ній приводиться в обертання двоступінчастою осьовою турбіною. Вільна силова турбіна також має два ступеня. Відведення відпрацьованих газів від ГТД – радіальне. Установлювана при необхідності зубчаста передача може використовуватися (залежно від виду привідного механізму) як для зменшення, так і збільшення частоти обертання ротора. Для запуску ГТД крім електричної може також застосовуватися пневматична система.

Двигуни "Mars 90" та "Mars 100"

Сімейство двигунів "Mars" виробляється компанією з 1977 р. Модель "Mars 90" випускається з 1992 р., "Mars 100" – з 1994 р. (табл. 3.2.3).

Таблиця 3.2.3. Характеристики агрегатів сімейств "Mars" та "Titan"

Параметри	Енергетичні			Привідні		
	Mars 90	Mars 100	Titan 130	Mars 90	Mars 100	Titan 130
Номінальна потужність, МВт	9,4	10,7	14,3	9,9	11,2	15,3
ККД, %	31,8	32,5	35,0	33,1	34,0	35,8
Витрата робочого тіла, кг/с	40,2	41,8	49,9	40,2	42,3	50,0
Міра підвищення тиску	16,3	17,4	16,0	16,3	17,4	16,1
Температура газу за ГТД, К	743	758	768	738	758	793
Частота обертання, об/хв:						
компресора	10780			11168		
вільної силової турбіни*	8625 / 8568			9500		
Маса, т	67,6	62,5	73,7	25,9		34,5
Довжина, м	14,5	13,9	14,0	9,0		9,8
Ширина, м	3,0	2,9	3,3	2,8		3,0
Висота, м	3,6	3,7	3,3	3,6		3,2

* Для енергетичних агрегатів "Mars" перша цифра відноситься до ГТА, що працює для енергомереж із частотою струму 50 Гц, друга – для енергомереж із частотою струму 60 Гц.

Двигуни виконані двовальними за простою тепловою схемою (рис. 3.2.5). Підвищення тиску повітря здійснюється в 15-ступінчастому осьовому компресорі (створений на базі компресора ГТД "Centaur" шляхом додавання на вході одного ступеня й на виході трьох ступенів), вхідний напрямний апарат і напрямні апарати перших п'яти ступенів якого виготовлені поворотними.

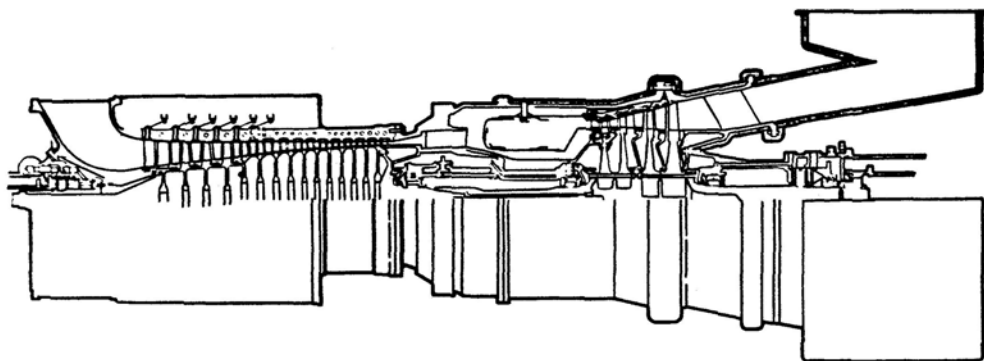


Рис. 3.2.5. Двигун "Mars 90"

Кільцева камера згоряння з факельною системою запалення може поставлятися в двох виконаннях – традиційному і низькоемісійному (за технологією "SoLoNO_x"). У першому випадку вона оснащена 21 паливною форсункою, у другому – 14-ма форсунками. Обидві турбіни (компресора і силова) виконані осьовими реактивними та двоступінчастими. В опорах роторів розташовуються підшипники ковзання. Соплові й робочі лопатки турбін покриті дифузійно напиляним платиновим алюмінідом. Підведення і відведення робочого тіла від двигунів – радіальне.

За необхідністю ГТД можуть забезпечуватися вбудованим планетарним редуктором, який знижує частоту обертання вихідного вала до необхідного споживачу значення (наприклад, до 1500 або 1800 об/хв, якщо двигун працює разом із чотириполюсним генератором струму частотою 50 або 60 Гц). У деяких випадках можливою є і пряма (безредукторна) передача потужності привідному механізму.

Запуск двигунів здійснюється за допомогою електростартерів перемінного струму. Якщо ГТД використовується як привідний (наприклад, для приводу компресора газоперекачувальної станції), то він може оснащуватися пневматичною системою запуску. Двигуни "Mars" можуть працювати на газоподібному або рідкому паливі, а також одночасно на обох цих видах. Система змащення є спільною з привідним механізмом. Установлений на газовипуску двигуна "Mars 90" теплоутилізаційний контур здатний генерувати 19,6...103,6 тонн пари в годину. Для "Mars 100" ця цифра становить 22,1...107,7 т/год.

Двигуни "Mars" знаходять широке застосування як енергетичні та привідні. Вони поставляються замовнику в складі агрегатів, повністю укомплектованих і перевірених на заводі. В енергетичних ГТА використовуються синхронні електрогенератори трифазного струму з безщітковим збудником. Струм частотою 50 Гц генерується зі стандартною напругою 3300, 6600 або 11000 В, струм частотою 60 Гц – із напругою 4160, 6900, 12470 або 13800 В. Агрегати оснащуються мікропроцесорною електронною системою керування "Turbotronic".

Двигун "Titan 130"

Двигун "Titan 130" (рис. 3.2.6) виробляється з 1997 р. у двох основних модифікаціях – енергетичній і привідній (див. табл. 3.2.3).

Енергетична модифікація виконана одновальною. Тиск повітря підвищується внаслідок його проходження через 14-ступінчастий осьовий компресор, вхідний напрямний апарат і п'ять рядів напрямних лопаток якого мають змінювану геометрію. Кільцева камера згоряння з факельною системою запалення може поставлятися в двох виконаннях – традиційному і низькоемісійному (за технологією "SoLoNO_x"). У першому варіанті число паливних форсунок дорівнює 21, у другому – 14. Потужність на привід компресора і корисна потужність генеруються триступінчастою осьовою турбіною. В опорах ротора роз-

міщені підшипники ковзання. Турбінні лопатки покриті дифузійно напиляним алюмінідом.

Відведення відпрацьованих газів від двигуна – осьове або радіальне. Відбирання потужності від ротора здійснюється з боку компресора. Для зниження частоти обертання до 1500 або 1800 об/хв, що відповідає спільній роботі із чотириполюсними генераторами струму частотою 50 або 60 Гц, установлюється планетарний редуктор.

Запуск двигуна здійснюється за допомогою електростартерів перемінного струму. "Titan 130" може працювати на газоподібному або рідкому паливі, водночас на обох цих видах або альтернативних сортах палива з низькою теплотворною здатністю. Система змащення є спільною з привідним механізмом. Установлений на газовипуску двигуна теплоутилізаційний контур здатний генерувати 27,7...134,5 тонн пари в годину.



Рис. 3.2.6. Двигун "Titan 130"

Двигуни "Titan 130" поставляються замовнику в складі енергетичних агрегатів, повністю укомплектованих і перевірених на заводі. У цих агрегатах використовуються синхронні електрогенератори з безщітковим збудником, що генерують трифазний перемінний струм напругою 6600...13800 В. Агрегати оснащуються мікропроцесорною електронною системою керування "Turbotronic".

На базі "Titan 130" компанія організувала виробництво пересувних енергетичних агрегатів ("Mobile Power Unit").

Привідна модифікація двигуна виконана двовальною, на відміну від енергетичної компресор у ній приводиться в обертання двоступінчастою осьовою турбіною. Вільна силова турбіна також має два ступеня. Відведення відпрацьованих газів із ГТД – радіальне. Установлювана за необхідністю зубчаста передача може використовуватися (залежно від виду привідного механізму) як для зменшення, так і збільшення частоти обертання ротора. Запуск двигуна може здійснюватися як електричною, так і пневматичною пусковою системою.

Парогазові установки типу "STAC"

Компанія "Solar Turbines Inc." на базі двигунів "Taurus 60", "Taurus 70", "Mars 100" та "Titan 130" випускає парогазові установки типу "Steam Turbine Assisted Cogeneration" ("STAC") (табл. 3.2.4). Перша з подібних ПГУ ("STAC 60") була введена в дослідну експлуатацію у 1989 р. Серійне їхнє виробництво ведеться з 1993 р.

Таблиця 3.2.4. Оптимальні характеристики установок типу "STAC"

Параметри	STAC 60	STAC 70	STAC 100	STAC 130
Число і тип ГТД	1×"Taurus 60"	1×"Taurus 70"	1×"Mars 100"	1×"Titan 130"
Потужність, МВт:				
на клеммах генератора	7,3	9,5	13,8	17,7
ГТД	5,5	7,5	10,7	14,0
паротурбінної частини	1,8	2,0	3,1	3,7
ККД на клеммах генератора, %	39,6	41,7	41,0	42,7

Установки "STAC" оснащені теплоутилізаційними контурами одного тиску і мають одновальне виконання: електрогенератор приводиться в обертання з одного боку газотурбінним двигуном, з іншого – через обгінну муфту паровою турбіною. Ці ПГУ для генерації струму частотою 50 або 60 Гц (а також пари для виробничих та теплофікаційних потреб) можуть застосовуватися в найрізноманітніших галузях. Відповідно перемінною є їхня комплектація. Розрізняють два основні варіанти ПГУ – "STAC I" та "STAC II". У першому випадку установка комплектується конденсаційною паровою турбіною; використовуються котли-утилізатори, як правило, без допалювання палива. У другому випадку до складу ПГУ входить парова турбіна з протитиском; у котлах-утилізаторах для збільшення параметрів пари звичайно здійснюється допалювання палива.

Реальна електрична потужність установок "STAC", які знаходяться в цей час в експлуатації, становить: для "STAC 60" – 5,0...6,6 МВт, "STAC 70" – 6,5...9,1 МВт, "STAC 100" – 10,7...13,8 МВт, "STAC 130" – 16,4...16,8 МВт.

3.3. "Pratt & Whitney Corp." (США)

 Pratt & Whitney A United Technologies Company	<i>Повне найменування:</i> "Pratt & Whitney Corporation". <i>Штаб-квартира:</i> м. Хартфорд, штат Коннектикут, США. <i>Чисельність працюючих:</i> 40 тис. чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

Створення компанії "Pratt & Whitney Corp." відносять до 1860 р., коли в м. Хартфорд (штат Коннектикут) американським інженером Френсісом Преттом та підприємцем Амосом Вітні (рис. 3.3.1) було засноване підприємство "**Pratt & Whitney Company**", яке спочатку займалося виробництвом верстатів для нарізування різьб і різноманітного машинного інструменту.

Уже в роки громадянської війни в США компанія починає спеціалізуватися на розробці передових конструкцій стрілецької зброї та артилерійських установок, поставляючи озброєння армії Півночі. Іншими пріоритетними напрям-

ками діяльності "Pratt & Whitney Co." незабаром стають випуск швейних машин і типографського встаткування. Особливою галуззю виробництва було створення високоточного й унікального вимірювального інструменту.

Серед досягнень компанії цього періоду слід відмітити те, що вона однією з перших в Америці при створенні стрілецької зброї почала реалізовувати принцип взаємозамінних частин; зробила значний внесок у вироблення єди-

них стандартів вимірювання, а також відзначити винахід працівником компанії Вільямом Греєм у 1889 р. першого у світі монетного телефонного апарата.

У 1925 р.* американський винахідник та авіатор Фредерік Рентшлер у пошуках джерела фінансування і виробничого приміщення для створення розробленої ним конструкції авіаційного двигуна звернувся до "Pratt & Whitney Co.". Компанія виділила йому 250 тис. дол., частину своєї території, а також можливість використовувати товарний знак "Pratt & Whitney". Це допомогло Ф. Рентшлеру заснувати підприємство **"Pratt & Whitney Aircraft Company"**, в рамках якого і велися роботи над двигуном.

Поршневий 9-циліндровий двигун з повітряним охолодженням, який одержав найменування R-1340 "Wasp", уперше був запущений напередодні Різдва 1925 р. Він розвивав потужність 315 кВт, успішно пройшов у березні 1926 р. кваліфікаційні випробування і вже у жовтні того ж року за замовленням військово-морського флоту США був введений у серійне виробництво кількістю 200 од.

У 1928 р. для сервісного обслуговування двигунів "Wasp" на території Канади відкривається філія компанії у м. Монреаль (штат Квебек) – "Pratt & Whitney Aircraft Co. Ltd.".

У 1929 р. Ф. Рентшлер викуповує "Pratt & Whitney Aircraft Co." у "Pratt & Whitney Co.", хоча словосполучення "Pratt & Whitney" дотепер входить у назву двигунобудівної компанії**. У тому ж 1929 р. "Pratt & Whitney Aircraft Co." разом з деякими іншими машинобудівними підприємствами увійшла до складу новоствореної корпорації "United Aircraft & Transport Corp.", яка надалі перетворилася на "United Aircraft Corp.", а згодом на "United Technologies Corp.".

У 20–40-х роках "Pratt & Whitney Aircraft Co." великими серіями виготовляє різні модифікації базового двигуна "Wasp". Вихідна модель R-1340, по-

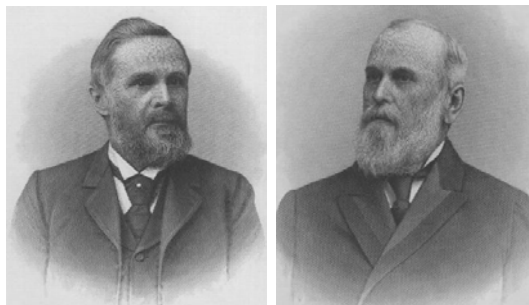


Рис. 3.3.1. Амос Вітні (1832–1920)
та Френсіс Претт (1827–1902)

* Ця дата і вважається офіційною датою заснування компанії "Pratt & Whitney Corp.".

** Компанія "Pratt & Whitney Company" під назвою "Pratt & Whitney Measurement Systems, Inc." існує дотепер; займається головним чином виробництвом різних вимірювальних пристроїв та пристроїв, а також інструментів.

тужність якої була доведена до 450 кВт, випускалася аж до 1960 р. (усього виготовлено 34966 од.) і застосовувалася на літаках 110 типів. На літаках 59 типів використовувався 9-циліндровий R-1690 "Hornet" (1926–1942 pp., 2944 од.); на 82 типах літальних апаратів застосовувалися двигуни R-985 "Wasp Jr." (1929–1953 pp., 39037 од.). У період з 1932 по 1951 р. було виготовлено майже 174 тис. од. 14-циліндрових R-1830 "Twin Wasp" та R-1535 "Twin Wasp Jr.", 18-циліндровий R-2800 "Double Wasp" з 1939 по 1960 р. був випущений кількістю 125334 од. У період з 1944 по 1955 р. на 27 типах літаків використовувалося 18,7 тис. 28-циліндрових двигунів R-4360 "Wasp Major".

Розробкою і створенням газотурбінних двигунів "Pratt & Whitney Corp." почала займатися після закінчення Другої Світової війни (четвертою в США після "General Electric Co.", "Westinghouse Electric Corp." та "General Motors Corp."), організувавши випуск ліцензійних турбореактивних двигунів з відцентровим компресором компанії "Rolls-Royce Ltd.". Початковим проектом стала вдосконалена версія двигуна "Nene", що одержала найменування **J42**. У листопаді 1949 р. починається виробництво ТРД **J48** (ліцензійний "Tay"), який показав на випробуваннях тягу 2840 кгс. Цей двигун устатковлювався на палубних винищувачах F9F-5 "Panther" компанії "Grumman". Оснащений форсажною камерою **J48P-8** тягою 3900 кгс застосовувався на всепогодних винищувачах-перехоплювачах F-94C "Starfighter".

Паралельно з розробкою більш потужних варіантів J48 "Pratt & Whitney Corp." вела конструкторські роботи зі створення двигунів з осьовим компресором. Наприкінці 1949 р. був готовий прототип **JT3**, а в наступному році з'явився двокаскадний форсований ТРД **J57**. Він успішно застосовувався в модифікації **JT3D** на бомбардувальниках B-52 "Stratofortress" і пасажирських літаках B-707 компанії "Boeing", стратегічних заправниках KC-135. Крім того, J57 застосовувався на винищувачах F-100 "Super Sabre", F-101 "Voodoo" та F-102 "Delta Dagger" і на літаках-розвідниках U-2.

У 50–80-х роках "Pratt & Whitney Corp." серійно виготовляє двокаскадні турбореактивні двигуни **J75 (JT4)** (для літаків F-105 "Thunderchief", F-106 "Delta Dart", P6M "Seamaster" та ін.), **J52** (штурмовики A-4 "Skyhawk" і A-6 "Intruder", ракети AGM-28 "Hound Dog"), однокаскадний **J60 (JT12)** (T-2B "Buckeye", T-39A "Saberliner", C-140 "Jetstar"), **J58** (літаки SR-71 та YF-12A компанії "Lockheed"), турбогвинтовий двигун **T34** (C-133 "Cargomaster", B-377SG "Super Guppy" тощо), турбовентиляторні **JT3D (TF33)** (DC-8F "Jet Trader", B-52H "Stratofortress", RB-57F "Angel", C-135B "Stratolifter" та ін.) і **TF30** (F-111, A-7A "Corsair", F-14A "Tomcat")*.

Починаючи з 1925 р. компанія виготовила більше 500 тис. поршневих і газотурбінних двигунів 30 основних сімейств.

* Усього було виготовлено: J42 – 1139 од. (1948–1951 pp.); J48 – 4108 од. (1949–1959 pp.); J57 (JT3) – 21170 од. (1951–1965 pp.); JT3D (TF33) – 8600 од. (1959–1985 pp.).

Сьогодні "Pratt & Whitney Corp." розробляє і виготовляє ГТД у широкому діапазоні потужностей для цивільної та військової авіації, промислового і суднового застосування, а також двигуни для ракетно-космічної техніки. Корпорація – одна з трьох провідних авіадвигунобудівних компаній світу (разом з "General Electric Co." і "Rolls-Royce plc"). Приблизно половина світового комерційного повітряного флоту приводиться двигунами "Pratt & Whitney Corp.". Більше 20000 разів на добу в повітря піднімаються цивільні літаки з ГТД цього підприємства, які експлуатуються 600 авіалініями 150 країн*.

Літаки, оснащені двигунами "Pratt & Whitney Corp.", входять до складу військово-повітряних сил 27 країн світу. Турбовентиляторними двигунами **F100** обладнані винищувачі F-15 "Eagle", F-15E "Strike Eagle" та F-16 "Fighting Falcon", які складають основу військово-повітряних сил США. Двигунами компанії **F119** та **F135** будуть оснащуватися винищувачі XXI ст. F/A-22 "Raptor" і F-35 "Joint Strike Fighter". Ракетні двигуни "Pratt & Whitney Corp." виводять на орбіту апарати зі швидкістю близько 40000 км/год. У 40 країнах світу експлуатуються понад 1200 промислових ГТА компанії.

Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції "Pratt & Whitney Corp." склав 9,3 млрд дол. Корпорація має широку мережу сервісних центрів і філій, розміщених у всьому світі. Її представництва розташовані в 76 містах 47 країн. Цими підприємствами здійснюється повний або частковий капітальний ремонт вироблених компанією ГТД та їхніх окремих елементів, а також надання послуг, орієнтованих на запити замовника.

Для потреб цивільної авіації базовим заводом у м. Хартфорд** у цей час виготовляється наступна продукція:

турбовентиляторні двигуни **JT8D** (пасажирські лайнери "Boeing 727", "Boeing 737", "Douglas DC-9"), **JT9D** ("Airbus A300", "Airbus A310", "Boeing 747", "Boeing 767", "McDonnell Douglas DC-10"), **PW2000** ("Boeing 757"), **PW4000** ("Airbus A300-600", "Airbus A310-300", "Airbus A330", "Boeing 747-400", "Boeing 767", "Boeing 777", "McDonnell Douglas MD-11"), **V2500** ("Airbus A318", "Airbus A319", "Airbus A320", "Airbus A321"), **PW6000** ("Airbus A318") та **GP7200** ("Airbus A380");

для військової авіації – двигуни **F100**, **F117**, **F119**, **F135**, **PW4000** і **JT8D-219**;

для ракетно-космічної техніки випускаються турбонасоси для проекту "Space Shuttle", двигуни RL10, RD180, THAAD, "Orbus 21D", МК-72, різні прискорювальні двигуни (зокрема, для ракет "Delta II", "Delta IV", "Atlas III" та "Atlas V").

Філія корпорації в Канаді із центром у м. Лонгюїл ("**Pratt & Whitney Canada Corp.**") займається виробництвом авіаційних турбовентиляторних, турбо-

* Більш докладно про виробничу діяльність корпорації можна дізнатися на її офіційних сайтах: <http://www.prattwhitney.com> та <http://www.pw.utc.com>.

** Місто з населенням 121 тис. чол. (2000 р.). Адреса підприємства: 400 Main Street, East Hartford, CT 06108, U.S.A.

вальних і турбогвинтових ГТД невеликої потужності головним чином для вертольотів, корпоративних літаків та пасажирських лайнерів регіональних авіаліній.

Виробництво ГТА енергетичного, привідного та суднового призначення в 2000 р. було зосереджено в рамках підрозділу "**Pratt & Whitney Power Systems, Inc.**", який включає до свого складу частину виробничих потужностей заводів у мм. Віндзор (штат Коннектикут, США) і Лонгюїл (штат Квебек, Канада). Ці агрегати створюються шляхом конвертування з добре зарекомендованих в експлуатації авіаційних двигунів базових підприємств у Хартфорді та Лонгюїлі.

Крім вищезгаданих підприємств, головні виробничі потужності "Pratt & Whitney Corp." розташовані також у мм. Чешир і Міддлтаун (штат Коннектикут), Вест Палм Біч (штат Флорида), Норт Бервік (штат Мейн) та ін.

Сьогодні компанія, як і раніше, є частиною американського промислового конгломерату "United Technologies Corp." *.

3.3.1. Науково-виробничий центр у м. Віндзор (США)

Науково-виробничий центр у м. Віндзор (штат Коннектикут)**, що займається комплектацією ГТА енергетичного, привідного і суднового призначення на базі авіаційних двигунів, виготовлюваних базовим підприємством у Хартфорді, був організований як спеціальний відділ "Pratt & Whitney Corp." у 1960 р. Вихідною подією для його заснування стало створення у 1959 р. першого промислового ГТД компанії, що одержав серійне найменування **FT4**.

Цей двигун був розроблений на базі газогенератора GG4 двокаскадного форсованого турбореактивного двигуна J75 (JT4), що виготовлювався з 1956 по 1967 р. для американських винищувачів F-105 "Thunderchief", F-106 "Delta Dart", P6M "Seamaster", пасажирських лайнерів "Boeing 707" та ін. У жовтні 1960 р. перший екземпляр FT4 вводиться в експлуатацію на газоперекачувальній станції. Різних модифікацій цього двигуна "Pratt & Whitney Corp." виготовила близько 1300 од. Остання з них **FT4C** випускалася з 1979 р.

Двигун FT4 у 60–70-х роках знайшов деяке суднове застосування. Модифікація FT4A-2 потужністю 15,8 МВт у 1967 р. увійшла в перший склад енергетичної установки транспортного судна "Admiral William M. Callagan" (США). У тому ж році нею був обладнаний канадський корабель на підводних крилах "Bras d'Or". Двигуном FT4A-12 оснащувалися в 70-х роках чотири контейнеровози типу "Euroliner". Два ГТД FT4C-1D сумарною потужністю 48,6 МВт

* "United Technologies Corp." є однією з найбільших американських корпорацій, яка оцінюється у 28 млрд дол. (2002 р.) і об'єднує такі компанії, як "Otis elevators & escalators", "Carrier heating & air-conditioning systems", "Sikorsky helicopters", "Hamilton Sundstrand aerospace systems" та ін.

** Адреса підприємства: 80 Lamberton Road, M/S 191-13, Windsor, CT 06095, U.S.A.

забезпечували рух спущеного у 1977 р. на воду пасажирського порома "Finnjet" (Фінляндія).

У 1970 р. відділ компанії, що займався створенням промислових і суднових ГТА, був перетворений у самостійний підрозділ під назвою **"Turbo Power & Marine System, Inc."**, який розміщений у м. Міддлтаун (штат Коннектикут).

Після реформи 2000 р. випуск продукції цього типу здійснюється в рамках підприємства **"Pratt & Whitney Power Systems, Inc."**. Виробничий процес був перенесений з м. Міддлтаун у м. Віндзор.

* * *

Основним видом наземної та суднової газотурбінної техніки, що випускається в цей час підприємством у Віндзорі, є агрегати, створені на базі турбовентиляторного двигуна JT8D. До таких належать:

газотурбінні двигуни FT8 і FT8-3 (FT8 "Plus") потужністю 25 та 28 МВт, що мають ККД 38 %;

блочно-модульні енергетичні ГТА типу "PowerPac" і "TwinPac" потужністю 25...56 МВт;

пересувні енергетичні ГТА "SwiftPac 25" ("MobilePac 25") та "SwiftPac 50";

парогазові й когенераційні установки потужністю 25...74 МВт.

Необхідно відзначити, що підприємство "Pratt & Whitney Power Systems, Inc." займається також обслуговуванням, відбудовними та ремонтними роботами двигунів інших виготовлювачів, зокрема двигунів типу 6В, 7ЕА та 7FА "General Electric Co."

Нижче наводяться характеристики наземного і суднового газотурбінного встаткування, яке випускається науково-виробничим центром.

Двигун FT8

Газотурбінний FT8 (рис. 3.3.2) створений на базі турбовентиляторного двигуна JT8D, який з 1964 р. серійно випускається "Pratt & Whitney Corp." (до 2006 р. виготовлено більше 11800 од., сумарний наробіток яких перевищив 500 млн год) і застосовується головним чином на цивільних авіалайнерах компанії "Boeing" (B-727, B-737 та ін.).

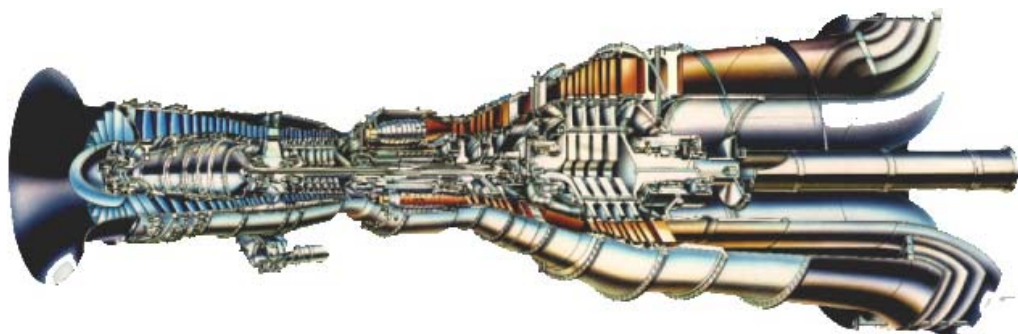


Рис. 3.3.2. Двигун FT8

Відмітними характеристиками FT8 є невелика маса, легкість транспортування, швидкий монтаж; надійність світового рівня (газогенератора – 99,7 %, запуску – 95,0 %, створених на його основі електростанцій – 98,2 %); модульне виконання, можливість ремонту і заміни окремих вузлів; простота й зручність в обслуговуванні; мінімальні витрати на навчання обслуговуючого персоналу.

Двигун складається з авіаційного газогенератора GG8, доповненого вільною силовою турбіною PT8. Газогенератор (рис. 3.3.3) має двовальну конструкцію. Компресор низького тиску – осьовий, 8-ступінчастий. Вхідний напрямний апарат і напрямні апарати двох перших ступенів виконані поворотними. Компресор високого тиску – осьовий, 7-ступінчастий. Ротор КНТ – барабанного типу, ротор КВТ – дисково-барабанного.

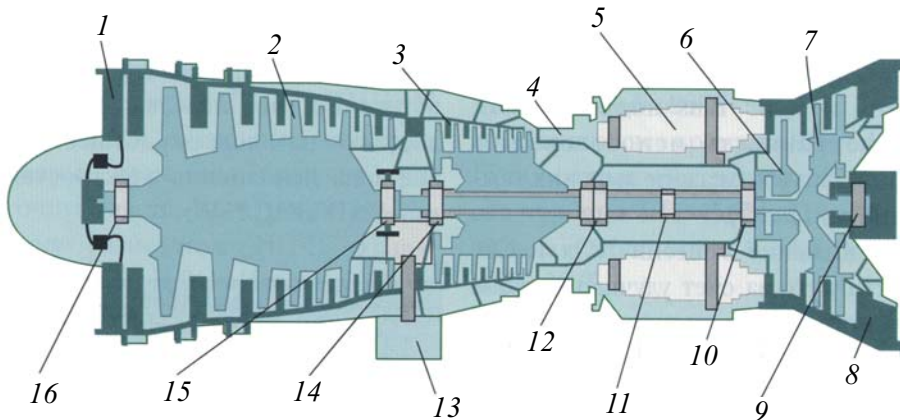


Рис. 3.3.3. Газогенератор двигуна FT8:

1 – передній корпус; 2 – КНТ; 3 – КВТ; 4 – дифузори КЗ; 5 – КЗ; 6 – ТВТ; 7 – ТНТ; 8 – корпус задньої опори; 9 – опора № 6; 10 – опора № 5; 11 – опора № 4/12; 12 – опора № 4; 13 – коробка приводів; 14 – опора № 3; 15 – опора № 2; 16 – опора № 1

Камера згоряння – прямофокальна, трубчасто-кільцева, має 9 жарових труб з патрубками перекидання полум'я. Два запальники забезпечують займання паливоповітряної суміші під час запуску, після чого камера згоряння підтримує горіння самостійно. Можливим є використання як газоподібного, так і рідкого палива.

Турбіна високого тиску – осьова, одноступінчаста, має охолоджувані соплові лопатки. Турбіна низького тиску – двоступінчаста. Підшипники газогенератора несуть радіальні й осьові навантаження роторів. Використовуються підшипники двох типів: кулькові (для сприйняття радіальних та осьових навантажень) і роликові (лише радіальних). На трьох опорах застосовується масляне демпфірування, за якого шар масла під тиском поглинає вібрацію роторів. Для виготовлення ущільнень підшипників використовується спеціально оброблений вуглець.

У системі автоматичного керування радіальними зазорами ТНТ застосовується модульована всережимна подача охолодного повітря. Це дозволяє підтримувати оптимальні зазори на всіх режимах роботи ГТД і мінімізувати витоки

робочого тіла крізь них. Система містить у собі розташовані на газогенераторі клапани охолодного повітря. Вони керуються сигналами електронної системи регулювання двигуна.

Двигун захищений від помпажу системою клапанів перепускання повітря і поворотними напрямними апаратами КНТ. Це забезпечує стійку роботу газогенератора під час запуску та перехідних режимів роботи.

Силова турбіна – осьова, 4-ступінчаста. Вона з'єднана з газогенератором кільцевим перехідним каналом. У задньому корпусі турбіни знаходяться спрямний апарат і опора заднього підшипника, що поєднана з корпусом дифузора та колектором відпрацьованих газів. Силова турбіна спирається на два радіальних роликотопідшипники й один упорний кульковий підшипник. Подібне розташування було й у двигуна FT4, добре зарекомендованого за багато років експлуатації.

Для енергетичних модифікацій FT8 силова турбіна випускається в двох основних варіантах – із частотою обертання 3000 та 3600 об/хв, що забезпечує спільну роботу з двополюсними генераторами трифазного струму частотою 50 і 60 Гц відповідно. Існують варіанти турбіни як з лівим, так і з правим напрямком обертання. Привідна і суднова модифікації випускаються із частотою обертання силової турбіни 5500 об/хв*. Потужність турбіни передається споживачу за допомогою двох пружних муфт і привідного вала.

Висока температура випускних газів дозволяє встановлювати після ГТД котел-утилізатор для роботи двигуна у складі установок з утилізацією тепла.

Двигун FT8 з'явився на ринку газотурбінної техніки у 1991 р. За даними на 2006 р. парк FT8 нараховував близько 250 машин, що експлуатувалися 70 компаніями в 14 країнах світу. Їхній сумарний наробіток перевищив 2 млн год комерційної експлуатації.

З 2002 р. "Pratt & Whitney Corp." випускає чергову модифікацію цього двигуна, яка одержала назву **FT8 "Plus" (FT8-3)**. Порівняно з базовою версією (FT8-1) FT8 "Plus" має на 17 % більшу потужність. Це збільшення забезпечене головним чином за рахунок використання апробованої технології та матеріалів і застосування термобар'єрних покриттів при мінімальних змінах конструкції ГТД**. Двигун FT8 "Plus" має найнижчу ціну в своєму класі потужності – 382 дол./кВт. Кліматичні характеристики FT8-3 підтверджують його ефективність використання в діапазоні високих температур.

Зниження емісії NO_x та СО у новому двигуні багато в чому досягається за рахунок поліпшення конструкції паливних форсунок. Оптимізація процесу змішання палива і повітря, а також упорскування води дозволяють знизити рівень емісії оксидів азоту до 25 ppm та зменшити споживання води. Компанія також закінчує розробку "сухих" систем зниження рівня емісії шкідливих речовин.

* Знаходять суднове застосування і двигуни із частотою обертання силової турбіни 3000 або 3600 об/хв.

** Для поліпшення конструкції потрібна заміна лише 18 деталей базового FT8-1.

Установлений на сталевій рамі двигун FT8 комплектується допоміжними системами забезпечення і з'єднується безпосередньо з модулем генератора або нагнітача газу, будучи таким чином повністю укомплектованим агрегатом (рис. 3.3.4).

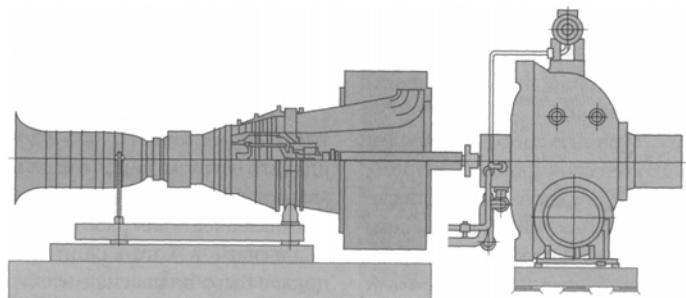


Рис. 3.3.4. Двигун FT8 з нагнітачем природного газу

Двигун та генератор (або нагнітач) знаходяться в універсальних укриттях для експлуатації в різних кліматичних умовах. Цей комплекс оснащений такими системами: фільтрації всмоктуваного повітря, шумоглушіння на вході та випуску, змащення, паливостачання, протипожежною, керування роботою ГТА.

Щоб полегшити доступ до систем для здійснення обслуговування, пропонується варіант із встановленням на окремих рамах таких систем забезпечення, як малярна, система контролю за рівнем оксиду азоту, а також устаткування для фільтрації та подачі палива.

Вартість та терміни монтажу ГТА зведені до мінімуму за рахунок використання зібраних блоків, що легко транспортуються. У більшості випадків для встановлювання встаткування як фундамент потрібний тільки бетонний монолітний блок.

Енергетичні модифікації двигуна FT8 оснащуються електрогенераторами з відкритою повітряною системою охолодження, що дозволяє їх експлуатувати відповідно до стандартів Міжнародної електротехнічної комісії. Ізоляція генераторів виконується за класом "F". Генератори містять у собі консольно встановлені на валу основні й пілотні безщіткові збудники в комплекті з обертовими захищеними діодами, а також усі необхідні допоміжні пристрої, датчики, захисні пристрої та систему керування. Генерується струм напругою 11 кВ.

Базовими варіантами використання двигуна FT8 є блочно-модульні енергетичні агрегати **"PowerPac"** та **"TwinPac"**. Ці ГТА можуть застосовуватися у складі стаціонарних та пересувних електростанцій, парогазових і когенераційних установок, а також у складі суднових електроенергетичних установок типу "CODAG" (табл. 3.3.1). Особливістю агрегату "TwinPac" є використання двох двигунів, що приєднуються через обгінні муфти до обох боків синхронного генератора електричного струму. Таке приєднання дає можливість незалежного один від одного використання цих ГТД, що істотно підвищує операційну гнучкість енергетичної установки.

Таблиця 3.3.1. Характеристики агрегатів на базі двигунів типу FT8

Параметри*	Енергетичні						Привідні		Суднові	
	FT8 PowerPac	FT8 TwinPac	SwiftPac 25	SwiftPac 50	FT8-3 PowerPac	FT8-3 TwinPac	FT8	FT8-3	FT8	FT8-3
Номінальна потужність, МВт	25,5	51,3	25,5	51,2	28,0	56,3	25,9	28,3	24,9	27,5
ККД, %	38,1	38,4	38,1	38,3		38,6	38,5	38,7	39,0	39,3
Витрата робочого тіла, кг/с	84,8	169,6	84,8	169,5	87,5	175,1	85,5	87,7	83,2	86,1
Міра підвищення тиску	19,3		19,5		20,2		19,5	20,2	18,8	19,7
Температура газу за ГТД, К	730		731		751		731		735	755

* Для всіх модифікацій потужність і ККД наведені на вихідному валу двигуна.

Найновішим продуктом "Pratt & Whitney Corp.", випуск якого ведеться з 2001 р., є пересувні енергетичні агрегати **"SwiftPac 25"** та **"SwiftPac 50"**. Вони мають найкращі характеристики у своєму класі та дозволяють виконати монтаж протягом трьох тижнів з моменту прибуття на площадку. Існує два види виконання агрегатів "SwiftPac 25": *мобільний* (на чотирьох трейлерах) – дозволяє одержувати електроенергію "з коліс" через три дні після доставки на місце (цей варіант іноді також називається **"MobilePac 25"**); *транспортований*, за яким ГТА зібраний та упакований на заводі таким чином, що для його встановлювання потрібна тільки фундаментна бетонна площадка товщиною близько метра; дозволяє почати експлуатацію через три тижні після прибуття на місце.

Агрегат "SwiftPac 50" існує тільки у транспортованому варіанті.

У когенераційних установках із двигунами FT8, які експлуатуються в цей час, коефіцієнт використання енергії палива становить не менше 80 %. Характеристики створюваних на базі двигунів FT8 та FT8-3 парогазових установок бінарного термодинамічного циклу наведені в табл. 3.3.2. Установки використовують теплоутилізаційні контури двох тисків. Тиск у конденсаторі становить 6,9 кПа.

Таблиця 3.3.2. Характеристики установок на базі двигунів типу FT8

Параметри	1×FT8	2×FT8	1×FT8-3	2×FT8-3
Потужність, МВт:				
на клеммах генератора	32,9	66,7	36,6	74,2
ГТД	24,7	49,8	27,2	54,8
паротурбінної частини	8,8	18,0	10,0	20,6
ККД на клеммах генератора, %	49,7	50,4	50,6	51,3
Частота струму, Гц	50/60			

Необхідно відзначити, що ГТА різного призначення на базі двигуна FT8 випускаються також компаніями "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.", "MAN Turbo AG" та "Ebara Corp."

3.3.2. Науково-виробничий центр у м. Лонгюїл (Канада)

Підприємство "**Pratt & Whitney Canada Corporation**" ("**P&WC**") із центром у м. Лонгюїл (штат Квебек, Канада)* веде свою історію з 1928 р., коли підприємцем з Монреаля Джеймсом Янгом був заснований канадський підрозділ компанії "Pratt & Whitney Aircraft Co.", що одержав найменування "**Pratt & Whitney Aircraft Company Ltd.**". Це підприємство спочатку виконувало функції сервісного центру для двигунів, що були створені головною компанією в Хартфорді та знаходилися в експлуатації на території Канади.

У роки Другої Світової війни "Pratt & Whitney Canada Corp.", виконуючи військові замовлення, здійснювала збирання вироблених у США поршневих авіаційних двигунів типу "Wasp". З моменту заснування і до закінчення війни "P&WC" залишалася центром технічного обслуговування, займаючись головним чином поточним та капітальним ремонтом цих двигунів.

На початку 1952 р. починає працювати побудований у Лонгюїлі завод імені Жака Картьє (в цей час "Завод № 1"). На цей завод головна компанія "Pratt & Whitney Aircraft Co.", вступивши в еру реактивної авіації, передає все виробництво поршневих двигунів "Wasp".

Наприкінці 50-х років група з дванадцяти інженерів починає роботи зі створення першого канадського авіаційного турбогвинтового **PT6**. Перший такий двигун був установлений на літаку компанії "Beech Aircraft" 22 грудня 1963 р.

За свою історію канадська філія "Pratt & Whitney Corp." виготовила більше 60 тис. двигунів для корпоративних літаків, лайнерів регіональних авіаліній та вертольотів. Найбільш давнім і відомим з вироблених є сімейство турбогвинтових та турбовальних двигунів **PT6**. Починаючи з 1964 (турбовальні модифікації випускаються з 1970 р.) по березень 2003 р. було випущено 31300 од. його представників, які напрацювали в сумі близько 250 млн год комерційної експлуатації. З 1971 р. виготовлено майже 6000 турбовентиляторних двигунів **JT15D** (30 млн год). Турбогвинтовими ГТД сімейства **PW100** (75 млн год наробітку з 1984 по 2003 р.) приводяться 27 типів літаків. Великим попитом користуються допоміжні силові установки типу **PW900**, що випускаються з 1989 р. (700 од.; 8 млн год) та використовуються на пасажирських "Boeing 747" і "Airbus A380".

У 90-х роках "Pratt & Whitney Canada Corp." почала виробництво нових сімейств турбовентиляторних двигунів **PW300** та **PW500**, а також сімейства турбовальних ГТД **PW200**. Останніми розробками компанії є двигуни типу **PW600** та **PW800**.

* Адреса підприємства: 1000 Marie Victorin, Longueuil, Quebec, J4G 1A1, Canada.

Крім заводу в Лонгюїлі (5400 чол.), до складу "Pratt & Whitney Canada Corp." у цей час входять також виробничі потужності, що розташовані в канадських містах Міссісауга (штат Онтаріо) (1040 чол.), Летбрідж (штат Альберта) (130 чол.), Галіфакс (штат Нова Скотія) (380 чол.). Сумарна чисельність працівників "P&WC" становить близько 10 тис. чол., з них більше 3 тис. чол. за межами Канади.

Виробництво двигунів наземного та суднового призначення ведеться в рамках єдиного для корпорації підприємства "Pratt & Whitney Power Systems, Inc."

* * *

Сьогодні "Pratt & Whitney Canada Corp." є однією з провідних світових фірм із виробництва авіаційних газотурбінних двигунів. Компанія має величезний досвід із проектування, виробництва, продажу й обслуговування турбогвинтових, турбовальних, малих турбовентиляторних двигунів та допоміжних силових установок. Двигуни "P&WC" широко застосовуються в авіації загального призначення, регіональній та адміністративній авіації, військових літальних апаратах, вертольотах, а також у складі промислових і суднових енергетичних установок.

Двигуни компанії використовуються більше ніж у 180 країнах світу. Підтримування цих двигунів здійснюється у всьому світі мережею, що складається з підрозділів з поточного та капітального ремонту і регіональних центрів обслуговування.

Для літаків військової та цивільної авіації виготовляються:

турбовентиляторні двигуни сімейств JT15D, PW300, PW500, PW600 і PW800;

турбогвинтові й турбовальні двигуни сімейств PT6A, PT6B, PT6C, PT6T/T400, PW100, PW150 і PW200;

допоміжні силові установки типу PW900.

Для енергетики, механічного приводу й суднового призначення підприємство в м. Лонгюїл виготовляє:

двигуни ST6L-72, ST6L-79, ST6L-81 та ST6L-90 потужністю 500...1200 кВт, що мають ККД 23...28 %;

двигун ST18A потужністю 2 МВт і ККД 30 %;

двигуни ST30 та ST40 потужністю 3,3 і 4,0 МВт, що мають ККД 32...33 %.

Науково-виробничим центром розроблена також модифікація двигуна ST40 для приводу локомотива.

Нижче наводяться характеристики наземного і суднового газотурбінного встаткування, яке випускається підприємством*.

* Більш докладно про виробничу діяльність "PW&C" можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.pwc.ca>.

Двигуни сімейства ST6

Двовальні газотурбінні двигуни **ST6L-72** та **ST6L-79** (табл. 3.3.3) були отримані шляхом конвертування з авіаційних турбогвинтових двигунів серії РТ6, сумарний наробіток яких до 2004 р. перевищив 250 млн год.

Таблиця 3.3.3. Характеристики двигунів сімейства ST6

Параметри	ST6L-72	ST6L-79	ST6L-81	ST6L-90
Номінальна потужність, кВт	508	678	848	1175
ККД, %	23,4	24,7	26,0	28,0
Витрата робочого тіла, кг/с	3,0	3,2	3,9	5,2
Міра підвищення тиску	7,0	7,4	8,5	10,0
Температура газу за ГТД, К	787	862	839	809
Частота обертання силової турбіни, об/хв	33000		30000	
Маса, кг	104		136	
Габарити, м	1,23×0,44×0,48		1,28×0,44×0,47	

Повітря всередину цих ГТД надходить через радіальний вхідний пристрій, обладнаний сітчастим фільтром, стискується в трьох осьових і одному відцентровому ступенях осевідцентрового компресора, після чого направляється до камери згоряння (рис. 3.3.5).

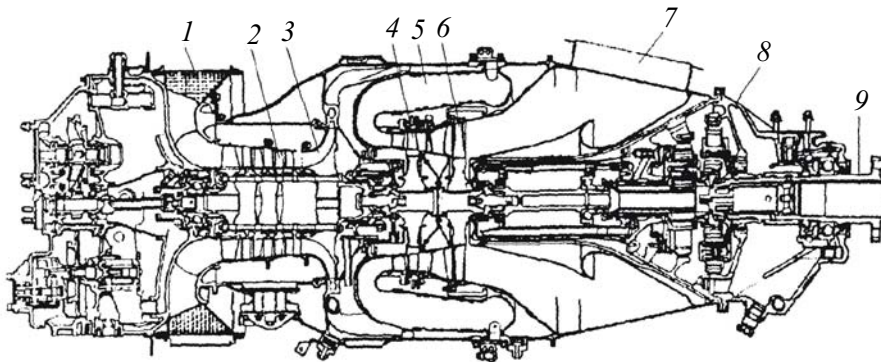


Рис. 3.3.5. Двигун ST6L-79:

1 – підведення повітря до компресора; 2 – осьові ступені компресора; 3 – відцентровий ступінь компресора; 4 – турбіна компресора; 5 – КЗ; 6 – СТ; 7 – газовипускний патрубок; 8 – редуктор; 9 – вал відбирання потужності

Камера згоряння виконана протитоковою, кільцевого типу, оснащена 14-ма паливними форсунками. Продукти згоряння, що утворилися в ній, послідовно розширюються в одноступінчастій осьовій турбіні компресора та одноступінчастій вільній силіовій турбіні.

Ротори турбомашин обертаються в підшипниках кочення. Випускання газу із силової турбіни відбувається через діагональний дифузор. Привід допоміжних механізмів здійснюється від вала компресора через зубчасту передачу, з якою

зчеплений також пусковий стартер. Можливим є створення модифікацій двигунів з іншою частотою обертання силової турбіни.

Застосування вбудованих редукторів планетарного типу з різним передаточним відношенням дозволяє забезпечити необхідну споживачеві частоту обертання вихідного вала двигуна, яка для різних модифікацій становить 6200, 2200 або 1900 об/хв. Редуктор оснащується пристроєм для вимірювання крутного моменту.

Усе встаткування газотурбінного двигуна вміщено в спільний силовий корпус (капсулу), який має лише вертикальні рознімання, скріплені фланцями. Двигуни пристосовані для роботи як на газоподібному, так і на рідкому паливі.

Утилізаційний контур, доданий до двигуна ST6L-79, дозволяє генерувати за рахунок тепла відпрацьованих газів до 2,5 т/год насиченої пари тиском 1 МПа.

Двигун ST6L-81 отриманий шляхом конвертування з авіаційного турбогвинтового PT6A-40. Принциповою його відмінністю від попередніх моделей сімейства ST6 є трохи більша міра підвищення тиску в компресорі (8,5 порівняно з 7,0) та двоступінчаста конструкція силової турбіни. Останнє обумовлює дещо більші довжину і масу цієї модифікації.

Найчастіше використовується модель із частотою обертання вихідного вала 1700 об/хв. За рахунок утилізації тепла відпрацьованих газів є можливим одержати до 2,82 т/год насиченої пари тиском 1 МПа. Модифікація виробляється з 1978 р.

Двигун ST6L-90 отриманий шляхом конвертування з турбогвинтового PT6A-60. Порівняно з попередньою модифікацією (ST6L-81) до нього був доданий 4-й осьовий ступінь осевідцентрового компресора, за рахунок чого відбулося подальше зростання міри підвищення тиску.

Двигун ST18A

Двокаскадний з вільною силовою турбіною двигун ST18A (рис. 3.3.6, табл. 3.3.4) був отриманий шляхом конвертування з авіаційного турбогвинтового PW100.

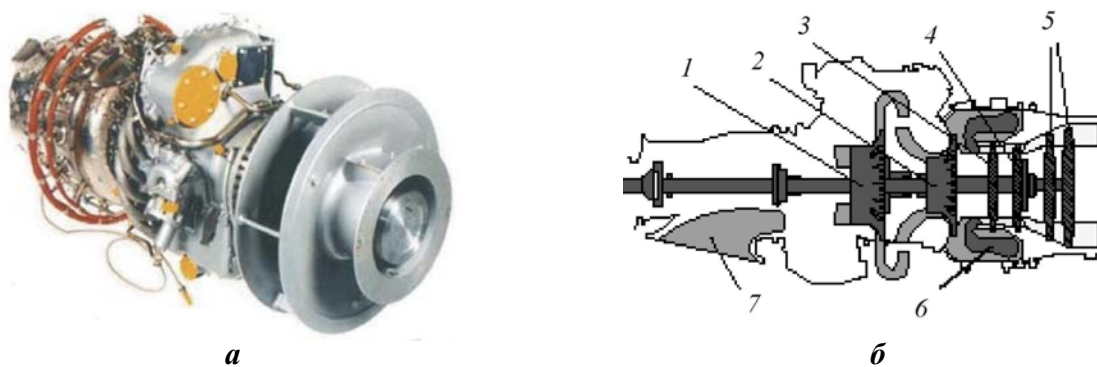


Рис. 3.3.6. Зовнішній вигляд (а) та конструктивна схема (б) двигуна ST18A:

1 – КНТ; 2 – КВТ; 3 – ТВТ; 4 – ТНТ; 5 – СТ; 6 – КЗ; 7 – підведення повітря

Таблиця 3.3.4. Характеристики двигунів ST18A, ST30 та ST40

Параметри	ST18A	ST30	ST40
Номінальна потужність, кВт	1961	3340	4039
ККД, %	30,2	32	33,1
Витрата робочого тіла, кг/с	7,97	13,0	13,9
Міра підвищення тиску	14,0	16,9	
Температура газу за ГТД, К	805	786	817
Частота обертання силової турбіни, об/хв	18900	14875	
Маса, кг	350	500	525
Габарити, м	1,53×0,66×0,81	1,65×0,66×0,97	

Турбомашинна група містить у собі три незалежних роторних пристрої, вали яких розташовані співвісно. Компресори низького і високого тисків виконані одноступінчастими відцентровими. Кожний з них приводиться в обертання одноступінчастою осьовою турбіною. Потужність двоступінчастої силової турбіни відводиться від двигуна з боку компресора.

Камера згоряння – протитокова, кільцева, оснащена 14-ма паливними форсунками та одним іскровим запальником.

Двигун обладнаний вбудованим редуктором, який знижує частоту обертання вихідного вала до необхідного споживачу значення. Повітря всередину двигуна попадає через радіальний вхідний пристрій. Він пристосований для роботи як на рідкому, так і на газоподібному паливі. Виробляється з 1995 р.

Двигуни ST30 та ST40

Двокаскадний з вільною силовою турбіною **двигун ST30** був отриманий шляхом конвертування з авіаційного турбогвинтового PW150A (див. табл. 3.3.4).

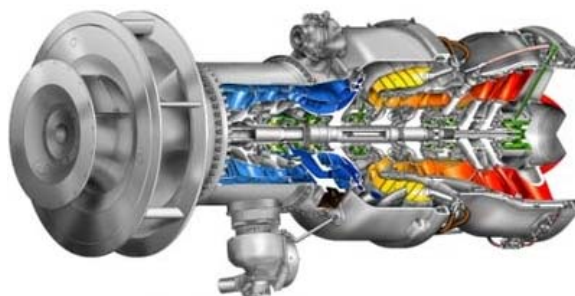
Турбомашинна група містить у собі три незалежних роторних пристрої, вали яких розташовані співвісно. Компресор низького тиску виконаний осьовим, триступінчастим; за ним розміщений одноступінчастий відцентровий КВТ. Кожний з компресорів приводиться в обертання одноступінчастою осьовою турбіною. Потужність, що передається споживачу, генерується двоступінчастою силовою турбіною та відводиться від двигуна з боку компресора.

Камера згоряння – протитокова, кільцева, оснащена 12-ма паливними форсунками та одним іскровим запальником.

Двигун обладнується вбудованим редуктором, що знижує частоту обертання вихідного вала до необхідного споживачу значення. Повітря всередину двигуна попадає через радіальний вхідний пристрій. Він пристосований для роботи як на рідкому, так і на газоподібному паливі.

Удосконаленою версією ST30 є **двигун ST40** (рис. 3.3.7). Утилізація тепла відпрацьованих газів дає можливість генерувати до 9,3 т/год насиченої пари тиском 1 МПа. Виробляється з 1999 р.

Рис. 3.3.7. Двигун ST40



3.4. "Vericor Power Systems Inc." (США)

	<i>Повне найменування:</i> "Vericor Power Systems Incorporated". <i>Штаб-квартира:</i> м. Альфаретта, штат Джорджія, США.

Відомості про компанію

Історія компанії ведеться з 1916 р., коли у м. Вільямспорт (графство Лайкомінг, штат Пенсільванія) було засноване невелике підприємство **"Lycoming Manufacturing Company"** з виробництва швейних машин. Це підприємство незабаром розширило свій бізнес за рахунок виготовлення велосипедів.

Відразу ж після закінчення Першої Світової війни "Lycoming Mfg. Co." починає займатися виробництвом автомобільних двигунів та через певний час стає головним постачальником цієї продукції для декількох десятків виробників, у т. ч. і для "Auburn Manufacturing Co.", яка входила до складу корпорації Еррета Корда "Cord Corp." та випускала автомобілі торгових марок "Auburn", "Cord" і "Duesenberg". У 1929 р. "Lycoming Mfg. Co." також увійшла до складу цієї корпорації, після чого була об'єднана зі "Spencer Heater Co." й перейменована на **"Lycoming-Spencer Manufacturing Company"**. Незадовго перед цим компанія виготовила свій перший авіаційний двигун – 9-циліндровий радіальний R-680, який виявився дуже вдалим і широко застосовувався в малій авіації. Протягом 20 років його було випущено більше 25 тис. од.

У 1937 р. Еррет Корд відокремив підприємства, що входили до його корпорації та відносилися до авіаційної промисловості, в єдиний конгломерат – компанію "Aviation Corp." ("AVCO"). Унаслідок цього "Lycoming-Spencer Mfg. Co." у 1939 р. була перейменована на **"AVCO Lycoming Company"**. (Виробництво автомобільних двигунів уже на той час було завершено.) У цей же період підприємство орендує державний завод у м. Стратфорд (штат Коннектикут), де організовує за ліцензією виробництво радіальних поршневих двигунів конструкції Райта.

Наприкінці 50-х років завод у Стратфорді переобладнаний на випуск турбовальних двигунів **T53**, розроблених Ансельмом Францем (рис. 3.4.1)*. Із цього моменту виробництво поршневих і газотурбінних двигунів компанією велося різними лініями: поршневі випускалися базовим заводом у Вільямс-порті, газотурбінні – заводом у Стратфорді.



Рис. 3.4.1. Ансельм Франц (1990–1994)

Компанія "AVCO Lycoming Co." у 60-х роках здобуває невелике підприємство в м. Грінвілл (штат Південна Кароліна), де організовує виготовлення допоміжного газотурбінного встаткування. У цей же період компанія починає виробництво більш потужного турбовального двигуна **T55**.

Наприкінці 60-х років "AVCO Lycoming Co." вперше починає спеціалізуватися на випуску суднових та промислових газотурбінних агрегатів. На базі авіаційних T53 і T55 створюється нове сімейство двигунів "TF", призначених для стаціонарних назем-

них установок, кораблів, локомотивів, автомобілів. При створенні нового сімейства без істотних змін використовувалися турбіни і компресори базових ГТД. Редуктори та вихідні вали виконувалися залежно від вимог споживача. Система приводу допоміжних механізмів була також перероблена. Уся масляна система, включаючи бак, установлювалася безпосередньо на двигунах. Крім того, на ГТД установлювалися фільтр-глушник на вході повітря, глушник випуску та пристрій для промивання лопаток водою. Для підвищення тривалості роботи двигунів їхня потужність була знижена на 25...30 % порівняно з базовими ГТД. Також були змінені деякі матеріали. Наприклад, для вхідного патрубку компресора замість магнієвого сплаву використовувався алюміній; перші ряди лопаток компресора замість алюмінію були виготовлені з нержавіючої сталі.

Авіаційний T53 послужив прототипом для промислового двигуна **TF14** потужністю 1,0 МВт, а T55 – для двигуна **TF25** потужністю 1,9 МВт. Крім того, на базі T55 був створений судновий двигун **TF20**, який, на відміну від TF25,

* Ансельм Франц – австрійський інженер, у роки Другої Світової війни керівник газотурбінного відділення компанії "Junkers Flugzeug und Motorenwerke", створювач першого у світі ТРД з осьовим компресором – "Jumo 004", який установлювався з липня 1942 р. на винищувачах Me262 компанії "Messerschmitt AG", першому в світі реактивному бомбардувальнику "Arado 234" та деяких інших моделях. (Усього "Jumo 004" різних модифікацій виготовлено майже 8000 од.) Після війни переїхав до США, якийсь час працював консультантом у Департаменті оборони, у 1951 р. почав працювати на "AVCO Lycoming Co.". Створений ним двигун T53 став одним з найбільш відомих турбовальних ГТД в історії авіації, який використовувався як привід серійних бойових вертольотів UH-1 "Huey" та AH-1 "Cobra" компанії "Bell Aircraft". Успішно застосовувався також і наступний турбовальний двигун А. Франца – T55. У другій половині 60-х років А. Франц приступив до створення танкового ГТД, який пізніше одержав найменування AGT1500. Конструктор вийшов на пенсію у 1968 р. з посади віце-президента "AVCO Lycoming Co.".

мав меншу температуру газу перед турбіною, а внаслідок цього менші ККД та потужність (1,5 МВт).

З 1964 р. "AVCO Lycoming Co." веде роботи зі створення танкового двигуна **AGT1500** потужністю 1,1 МВт (1500 к. с.). Починаючи з 1980 р. AGT1500 встановлюється на серійних американських танках M1 "Abrams".

У другій половині 70-х років компанія розвиває лінію двигунів "TF" – розроблюються суднові ГТД **TF35** потужністю 2,6 МВт та **TF40** потужністю 3,0 МВт. Перші TF40 почали поставлятися американському ВМФ у 1976 р. У 1978 р. з'являється його промислова модифікація. Випускалася також здвоєна версія двигуна, що мала назву **TF80** і потужність 6,0 МВт.

На початку 70-х років "AVCO Lycoming Co." на базі T55 створює двокаскадний турбовентиляторний двигун **ALF502**, який відрізнявся великою мірою двоконтурності та високою економічністю. Цей двигун у 70–80-х роках установлювався на пасажирських лайнерах HS146 англійської компанії "Hawker Siddeley". Для вертольотів фірм "Eurocopter" та "Bell" підприємство в цей період виготовляє турбовальний двигун **LTS101** потужністю 460...665 кВт. Випускалася також його турбогвинтова версія **LTP101**.

У галузі поршневого двигунобудування найбільш успішним післявоєнним продуктом "AVCO Lycoming Co." стала серія 4- та 6-циліндрових двигунів з повітряним охолодженням для авіації загального призначення. Найвідомішими з них є 4-циліндрові O-235 та O-360, а також 6-циліндровий O-540. Значна кількість легких літальних апаратів у США на сьогодні приводяться різними модифікаціями цих двигунів потужністю 75...270 кВт. Серед інших представників цієї серії треба зазначити базову 4-циліндрову модель O-320, 6-циліндрову O-580 та 8-циліндрову O-720, а також удосконалений двигун TIGO-541, що розвиває потужність 335 кВт. Необхідно відзначити, що за свою історію завод у Вільямспорті виготовив більше 325 тис. авіаційних поршневих двигунів.

У 1985 р. починається серійне виробництво наступного суднового газотурбінного двигуна компанії **TF15** потужністю 1,1 МВт та ККД 28 %.

У 1986 р. "AVCO Lycoming Co." разом з "AVCO" переходить у власність компанії "Textron Inc." і в наступному році змінює свою назву на "**Textron Lycoming Company**".

У 1996 р. "Textron Inc." продав газотурбінне відділення "Textron Lycoming Co." під найменуванням "**Lycoming Turbine Engine Company**" корпорації "AlliedSignal Inc."*. Незабаром після цього заводи в Стратфорді та Грінвіллі закриваються, а виробництво ГТД переноситься на фабрику "AlliedSignal Inc." у м. Фенікс (штат Аризона). Приблизно 1200 працівників підприємства при цьому були звільнені або переведені на нове місце.

* Частина компанії, що залишилася, у 2002 р. була перейменована на "Lycoming Engines Company". У даний час займається головним чином виробництвом поршневих двигунів для малої авіації, вертольотів і літаків вищого пілотажу, обслуговуванням, ремонтом та відновленням раніше випущених двигунів.

В історії газотурбінного дивізіону "AlliedSignal Inc." 1998 рік був відзначений закінченням робіт над новим судновим двигуном **TF50** потужністю 3,8 МВт. У 1999 р. з'являється його промислова модифікація **ASE50**. Необхідно відзначити, що крім "лайкомінговських" двигунів цей дивізіон займався також виробництвом промислового ГТД **ASE8** потужністю 500 кВт, серії авіаційних турбовентиляторних двигунів та допоміжних силових установок.

У 1999 р. "AlliedSignal Inc." за 15 млрд дол. здобуває компанію "Honeywell Inc.", після чого привласнює її назву, більш відому в світі бізнесу. Восени того ж року нова корпорація "Honeywell International, Inc." на базі свого газотурбінного підрозділу створює спільне з німецькою фірмою "MTU Munchen GmbH" (з 2000 р. – "MTU Aero Engines GmbH") підприємство з виробництва промислових і суднових ГТА, що одержало найменування "**Vericor Power Systems Incorporated**". Необхідно відзначити, що випуск авіаційних і танкових ГТД залишився за "Honeywell International Inc.".

У 2000 р. штаб-квартира новоствореного підприємства перенесена в передмістя Атланти м. Альфаретта (штат Джорджія)*. У червні 2002 р. "Vericor Power Systems Inc." переходить у повну власність "MTU Aero Engines GmbH"**..

У 2001 р. компанія починає серійне виробництво вдосконаленої версії TF40 – суднового двигуна **ETF40B** потужністю 3,7 МВт та ККД 30 %.

У жовтні 2002 р. "Vericor Power Systems Inc." відкриває своє представництво в м. Нірстайн (Німеччина); у березні 2003 р. відкривається сервісний, ремонтний та тренувальний центр у м. Новий Орлеан (штат Луїзіана).

У 2005 р. "Vericor Power Systems Inc." починає співробітництво з канадською компанією "Standard Aero Energy" (м. Вінніпег), яка стає її виробничим партнером (у т. ч. й у виготовленні ГТА, проведенні експериментальних досліджень та вдосконаленні існуючих конструкцій).

Продукція компанії

Сьогодні діяльність "Vericor Power Systems Inc." зосереджена на виробництві та продажу суднових, енергетичних і привідних ГТА, виконаних на базі конвертованих авіаційних двигунів власної розробки***.

* Адреса підприємства: 500, 3625 Brookside Parkway, Alpharetta, Georgia 30022, U.S.A.

** Німецька авіадвигунобудівна компанія "MTU Aero Engines GmbH" (з 2005 р. – "MTU Aero Engines Holding AG") була заснована в 1913 р. як "Rapp Motorenwerke AG" і з 1917 по 1960 р. входила до складу корпорації "BMW AG". З 1960 по 1969 р. належала компанії "M.A.N. AG". У 1969 р. на її основі було створено спільне підприємство "MTU München GmbH", у 1985 р. повністю перейшла до "Daimler Benz AG". У 2004 р. підприємство було продане американській компанії "Kohlberg Kravis Roberts", яка у свою чергу в 2005 р. розпродала вроздріб увесь свій пакет акцій. Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції становив 2,2 млрд євро. Загальна чисельність працівників компанії (за даними на 2006 р.) – більше 8000 чол.

*** Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.vericor.com>.

Можна виділити такі **суднові агрегати**:

TF40 та ETF40B потужністю відповідно 3,0 і 3,7 МВт, що мають ККД 28 та 30 %;

TF50A потужністю 3,8 МВт і ККД 30 %.

До **енергетичних і привідних ГТА** компанії належать:

VPS1 (ASE8) потужністю 520 кВт і ККД 21 %;

VPS3 (ASE40) та VPS4 (ASE50) потужністю відповідно 3,2 і 3,7 МВт, що мають ККД 28 та 30 %.

Букви "VPS" у найменуванні ГТД означають приналежність до компанії "Vericor Power Systems Inc.". Букви "ASE", якими раніше маркірувалися двигуни, означали "AlliedSignal Engine".

Компанія здійснює сервісне обслуговування, ремонтні та відбудовні роботи виготовлених газотурбінних агрегатів, поставляє запасні частини, проводить підготовку обслуговуючого персоналу.

Пекіджування промислових ГТА виконується партнером компанії "Mendenhall Technical Services, Inc.". Необхідно відзначити, що на азіатському ринку продукцію підприємства реалізує японська компанія "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається "Vericor Power Systems Inc."

Двигун VPS1 (ASE8)

Промисловий двигун VPS1 (рис. 3.4.2) був створений конструкторами підприємства "Garrett Corp." ("AiResearch Division") на початку 70-х років. Спочатку мав назву IE831. (У 1980 р. почалося виробництво його суднової модифікації IM831.) У середині 90-х років перейменований на ASE8 і у 2003 р. одержує свою нинішню назву.

Двигун VPS1 може комплектуватися камерою згоряння, що здатна працювати на низькокалорійних видах палива, а також на відходах виробництва лакофарбової та хімічної промисловості (на так званих "Volatile Organic Compounds" – "летучих органічних речовинах").

Для забезпечення спільної роботи із чотириполюсними генераторами струму частотою 50 і 60 Гц двигун оснащений вбудованим планетарним редуктором, який знижує частоту обертання ротора до 1500 або 1800 об/хв (рис. 20Д).



Рис. 3.4.2. Двигун VPS1 (ASE8)

На базі VPS1 є можливим створення когенераційних установок. Установлений на газовипуску ГТД теплоутилізаційний контур здатний генерувати до двох тонн пари в годину без допалювання палива в котлі-утилізаторі. З допалюванням, при якому температура газів зростає до 1150 К, продуктивність контуру збільшується до 4,5 т/год.

За даними на 2006 р. усього було виготовлено більше 900 двигунів VPS1 (ASE8). З них близько 500 дотепер використовуються у всьому світі як привідні й енергетичні. Характеристики ГТА з двигуном VPS1 наведені нижче:

	Енергетичний ГТА		Привідний ГТА	
Номінальна потужність *, кВт	514		525	
ККД, %	21,3		21,8	
Витрата робочого тіла, кг/с			3,5	
Міра підвищення тиску	10,4		10,5	
Температура газу, К:				
початкова			1194	
за ГТД	763		760	
Маса, кг			795	
Габарити, м			1,6×1,0×0,9	

Суднові двигуни сімейства "TF"

Перші представники сімейства "TF" судових ГТД були створені наприкінці 60-х років шляхом конвертування авіаційних турбовальних двигунів T53 та T55 (рис. 3.4.3). На сьогодні випускаються три основні моделі – TF40, TF50A та ETF40B (табл. 3.4.1). Двигун TF40 виробляється з 1976 р., TF50A – з 1998 р., ETF40B – з 2001 р.

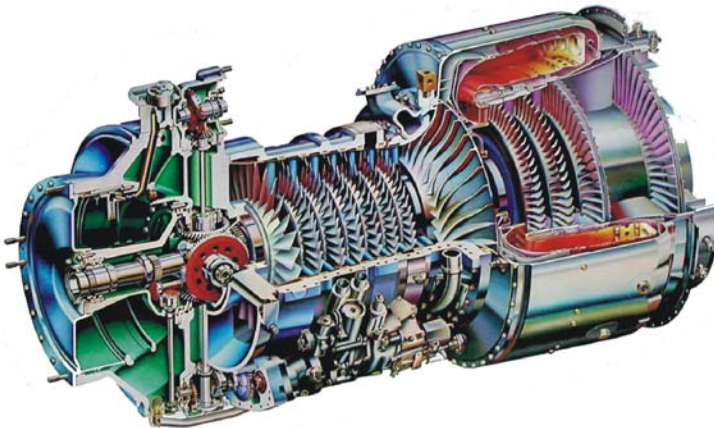


Рис. 3.4.3. Базовий двигун T55-L-712

* Потужність та ККД енергетичного ГТА наведені на клеммах генератора, привідного – на вихідному валу двигуна.

Таблиця 3.4.1. Характеристики двигунів сімейства "TF"

Параметри	Суднові			Енергетичні		Привідні	
	TF40	ETF40B	TF50A	VPS3	VPS4	VPS3	VPS4
Номінальна потужність, МВт	2,98	3,70	3,80	3,11	3,57	3,29	3,78
ККД, %	28,3	30,3	30,5	26,9	29,1	28,3	30,6
Витрата робочого тіла, кг/с	12,3	13,5	13,6	12,7	14,0	12,8	14,1
Міра підвищення тиску	8,4	10,2		8,8	10,2	8,8	10,2
Температура газу, К:							
початкова	1375	—	1385	1378	1387	1378	1387
за ГТД	843	879	871	874	838	871	835
Частота обертання силової турбіни, об/хв	15400		16000	15400			
Маса, т	0,60	0,68	0,71	0,60	0,66	0,60	0,66
Довжина, м	1,3		1,4	1,3	1,6	1,3	1,6
Ширина, м	0,9			0,8	0,9	0,8	0,9
Висота, м	1,0			0,9	1,0	0,9	1,0

Двигуни сімейства "TF" (рис. 3.4.4) виконані двовальними за простою тепловою схемою. Однокаскадний компресор має сім осьових та один відцентровий ступені. Камера згоряння – кільцева, розташована навколо корпусу турбіни. Турбіна компресора та вільна силова турбіна – осьові, двоступінчасті. Відбирання потужності від ГТД здійснюється з його холодної сторони, для чого вал силової турбіни проходить усередині порожнього вала турбокомпресора. Підведення повітря до компресора – радіальне. Витрата масла для двигунів не перевищує 0,0378 л/год.

Найдавніший із двигунів TF40 створювався шляхом форсування попереднього представника сімейства TF35 на більшу потужність із відповідним збільшенням витрати повітря.

Сучасні замовлення на постачання нових ETF40B для кораблів флоту США становлять кілька десятків одиниць. Використовуються вони головним чином на десантних кораблях на повітряній подушці (так званий клас кораблів "LCAC" – "Landing Craft Air Cushion"). У багатьох випадках цими двигунами замінюються раніше встановлені й відпрацьовані TF40.

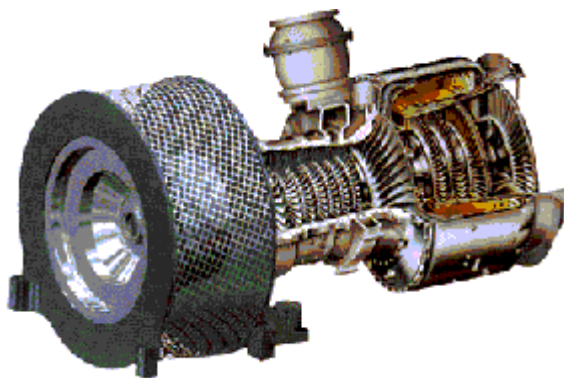


Рис. 3.4.4. Двигун сімейства "TF"

У даний час ресурс ETF40B до капітального ремонту становить 2000 год. У рамках програми "SLEP" ("Service Life Extension Program") з травня 2005 р. військово-морське відомство США фінансує роботи з удосконалення двигуна з метою підвищення цього ресурсу до 4000 год.

Суднові двигуни TF40, TF50A та ETF40B можуть поставлятися споживачу й у здвоєних версіях. У такому випадку вони мають назви **TF80** та **TF100**. Потужність від двох ГТД зводиться за допомогою редуктора. Практично не відрізняється ККД створеного в такий спосіб нового агрегату від ККД вихідних двигунів.

Характерною особливістю двигунів сімейства "TF" є модульність конструкції, внаслідок чого кожний з основних елементів ГТД (редуктор, коробка приводів, газогенератор, силова турбіна, фільтр-глушник та масляний бак) являє собою незалежний окремий вузол. Це дозволяє здійснювати швидку заміну окремих модулів на стоянці судна. Унаслідок малої маси та невеликих розмірів кожного модуля демонтаж та заміна його проходять без утруднень.

Необхідно відзначити, що основними споживачами суднових двигунів компанії в цей час є швидкохідні патрульні й торпедні катери, корвети, кораблі на повітряній подушці, швидкісні пороми та яхти; також вони часто застосовуються у складі енергоустановок морських бурових платформ. Двигуни сімейства "TF" однаково ефективно працюють з різними типами суднових рушіїв, включаючи гвинти регульованого і фіксованого кроку, водомети та (для кораблів на повітряній подушці) повітряні гвинти. Мала маса й розміри двигунів дозволяють вдало компонувати їх з іншими елементами суднових енергетичних установок у машинних відділеннях різноманітної конфігурації. Ці ГТД також добре поєднуються з дизельними або іншими газотурбінними двигунами у складі комбінованих установок типу "CODAG", "CODOG" або "COGAG". У даний час в експлуатації знаходиться більше 400 представників сімейства "TF".

До складу комплектуваних компанією суднових газотурбінних агрегатів, крім самого ГТД, входять: редуктор, система керування типу "FADEC", система запуску, паливна система, місцева операційна панель, повітропідвідний та газовипускний пристрої, вхідний повітряний фільтр, пожежна система, тепло- і звукоізолюючий кожух, система промивання, амортизатори, поєднувальні трубопроводи, муфти й інструменти, а також необхідні монтажні пристосування, креслення та технічні посібники.

Двигуни VPS3 (ASE40) та VPS4 (ASE50)

Двигуни VPS3 та VPS4, які до 2003 р. мали назви ASE40 і ASE50, являють собою промислові версії суднових ГТД TF40 та TF50A. Двигун VPS3 виробляється з 1978 р., VPS4 – з 1999 р. На базі цих ГТД комплектуються агрегати енергетичного та привідного призначення (див. табл. 3.4.1).

При стандартній комплектації до складу енергетичного ГТА, крім самого ГТД

(рис. 21Д), входять: редуктор (знижує частоту обертання ротора до 1500 або 1800 об/хв), чотириполюсний синхронний генератор трифазного перемінного струму частотою 50 або 60 Гц, паливна система (для роботи на природному газі), система змащення (з водяним маслоохолоджувачем), електрична або гідравлічна система запуску, рама, тепло- і звукоізолюючий кожух із системою вентиляції, повітропідвідний пристрій компанії "Allen Bradley plc" з очисними фільтрами, газовипускний пристрій. Як додаткові опції постачання розглядаються: система промивання ГТД, паливна система для роботи на рідкому паливі, дожимний компресор природного газу, система впорскування води в камеру згоряння для зниження утворення оксидів азоту, повітряний маслоохолоджувач, самоочисний фільтр, пункт дистанційного керування, газовипускна шахта, глушник шуму на газовипуску, котел-утилізатор, додаткове встаткування, яке забезпечує роботу електрогенератора.

На базі VPS3 та VPS4 є можливим створення когенераційних установок. Установлений на газовипуску ГТД теплоутилізаційний контур здатний генерувати до 10 тонн пари в годину без допалювання палива в котлі-утилізаторі. З допалюванням, при якому температура газів зростає до 1150 К, продуктивність контуру збільшується до 18 т/год.

Енергетичними агрегатами з VPS3 та VPS4 можуть також оснащуватися судна з електроприводом. У цьому випадку вони мають найменування **VPS3M** та **VPS4M**. Потужність останнього становить 2800 кВт із ККД 26,4 %. Здвоєна модифікація цього ГТД потужністю 5600 кВт і ККД 26,4 % називається **VPS8M**.

За даними на 2006 р. в експлуатації знаходилося більше 40 агрегатів з VPS3 (ASE40). Основні його споживачі знаходяться в таких країнах, як Японія, Німеччина і Пакистан.

3.5. "Honeywell International, Inc." (США)

Honeywell	<i>Повне найменування:</i> "Honeywell International, Incorporated". <i>Штаб-квартира:</i> м. Моррістаун, штат Нью-Джерсі, США. <i>Чисельність працюючих:</i> 116 тис. чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

На сьогодні "Honeywell International, Inc." – одна з провідних американських багатонаціональних корпорацій, основною спеціалізацією якої є виробництво електронних систем керування та автоматичного встаткування. Вона є головним постачальником інженерного обслуговування й авіаційної електроніки для "NASA", компанії "Boeing" та Департаменту оборони США.

Компанія під назвою **"Honeywell Heating Specialty Company"** була заснована у 1906 р. у м. Вабаш (штат Індіана) Марком Ханівеллом, новатором у галузі автоматичних технологій. У 1927 р. підприємство об'єднується з **"Minneapolis Heat Regulator Company"** Вільяма Світта (м. Міннеаполіс, штат Міннесота), що була створена у 1886 р. і спеціалізувалася на виробництві термостатів, електродвигунів та приладів керування. Новостворена компанія одержала найменування **"Minneapolis-Honeywell Regulator Company"**.

Величезний внесок у розвиток підприємства зробив її президент і голова правління у 1961–1978 рр. Джеймз Бінгер. Під його керівництвом **"Minneapolis-Honeywell Regulator Co."** почала спеціалізуватися на виробництві комп'ютерів, фотографічного встаткування, аерокосмічної та оборонної техніки. Із середини 60-х років фірма входила до числа шести провідних американських виробників комп'ютерної техніки. Ця галузь ще більше розширилася в 1970 р. після купівлі аналогічного підрозділу в **"General Electric Co."**. У ці роки масово випускалися і користувалися великим попитом фотографічні камери марки **"Pentax"**. Під час війни у В'єтнамі підприємство у великій кількості виготовляло касетні бомби, напалм, протипіхотні міни, системи наведення ракет.

У 1963 р. назва компанії змінилася на **"Honeywell Incorporated"**. У 1991 р. комп'ютерний підрозділ **"Honeywell Inc."** був проданий міжнародній корпорації **"Bull"**.

Важлива подія в історії підприємства відбулася у 1999 р., коли **"Honeywell Inc."** перейшла в повну власність іншої американської корпорації **"AlliedSignal Inc."**. Сума угоди оцінювалася в 15 млрд дол. Незважаючи на специфіку об'єднання, новостворена компанія вибрала для себе ім'я **"Honeywell"**, більш відоме у світі бізнесу – **"Honeywell International, Incorporated"**. Штаб-квартира компанії розташовувалася в м. Моррістаун (штат Нью-Джерсі), там, де раніше знаходилася штаб-квартира **"AlliedSignal Inc."**. (Штаб-квартира **"Honeywell Inc."** до 1999 р. розміщувалася в м. Міннеаполіс.)

На момент об'єднання **"AlliedSignal Inc."** була однією з провідних американських аерокосмічних, автомобілебудівних і хімічних компаній, яка утворилася у вересні 1985 р. унаслідок злиття **"Signal Oil Inc."** та **"Allied Chemical & Dye Corp."**. Аерокосмічний напрямок почав розвиватися з 1968 р., коли до складу **"Signal Oil Inc."** увійшла компанія **"Garrett Corp."**. Після цього даний напрямок стає провідним.

У 1996 р. **"AlliedSignal Inc."** купує в **"Textron Inc."** її газотурбобудівний підрозділ **"Lycoming Turbine Engine Company"**, що був розташований у мм. Стратфорд (штат Коннектикут) та Грінвілл (штат Південна Кароліна). Ці заводи незабаром після цього закриваються, а виробництво ГТД переноситься на базовий завод **"Garrett Corp."** у м. Фенікс (штат Аризона).

У 1999 р. **"Honeywell International, Inc."** на базі свого газотурбінного підрозділу створює спільне з німецькою фірмою **"MTU Munchen GmbH"** (з 2000 р. –

"MTU Aero Engines GmbH") підприємство з виробництва промислових та суднових газотурбінних агрегатів, що одержало найменування "Vericor Power Systems Inc.". У червні 2002 р. "Vericor Power Systems Inc." переходить у повну власність "MTU Aero Engines GmbH". Необхідно відзначити, що випуск авіаційних і танкових ГТД залишився за "Honeywell International, Inc.".

У 2001 р. "General Electric Co." спробувала купити "Honeywell International, Inc.", яка на той час оцінювалася в 21 млрд дол. Угода була схвалена американським урядом, проте так і не відбулася через опір Європейської антимонopolної комісії.

У цей час до складу "Honeywell International, Inc." входять чотири основні підрозділи:

аерокосмічний (допоміжні силові установки, турбовентиляторні, повітряно-реактивні й газотурбінні тягові двигуни, системи оповіщення, керування польотом, забезпечення життєдіяльності);

автоматичних і керуючих систем (системи та послуги для будинків, автоматика для будинків, промислова автоматика, сенсорне встаткування);

спеціальних матеріалів (матеріали для електронних приладів, полімери і матеріали для хімічної промисловості);

систем для енергетики й транспорту (агрегати турбонаддування, гальмові системи вантажних автомобілів, теплові та енергетичні установки)*.

Сумарний обсяг реалізованої у 2006 р. продукції склав 31,4 млрд дол.

Продукція компанії

Підрозділ "Honeywell Aerospace Division" на заводі в Аризоні** серійно виготовляє:

турбовальні двигуни T53-L-138 та T53-L-703 потужністю 935 і 1120 кВт, T55-L-714A потужністю 2665 кВт, для легких вертольотів – LTS101 потужністю 485...560 кВт;

турбовентиляторні двигуни сімейства TFE731 та HTF7000 тягою 2000...3400 кгс.

Разом із "General Electric Co." в рамках підприємства "CFE Company" виробляються турбовентиляторні CFE738 тягою до 2720 кгс.

Основною наземною газотурбінною продукцією "Honeywell Aerospace Division" є транспортні двигуни AGT1500 потужністю 1120 кВт, які застосовуються на бойових танках M1 "Abrams" сухопутних сил США та інших країн. Разом із "General Electric Co." в цей час ведеться створення нового танкового двигуна LV100-5***.

Заводом компанії у м. Альбукерк (штат Нью-Мексико) випускаються мо-

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.honeywell.com>.

** Адреса підприємства: 29003, Phoenix, AZ 85038, U.S.A.

*** Див. опис продукції "General Electric Co.".

більші газотурбінні енергетичні агрегати "Parallon 75" одиничною потужністю 75 кВт.

Завод у м. Торранс (штат Каліфорнія) спеціалізується на виробництві турбонагнітачів для двигунів автомобілів, вантажівок, автобусів, сільськогосподарської техніки, дизельних локомотивів, а також різноманітної техніки, що використовується в суднобудуванні, гірничодобувній, авіаційній та електроенергетичній галузях промисловості.

Двигун AGT1500

Двигун AGT1500 (рис. 3.5.1) спеціально розроблявся газотурбінним підрозділом "AVCO Lycoming Co." (м. Стратфорд, штат Коннектикут)* для приводу бойового американського танка М1 "Abrams". Роботи фінансувалися командуванням танкових і автомобільних військ Департаменту оборони США. Основними субпідрядниками виступили фірми "Unison Industries", "Globe Motors", "General Motors Corp." ("Allison Transmission Division"), "Solar Turbines Inc." та "Donaldson Co. Inc.".

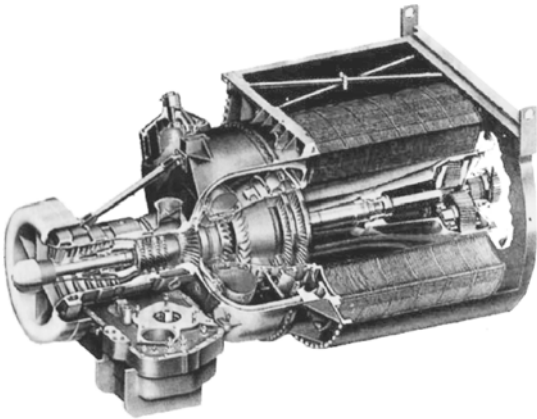


Рис. 3.5.1. Двигун AGT1500

Двигун виконаний тривальним за схемою з регенерацією тепла відпрацьованих газів (рис. 3.5.2). Підведення повітря – вертикальне, відбувається через вмонтований у корпус танка двоступінчастий повітряний фільтр (поставляється фірмою "Donaldson Co. Inc."), який складається з інерційного сепаратора часток та бар'єрного фільтра. У підвідному пристрої здійснюється поворот потоку

повітря на 90° з метою забезпечення його осового входу до компресора.

Компресор низького тиску – осовий, 5-ступінчастий, має форму проточної частини з постійним зовнішнім діаметром. Вхідний напрямний апарат виконаний регульованим. Широкохордові робочі лопатки 1-го ступеня обандажені в середньому перетині. Корпус КНТ має горизонтальне рознімання і складається з двох частин.

Компресор високого тиску – осевідцентровий, складається із чотирьох осових та одного відцентрового ступенів. Його особливістю є обертання ротора у бік, протилежний напрямку обертання ротора КНТ. Відцентрове колесо виконане зі звичайної сталі, осові ступені – з високолегованої нержаві-

* Див. також інформацію про "Vericor Power Systems Inc.".

ючої сталі. Корпус КВТ містить у собі чотири припаяних напрямних апарати, останній з яких має подвійний ряд напрямних лопаток для запобігання якого-небудь завихрення потоку перед відцентровим ступенем.

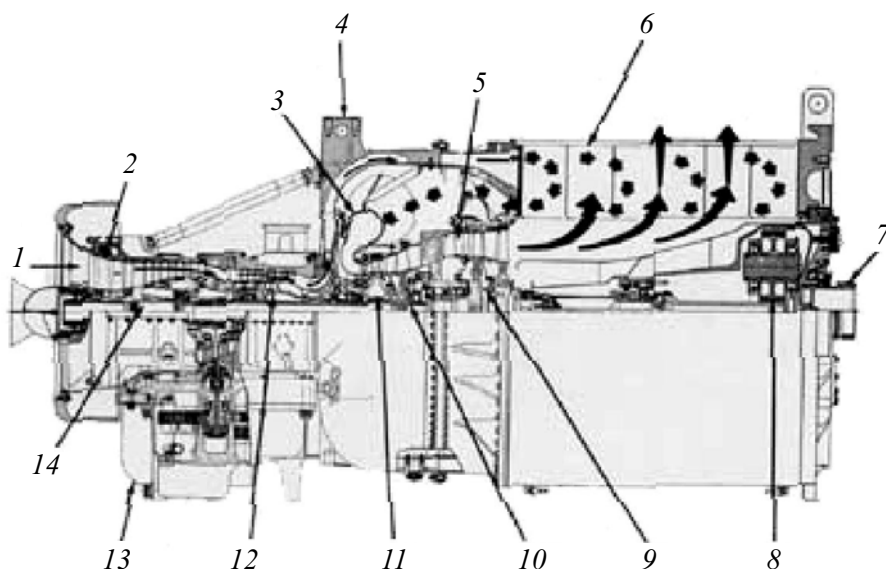


Рис. 3.5.2. Подовжній переріз двигуна AGT1500:

1 – вхід повітря; 2 – поворотний вхідний напрямний апарат; 3 – КЗ; 4 – корпус дифузора; 5 – поворотний сопловий апарат 1-го ступеня ТВТ; 6 – регенератор; 7 – вихідний вал; 8 – редуктор; 9 – СТ; 10 – ТНТ; 11 – ТВТ; 12 – КВТ; 13 – коробка приводів; 14 – КНТ

Стиснене повітря виходить із КВТ у радіальному напрямку і розвертається на 90° у каналах горизонтально розташованого пластинчастого регенератора (поставляється "Solar Turbines Inc."). Останній має барабанно-циліндричну форму, коаксіально розташований навколо вихідного вала ГТД і складається з кільцевих пластин, в яких методом гідравлічного пресування створені отвори, бортування та фігурне гофрирування теплообмінних поверхонь (рис. 3.5.3). Кільцеві пластини з'єднані в циліндричну барабанну матрицю електронно-променевим зварюванням. Як матеріал для теплообмінних поверхонь обраний сплав IN625. Міра регенерації при роботі ГТД на режимі 70 % від номінального складає 0,72.

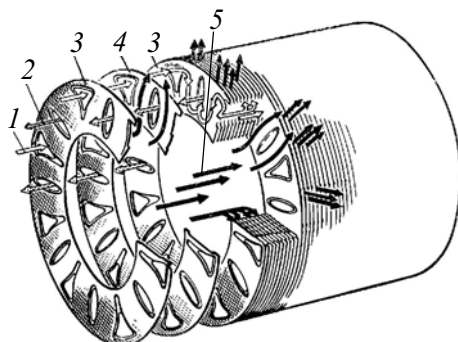


Рис. 3.5.3. Схема регенератора двигуна AGT1500:

1 – холодне повітря; 2 – підігріте у регенераторі повітря; 3, 4 – канали для проходження повітря та газів відповідно; 5 – гарячий газ

Кільцева протитокова камера згоряння розташована над турбінною частиною і містить у собі паливний пристрій та електроіскровий запальник (поставляються компанією "Unison Industries"). Прикріплена болтами в цій частині корпусу кришка забезпечує легкий доступ до жарової труби при огляді та ремонті.

Приводом КВТ виступає одноступінчаста, охолоджувана осьова турбіна. Диск ТВТ виготовлений зі сплаву "Waspaloy". Охолодне компресорне повітря надходить усередину хвостовиків 28 робочих лопаток і виходить у проточну частину крізь отвори у вихідній кромці.

Одноступінчаста, неохолоджувана осьова ТНТ є приводом КНТ. Поєднувальний вал проходить усередині порожнього вала ТКВТ. Разом зі своїми верхніми і нижніми бандажними полицями відлиті 23 соплові лопатки.

Відведення потужності від двоступінчастої неохолоджуваної силової турбіни здійснюється з боку гарячої частини двигуна. Одноступінчастий планетарний редуктор знижує частоту обертання вихідного вала до 3000 об/хв. Робочі лопатки обох ступенів обандажені. Поворотний сопловий апарат 1-го ступеня регулює генеровану турбіною потужність, включаючи створення гальмової потужності, що є важливим для транспортного ГТД. Гальмовий момент на валу силової турбіни виникає за рахунок розвороту соплового апарата в положення, при якому потік газу на виході з нього спрямований у спинку робочих лопаток. Цей розворот виконує водій машини в необхідний момент часу. Процес гальмування супроводжується деяким зростанням (приблизно на 60...100 К) температури газу на лопатках турбіни, що відбувається внаслідок порушення обтікання профілів лопаток та гальмування самого потоку газу. При експлуатації гальмові режими складають приблизно 5...20 % від загального часу роботи двигуна.

Основні технічні характеристики AGT1500 становлять: номінальна потужність – 1120 кВт, ККД – 28 %, витрата робочого тіла – 5,4 кг/с, міра підвищення тиску – 14,5, міра регенерації – 0,70, температура повітря за КВТ – 727 К, температура повітря за регенератором – 839 К, початкова температура газу – 1466 К, температура газу за ГТД – 772 К, частота обертання ротора КНТ – 40000 об/хв, частота обертання ротора КВТ – 50000 об/хв, частота обертання силової турбіни – 22500 об/хв, частота обертання вихідного вала – 3000 об/хв, крутний момент на вихідному валу – 3754 Н·м, маса – 1134 кг, габарити – 1,69×0,99×0,85 м.

Навішена на ГТД коробка приводів розташовується безпосередньо під корпусом компресора. Відбирання потужності здійснюється від ротора КВТ. До складу навішених допоміжних механізмів входить гідравлічний насос, що забезпечує функціонування систем танка. Привід від двигуна має і безконтактний синхронний генератор перемінного струму, який постачає енергію електричним та електронним системам танка. Потужність генератора – 20 кВт, маса – 24,6 кг. (Крім генератора є також шість акумуляторних батарей ємністю 300 А·год.)

Регулятор подавання палива – гідромеханічний. Паливний насос постав-

ляється фірмою "Globe Motors". Двигун AGT1500 здатний працювати на дизельному паливі, гасі, різновидах моторного газоліну, а також реактивних паливах марок JP-4 та JP-8. Паливо зберігається в шести баках сумарною ємністю 1907 л. Електронна система керування забезпечує необхідну послідовність операцій при запуску двигуна, а також виключає його у випадку перевищення припустимих температур або швидкостей обертання роторів. Стандартною для двигуна, починаючи з модифікації AGT1500A, є система повного цифрового керування і контролю ("FADEC"). Двигун запускається від електростартера, який через коробку приводів розкручує ротор ТКВТ.

Автоматична гідромеханічна трансмісія X-1100-3B "General Motors Corp." ("Allison Transmission Division") забезпечує чотири передачі переднього ходу і дві заднього. Вона складається з гідротрансформатора з автоматичним блокуванням, планетарної коробки передач та безступінчастого гідростатичного механізму повороту. Для зниження температури масла двигуна і трансмісії використовується система охолодження вентиляторного типу. Витрати потужності на систему охолодження при температурі навколишнього повітря +15 °C становлять 37 кВт.

Уже у 1979 р. "AVCO Lycoming Co." почала роботи з удосконалювання AGT1500, зокрема зі збільшення його потужності без істотних змін конструкції. Наприкінці 1991 р. була запропонована модифікація двигуна потужністю 1250 кВт, яка проте реального застосування не одержала. Версія **AGT1500A** (AGT1500 TME) була розроблена для проекту поперечного розміщення ГТД у корпусі танка (так званого "Transverse-Mounted Engine")*.

Необхідно відзначити, що контракт на первинне пророблення конструкції танкового газотурбінного двигуна був отриманий "AVCO Lycoming Co." від Департаменту оборони США ще в 1964 р. Планувалося створення альтернативного приводу для дизельного танка MBT70, що розроблявся у той час. У жовтні 1965 р. укладається новий контракт на виготовлення експериментального зразка такого ГТД. Проте безупинно зростаючі витрати, постійні затримки у виконанні етапів програми та деякі політичні події стали причиною припинення фінансування цього проекту.

У червні 1973 р. "Chrysler Corp." обирає AGT1500 для приводу експериментальної моделі бойового танка XM1. У той же час інша провідна американська корпорація "General Motors Corp." розробляє модель танка з дизельним двигуном AVCR-1360-2 фірми "Teledyne Continental". У результаті проведеного конкурсу в листопаді 1976 р. для серійного переоснащення армії США була обрана конструкція "Chrysler Corp.". Чималу роль при цьому зіграв факт початку серійного виробництва Радянським Союзом газотурбінного танка Т-80.

За результатами серії випробувань, проведених протягом декількох років, Департамент оборони у травні 1979 р. дає згоду на серійний випуск AGT1500,

* У цей час двигун AGT1500 розташовується в корпусі танка подовжньо.

який був розпочатий уже в листопаді того ж року. У січні 1981 р. перший підрозділ, оснащений танками М1 "Abrams", поповнив ряди армії США. Свою назву М1 одержав на честь армійського генерала Крейгтона Абрамса, який командував військами США на заключному етапі війни у В'єтнамі.

У вересні 1981 р. приймається рішення про масове виробництво цих танків. Темпи випуску М1 "Abrams" у 1983 р. досягли значення 60 од. на місяць, у 1984 р. – 70 од. на місяць. Уже у січні 1984 р. "AVCO Lycoming Co." встановив на М1 свій 1000-й двигун. (У листопаді 1988 р. виробляється 7000-й AGT1500, у вересні 1989 р. – 8000-й, у вересні 1990 р. – 9000-й.) Серійний випуск М1 "Abrams", а разом з ним і двигунів AGT1500 продовжувався до 1995 р. Усього на початок 1996 р. було виготовлено 12703 таких ГТД. За цінами 1997 р. вартість одного AGT1500 становила 325...335 тис. дол.

На сьогодні основним танком сухопутних сил і морського корпусу США є М1 "Abrams". У 1986 р. з'явилася його друга модифікація (М1А1), у 1992 р. – третя (М1А2). При масі близько 70 т максимальна швидкість руху становить 72 км/год для М1 і 67 км/год для М1А1 та М1А2. Газотурбінний двигун забезпечує танку розгін з місця до швидкості 30 км/год за 6 с. За даними на 2006 р. було випущено більше 8800 од. перших двох модифікацій.

Танк М1 "Abrams" використовується також збройними силами Австралії, Єгипту, Саудівської Аравії та Кувейту. Деякі країни (Швеція, Греція та ін.) після ряду тестів купівлю танка не здійснили.

Виробництво двигунів AGT1500 велося на заводі "AVCO Lycoming Co." у м. Стратфорд. У 1986 р. "AVCO Lycoming Co." перейшла у власність "Textron Inc.", унаслідок чого змінила свою назву на "Textron Lycoming Co.". У 1996 р. "AlliedSignal Inc." купила в компанії "Textron Inc." її газотурбобудівний підрозділ, після чого завод у Стратфорді був закритий, а лінія виробництва двигунів перенесена в м. Фенікс (штат Аризона). Деякі допоміжні елементи для AGT1500 в цей час виготовляються також на підприємствах "Honeywell International, Inc." у мм. Гріп (штат Південна Кароліна), Анністон (штат Алабама) та Рокі Маунт (штат Північна Кароліна).

Необхідно відзначити, що внаслідок серйозних фінансових утруднень "Chrysler Corp." у березні 1982 р. був змушений продати свій підрозділ, що займався виготовленням продукції оборонного значення ("Defense Products Division"), корпорації "General Dynamics". Випуск М1 "Abrams" ведеться протягом усього цього часу на взятих в оренду державних танкових заводах у мм. Уоррен (штат Мічиган) та Лайме (штат Огайо).

3.6. "Dresser-Rand Company" (США)

	<i>Повне найменування:</i> "Dresser-Rand Company". <i>Штаб-квартира:</i> м. Оулін, штат Нью-Йорк, США. <i>Чисельність працюючих:</i> більше 7300 чол. (1987 р.).

Відомості про компанію

Існуюча на сьогодні компанія "Dresser-Rand Co." є поєднанням творчої спадщини і досвіду багатьох американських та європейських виробників енергетичного встаткування, які в різний час влилися до її складу. Провідними з них можна вважати такі торгові марки, як "Clark", "Dresser", "Ingersoll-Rand", "McGraw-Edison", "Moore", "Terry", "Turbodyne", "Worthington" і "Kongsberg".

Історію компанії варто відраховувати з 1880 р., коли в м. Бельмонт (штат Нью-Йорк) брати Кларк заснували підприємство **"Clark Brothers Company"**, яке займалося виробництвом сільськогосподарського та лісопилного встаткування.

У перші роки ХХ ст. компанія організовує випуск поршневих двигунів для нафтовидобувної промисловості. До 1905 р. головним видом продукції був малооборотний горизонтальний паровий двигун, на зміну якому надалі прийшли газові двигуни типів "Bogoart" і "Corliss", що принесли відомість підприємству.

У 1912 р. пожежа повністю знищила стару фабрику "Clark Brothers Co." у Бельмонті. Замість того щоб її відбудовувати, компанія переїхала в розташоване неподалік місто Оулін (штат Нью-Йорк). Новопобудований завод став основою підприємства, яке існує в цьому місті дотепер.

Період 20–30-х років ознаменувався для компанії подальшим посиленням її ролі в нафтовидобувному бізнесі, що швидко розвивався у той час. У результаті в 1938 р. вона перейшла у власність корпорації "S.R. Dresser Mfg. Co.", якій належала до 1998 р. Найменування компанії при цьому змінилося на **"Dresser Clark Company"**.

Протягом Другої Світової війни підприємство займалося виробництвом дизелів для буксирів і танкерів, випускало кисневе встаткування для військово-повітряних сил США й продовжувало розвивати свою виробничу лінію компресорів та поршневих двигунів. П'ять разів протягом цього часу якість продукції компанії відзначалася урядом.

У 1948 р. "Dresser Clark Co." створює свій перший відцентровий компресор для перекачування газу. У 1956 р. в Оуліні компанія розширює виробничі приміщення й організовує турбобудівний підрозділ ("Turbo Production Division"), який займався випуском компресорів відцентрового типу і привідних ГТД. У 1957 р. "Dresser Clark Co." представляє модель газоперекачувального компресора із частотою обертання ротора 1000 об/хв, який без редуційної передачі приводився поршневим двигуном, що забирав паливо безпосередньо з газової

магістралі. На підприємстві організовується серійне виробництво газоперекачувальних агрегатів.

У 1966 р. у Гаврі (Франція) "Dresser Industries Corp." створює філію, яка випускала поршневі двигуни, відцентрові компресори та насоси, що були розроблені підприємством в Оуліні. До 1970 р. відноситься початок використання компанією "Dresser Clark Co." газогенераторів авіаційних ГТД для комплектування промислових агрегатів, головним чином газоперекачувальних.

У 1972 р. підрозділи компанії, що займалися випуском турбінної та поршневої продукції, поєднуються. Надалі виробництво всього основного встаткування зосереджується на заводі № 1 м. Оуліна; загальним збиранням, комплектацією і дослідними випробуваннями займається завод № 2. У тому ж році вводиться в дію новий сучасний випробний стенд компанії.

У березні 1975 р. "Dresser Clark Co." випускає відцентровий компресор 9В, що мав найбільшу на той час у світі продуктивність 10200 м³/хв. У 1976 р. проходить випробування відцентровий компресор з кінцевим тиском 72 МПа.

У 1984 р. вводиться в дію новий випробний стенд на заводі "Dresser Clark Co." у Гаврі. Дві площадки були оснащені приводами потужністю по 26 МВт і подачею газу до 1500 та 450 нм³. У листопаді того ж року "Dresser Industries Corp." купує в компанії "McGraw-Edison Co." її турбобудівний підрозділ "Turbodyne Division", основу якого становив науково-виробничий центр у м. Веллсвілл (штат Нью-Йорк).

Компанії "Dresser Industries Corp." та "Ingersoll-Rand Co." 1 січня 1987 р. об'єднали свій компресоро- та турбобудівний бізнес, створивши спільне підприємство **"Dresser-Rand Company"** зі штаб-квартирою в м. Корнінг (штат Нью-Йорк). Нова компанія мала десять виробничих та дослідницьких підприємств, 70 торгових представництв, 30 сервісних центрів. До складу компанії з боку "Ingersoll-Rand Co." ввійшов також науково-виробничий центр у м. Пейнтід Пост (штат Нью-Йорк).

У 1992 р. проходить реконструкція випробного стенда в Оуліні. У липні того ж року компанія створює установку реінжекції газу потужністю 48,5 МВт – одну з перших у світі компресорних установок, що приводилися газотурбінним двигуном типу "Frame 6" виробництва "General Electric Co.". З 1995 р. ведеться виробництво нової серії багатоступінчастих відцентрових компресорів, що одержала назву "DATUM".

У 1998 р. переходить у власність техаської корпорації "Halliburton Co." 51 % акцій "Dresser-Rand Co.", що належали "Dresser Industries Corp.". Штаб-квартиру підприємства переміщено з Корнінга у Вудлендз (штат Техас). У лютому 2000 р. "Ingersoll-Rand Co." викупила пакет акцій "Dresser-Rand Co." у "Halliburton Co." і перенесла штаб-квартиру компанії в м. Оулін.

У квітні 2000 р. створюється філія підприємства в Індії, яка виготовляла поршневі компресори для азіатського ринку. У жовтні 2004 р. американська

інвестиційна компанія "First Reserve Corp." викупує "Dresser-Rand Co." у "Ingersoll-Rand Co.". У 2005 р. "Dresser-Rand Co." істотно розширюється внаслідок входження до її складу паротурбобудівних підприємств у мм. Міллбері (штат Массачусетс), Берлінгтон (штат Айова), Білфелд (Німеччина).

На сьогодні "Dresser-Rand Co." є одним із провідних світових виробників відцентрових та поршневих компресорів, парових турбін, газотурбінних агрегатів, турбодетандерів, багатофазних турбінних сепараторів, вентиляційних установок і систем керування. Їй належать такі зареєстровані товарні марки, як "AXI", "Coppus", "DATUM", "ISOPAC", "Murray", "Nadrowski", "Spiraxial", "VECTRA" та ін. До її складу входять виробничі центри в мм. Оулін, Пейнтід Пост, Веллсвілл, Міллбері, Берлінгтон, Х'юстон (штат Техас), Кампінас (Бразилія), Гавр (Франція), Конгсберг (Норвегія), Оберхаузен і Білфелд (Німеччина), Куала-Лумпур (Малайзія) та Ахмедабад (Індія). Приблизно 70 % сумарного обсягу продукції компанії реалізується за межами США*.

Випуском газотурбінного встаткування займаються підприємства в Оуліні та Конгсберзі**.

3.6.1. Науково-виробничий центр у м. Оулін (США)

Підприємство в Оуліні*** виготовляє газотурбінну техніку з 1949 р. У 50–60-х роках були створені вдалі конструкції промислових одновальних двигунів моделей "302", "305" та "305S" потужністю 4,5...6,4 МВт, ККД яких становив до 21 % при початковій температурі газів 1003 К і мірі підвищення тиску 5,25. Ці двигуни знаходили в той час досить широке застосування як приводи компресорів, насосів та електрогенераторів.

З 1970 р. підприємство починає випускати газотурбінні агрегати, засновані на газогенераторах авіаційних турбореактивних двигунів, і надалі цей напрямок стає домінуючим. У результаті укладених договорів з деякими провідними авіадвигунобудівними компаніями "Dresser Clark Co." одержувала газогенератори ТРД, доповнювала їх власною вільною силовою турбіною, здійснювала загальну комплектацію агрегатів, їхнє постачання, монтаж і сервісне обслуговування.

Першими з подібних ГТА стали агрегати потужністю 8...12 МВт, що комплектувалися з двигунів "Avon 1533" компанії "Rolls-Royce plc". У 70-х роках вироблялися також газотурбінні установки, засновані на газогенераторах GG3C-4A "Pratt & Whitney Corp.", а також двигунах LM1500 "General Electric Co.". Для цих ГТА науково-виробничий центр в Оуліні розробив конструкцію одноступінчастої консольної силової турбіни, що одержала індекс **DJ125**.

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.dresser-rand.com>.

** За свою історію "Dresser-Rand Co." продала близько 2700 газотурбінних агрегатів (за даними на 2000 р.).

*** Адреса підприємства: Paul Clark Drive 560, Olean, NY 14760, U.S.A.

У 80–90-х роках газотурбобудівна діяльність підприємства зосередилася на пекіджуванні одержуваних від інших виробників ГТД. У деяких випадках вони доповнювалися розробленою підприємством вільною силовою турбіною. У червні 1996 р. "Dresser-Rand Co." оголосила про введення в промислове виробництво нової конструкції силової турбіни, що одержала назву "VECTRA".

* * *

Сьогодні науково-виробничий центр у м. Оулін у галузі газотурбобудування займається випуском привідних та енергетичних газотурбінних агрегатів **DR60G**, **DR61G**, **DR61GP** і **DR63G** на базі двигунів відповідно LM1600, LM2500, LM2500+ та LM6000 "General Electric Co.". У 2000 р., коли "General Electric Co." значно підняла ціну на свої ГТД, "Dresser-Rand Co." уклала аналогічний договір з "Rolls-Royce plc". У 2005 р. розглядалася можливість організації постачань компресорних установок з англійськими двигунами "Trent 60".

Оскільки частота обертання силових турбін двигунів LM2500 та LM2500+ не завжди задовольняє потребам комплектуваних агрегатів, "Dresser-Rand Co." в ряді випадків використовує вільні силові турбіни власної розробки. Такі агрегати одержали найменування **DR61** та **DR61P** (табл. 3.6.1). В останньому випадку силова турбіна має назву "VECTRA-40G" (рис. 3.6.1).

Таблиця 3.6.1. Характеристики агрегатів науково-виробничого центру в м. Оулін

Агрегати	Номінальна потужність, МВт	ККД, %	Міра підвищення тиску	Витрата робочого тіла, кг/с	Частота обертання силової турбіни, об/хв
Енергетичні агрегати					
DR61	22,3	36,2	18,1	68,0	5500
DR61P	30,3	39,1	22,1	84,4	6200
Привідні агрегати					
DR61	23,1	37,5	18,1	68,0	5500
DR61P	31,4	40,5	22,1	84,4	6200

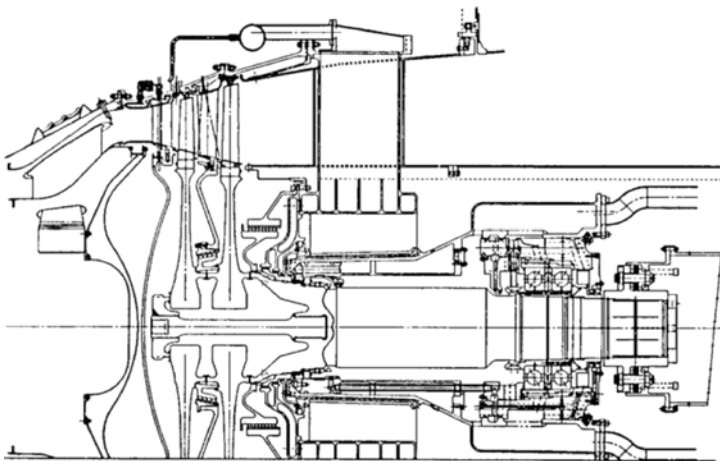


Рис. 3.6.1. Силова турбіна "VECTRA-40G" двигуна DR61P

Відмітною особливістю цієї турбіни є її модульність, що дозволяє здійснювати монтаж ГТА та його розбирання в гранично стислий термін. Усі деталі турбіни, у т. ч. робочі лопатки, спроектовані таким чином, щоб забезпечити ресурс до капітального ремонту не менше 100 тис. год або 5000 пусків. Більша, ніж у LM2500+, частота обертання (6200 порівняно з 3600 об/хв) дозволяє зменшити розміри і збільшити ефективність привідного встаткування.

Турбіна "VECTRA-40G" виконана двоступінчастою, консольною. Ротор – дисковий з ялинковим кріпленням робочих лопаток. Робочі лопатки обох ступенів мають бандажні полиці з двома гребенями, що ущільнюють радіальний зазор. Диски між собою з'єднуються в одне ціле за допомогою центральної стяжки. Шість радіальних стояків з'єднують корпус підшипників із зовнішнім корпусом турбіни. Однією з головних особливостей "VECTRA-40G" є застосування в її опорах підшипників кочення, що дозволяє використовувати спільну для газогенератора та силової турбіни систему змащення. Маса ротора становить 860 кг, усієї турбіни – 3085 кг.

3.6.2. Науково-виробничий центр у м. Конгсберг (Норвегія)

Науково-виробничий центр у м. Конгсберг*, який належить "Dresser-Rand Co." і в даний час має назву "**Dresser-Rand AS**", веде свою історію від підприємства "Kongsberg Våpenfabrikk" ("Збройовий завод Конгсберга"), заснованого в цьому місті у 1814 р. Це підприємство, яке знаходилося в державній власності до 1988 р., було головним розроблювачем і виробником озброєння Норвегії. Його спадкоємець – "Kongsberg Gruppen" – залишається таким дотепер.

На початку 60-х років "Kongsberg Våpenfabrikk" починає займатися створенням ГТД невеликої потужності, використовуючи для цього радіальні турбомашини. У 1968 р. компанія представляє на ринку двигун **KG2** потужністю 1,2 МВт. Цей ГТД протягом наступних десятиліть серійно вироблявся як енергетичний і знаходив широке застосування у складі установок різноманітного призначення. До 2005 р. його було продано більше 1000 од., сумарний наробіток яких перевищив 15 млн год. Різні модифікації KG2 експлуатуються в цей час у 62 країнах.

На початку 80-х років "Kongsberg Våpenfabrikk" почала шукати партнера для виведення своєї газотурбінної продукції на американський ринок. "Dresser Industries Corp." виявила інтерес і в 1985 р. придбала 50 % акцій газотурбінного підрозділу цієї компанії ("Gas Turbine Division"), який унаслідок цього одержав найменування "**Kongsberg Dresser Power AS**".

Необхідно відзначити, що "Kongsberg Våpenfabrikk" у середині 80-х років опинилася в дуже важкому економічному становищі. Вона розпродала всі свої підрозділи, що займалися випуском продукції невійськового характеру, і в 1987 р.

* Адреса підприємства: 1010, N-3601 Kongsberg, Norway.

була реформована в "Norsk Forsvarsteknologi" ("Норвезькі оборонні технології"), а в 1995 р. – у "Kongsberg Gruppen".

У 1987 р. "Dresser Industries Corp." викупує другу половину акцій "Kongsberg Dresser Power AS" і перейменовує її спочатку на "**Dresser-Rand Power AS**", а потім у 1989 р. на "**Dresser-Rand AS**".

* * *

Сьогодні основним продуктом науково-виробничого центру залишаються різні модифікації промислового газотурбінного двигуна **KG2** (раніше йменувався також як "**Viking 2**"). Цей ГТД застосовується у складі енергетичних установок, призначених як для тривалої роботи на номінальному режимі, так і для функціонування як резервне чи аварійне джерело енергії. Модифікація **KG2-3E** потужністю 1,9 МВт виробляється з 1989 р. Необхідно відзначити, що параметри модифікації **KG2-3C** з початку 70-х років залишилися практично незмінними.

Двигун виконаний одновальним за простою тепловою схемою*. Компресор – відцентровий, із профільованим входом, вхідним напрямним апаратом та лопатковим дифузorzом на виході. З дифузора повітря надходить до ресивера, а з нього до камери згоряння з поворотом потоку. Паливо впорскується шістьма форсунками, вторинне повітря подається по центральній трубі. З камери згоряння газ надходить по завитку до напрямних лопаток доцентрової турбіни, з якої виходить в осьовому напрямку. На валу ротора консольно розташовані колеса компресора, турбіни та привідна муфта. Вал спирається на два гідродинамічних підшипника ковзання, що встановлені у холодній частині корпусу. Колеса компресора і турбіни розташовані тильними сторонами одне до одного. Зубцювате зчеплення між ними допускає різну величину радіального розширення при нагріванні.

Напрямний апарат компресора являє собою точний виливок з нержавіючої сталі; робоче колесо виготовлене з корозійностійкої сталі шляхом механічної обробки. Колесо турбіни відкуте зі сплаву "Nimonic 90". Вихідний спрямний апарат, що виконаний точним литтям зі сплаву 713С, складається з профільованих сегментів, які кріпляться болтами. Напрямні лопатки турбіни також виготовляються точним литтям і кріпляться болтами.

Камера згоряння виконана з жароміцного сплаву; сталевий корпус камери виробляється як єдине ціле із зовнішнім ресивером. Двигун надійно працює на природному газі та рідкому паливі, водночас на обох цих видах, а також альтернативних сортах газоподібного палива з низькою теплотворною здатністю. Останнє робить його ефективним при використанні у складі ресурсозберігаючих установок.

Для забезпечення можливості спільної роботи із чотириполюсними генераторами струму частотою 50 або 60 Гц двигун обладнаний вбудованим ре-

* Див. також опис двигуна OP16 компанії "OPRA Technologies B.V".

дуктором, який знижує частоту обертання ротора відповідно до 1500 або 1800 об/хв. На корпусі редуктора встановлюються стартер, паливний та масляний насоси.

Ротор, зібраний з валом і підшипниками, легко виймається з корпусу з мінімальними витратами часу. Для знімання камери згоряння потрібно видалити швидкознімний затискач. Після демонтажу вихідного дифузора турбіни можна оглянути гарячу секцію. Знімання зовнішнього ресивера дає доступ до турбіни.

Системи керування для агрегатів із цим ГТД поставляє підприємство компанії, яке розташоване у м. Х'юстон (США). Характеристики ГТА науково-виробничого центру в м. Конгсберг наведені нижче:

	KG2-3C	KG2-3E
Номінальна потужність на вихідному валу редуктора, кВт	1499	1895
ККД на вихідному валу редуктора, %	16,1	16,7
Витрата робочого тіла, кг/с	12,8	15,0
Міра підвищення тиску	3,9	4,7
Температура газу за ГТД, К	843	822
Частота обертання ротора, об/хв	18000	18800
Маса, т	16,5	17,5
Габарити, м	6,5×2,1×2,7	

3.7. "Magellan Aerospace Corp." (Канада)



Повне найменування: "Magellan Aerospace Corporation".

Штаб-квартира: м. Торонто, Канада.

Чисельність працюючих: 3500 чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Magellan Aerospace Corp." спеціалізується на виробництві різних компонентів авіаційних і промислових газотурбінних двигунів (корпуси, рами, елементи камер згоряння, частини статора й ротора компресорів та турбін, вали, опори, редуктори, допоміжне встаткування), а також аерокосмічної техніки (твердопаливні двигуни, апаратні засоби, невеликі сателіти, супутникове обладнання). Компанія виконує також ремонтні та відбудовні роботи, випробування й сервісне обслуговування ГТД.

Протягом тривалого часу компанія тісно співробітничала з такими провідними виробниками аерокосмічної техніки, як "General Electric Co.", "Honeywell International, Inc.", "Pratt & Whitney Corp.", "Rolls-Royce plc" та "Volvo Aero Corp."

Підприємства і сервісні центри компанії розташовуються на території Канади в м. Кітченер, Міссісауга, Хейлі (штат Онтаріо), Ебботсфорд (штат Британська Колумбія), Вінніпег (штат Манітоба); на території США (філія

"Magellan Aerospace USA, Inc.") – у м. Бетел (штат Коннектикут), Корона (штат Нью-Йорк), Міддлтон (штат Массачусеттс), Міддлтаун (штат Огайо), Фенікс (штат Аризона); на території Великобританії (філія "Magellan Aerospace (UK) Ltd.") – у м. Борнмаут, Філтон, Бігглсвейд, Рексхем.

Одним із провідних підрозділів компанії є **"Magellan Repair, Overhaul & Industrial Division"**. Його історія ведеться з 1945 р., коли в Канаді для розробки та серійного випуску літаків, призначених для власних військово-повітряних сил, на території, яка раніше належала компанії "Victory Aircraft Ltd.", було організоване підприємство **"A.V. Roe Aviation Ltd."** (**"Avro Canada"**), що представляло собою філію однойменної британської компанії. Розташовувалося воно в м. Міссіссауга (штат Онтаріо); частина продукції виготовлялася на заводі у м. Тандер Бей, що знаходилося у тому ж штаті.

Водночас зі створенням літаків на підприємстві налагоджується випуск англійських турбореактивних двигунів. У лютому 1949 р. проходить випробування двигун **"Orenda"** тягою 2945 кгс, призначений для приводу реактивних винищувачів типу CF-100 "Canuck". Необхідно відзначити, що компанія "Avro Canada" виготовила другий у світі транспортний реактивний літак: C-102 піднявся в повітря 10 серпня 1949 р., через два тижні після пасажирського лайнера "Comet" компанії "The de Havilland Aircraft Co.".

Подальший розвиток двигуна "Orenda" привів до створення серії його модифікацій та організації в рамках "Avro Canada" окремого підприємства **"Orenda Engines & Aircraft Ltd."**. Двигуни "Orenda" у складі літаків CF-100 знаходилися на службі канадських та бельгійських військово-повітряних сил. Ними оснащувалися американські винищувачі F-86 "Sabre", що випускалися за ліцензією. Ці винищувачі продавалися також арміям Західної Німеччини, Південно-Африканської Республіки, Колумбії та Пакистану. На момент закінчення виробництва у липні 1958 р. двигунів "Orenda" було виготовлено майже 4000 од.

У 1953 р. підприємство починає роботи зі створення нового авіаційного ТРД, призначеного для літаків CF-105 "Arrow" компанії "A.V. Roe". Двигун, що одержав назву **"Iroquois"**, розвивав тягу 8730 кгс без використання форсажної камери, а з допалюванням палива – 11330 кгс. Він проектувався для експлуатації на висотах до 15 км при швидкості руху літального апарата до двох чисел Маху. Після 7000 год проведених випробувань, протягом яких модельована висота польоту досягала 21 км, а швидкість становила 2,3 від числа Маху, програма в лютому 1959 р. була припинена, як, утім, і роботи зі створення CF-105. Це було викликано реорганізацією британської авіаційної промисловості, в результаті якої відбулося злиття ряду провідних підприємств. Базова компанія "A.V. Roe" (а разом з нею і "Avro Canada") ввійшла до складу корпорації "Hawker-Siddeley Corp.". Канадська фірма одержала нове найменування "Hawker-Siddeley Canada Inc.". Підприємство "Orenda Engines & Aircraft Ltd." стало її підрозділом – **"Orenda Division"**.

У серпні 1959 р. уряд Канади прийняв рішення про оснащення своїх військово-повітряних сил винищувачами F-104 американської фірми "Lockheed". Підрозділ "Orenda Division" одержав замовлення на ліцензійне виробництво для цього літака двигунів J79 компанії "General Electric Co.". Виготовлення і постачання першого J79 було закінчене у грудні 1960 р., через 14 місяців після одержання робочих креслень. Підприємство випускало ці двигуни для військово-повітряних сил Канади, а також для американської програми взаємної допомоги ("Mutual Aid program"). Деякі із цих ГТД дотепер знаходяться в експлуатації в арміях Туреччини та Німеччини. (Усього було виготовлено 478 од. двигунів J79.)

На початку 1962 р. "Orenda Division" вдало виграв тендер, проведений канадським урядом, на виробництво і постачання за ліцензією турбореактивних двигунів J85-CAN-40 "General Electric Co." на навчальні літаки CL-41. Перший з них був випущений у вересні 1963 р., останній – у жовтні 1965 р. У червні 1967 р., коли була придбана ліцензія на виробництво винищувачів F-5 компанії "Northrop", підприємство почало випуск удосконаленого двигуна J85-CAN-40, оснащеного форсажною камерою згоряння, який одержав найменування J85-CAN-15. До закінчення виробництва в травні 1974 р. його було виготовлено 609 од., які експлуатувалися в арміях Канади, Нідерландів та Венесуели.

У 60-х роках підприємство залишалося передовим у газотурбінній промисловості, виготовляючи ліцензійні двигуни різних типів. У цей же час "Orenda Division" почав роботи зі створення промислових ГТД. За 30-літній період більше 150 двигунів **ОТ-3** авіаційного типу потужністю 6 МВт було встановлено на нафто- і газоперекачувальних агрегатах, електростанціях й індустріальних об'єктах у Канаді, США, Венесуелі, Новій Зеландії, Китаї, Англії та Об'єднаних Арабських Еміратах. Підприємство виготовило також більше 75 ГТД промислового типу потужністю від 1,1 (як у **ОТ-5**) до 9,0 МВт (двигуни **ОТ-2**). Приблизно 90 з них дотепер залишаються в експлуатації. Наробіток багатьох з них перевищив 150 тис. год.

У середині 90-х років після чергової реорганізації "Orenda Division" відокремлюється в підприємство **"Orenda Aerospace Corporation"**. У цей час підприємство в м. Міссіссауга* є підрозділом компанії "Magellan Aerospace Corp.". Воно займається проведенням ремонтних і відбудовних робіт авіаційних та промислових газотурбінних двигунів (власних ОТ-3 і ОТ-5, а також F101, F110, F404, J85, TF34 та CT58 "General Electric Co.", T53, T55 і TPE331 "Honeywell International, Inc.", PT6 та F100 "Pratt & Whitney Corp.", серії "Trent" компанії "Rolls-Royce plc"), виготовленням окремих деталей ГТД, розробкою і створенням випробних стендів та апаратури, систем керування, а також виробництвом, продажем і сервісним обслуговуванням енергетичних ГТА з двигунами інших компаній**.

* Адреса підприємства: 3160 Derry Road East, Mississauga, Ontario, L4T 1A9 Canada.

** Більш докладно про виробничу діяльність підприємства можна дізнатися на його офіційному сайті: <http://www.magellanroi.com>.

Необхідно відзначити, що до складу "**Magellan Repair, Overhaul & Industrial Division**", крім заводу в Міссіссаузі, також входять виробничі потужності в м. Ебботсфорд (штат Британська Колумбія) і Глендейл (штат Аризона, США), які мають власні назви "**Magellan AeroTech**" та "**Magellan Aerospace Turbine Services**".

Продукція компанії

На сьогодні підприємство в м. Міссісауга комплектує і продає енергетичні та привідні газотурбінні агрегати, використовуючи для цього двигуни OGT2500, GT6000, GT15000 і GT25000, які поставляються українським підприємством НВКГ "Зоря"—"Машпроект".

З метою застосування агрегату **OGT2500** у ресурсозберігаючих установках була розроблена його модифікація, яка працює на біопаливі. Це паливо може бути отримане переробленням таких речовин, як відходи деревини, целюлоза, лігнін, залишки сільськогосподарських культур, уламки очерету, пальмова лушпайка, солома, трава та макулатура.

Контрольні завдання

1. Дайте загальну характеристику газотурбобудівним науково-виробничим центрам "*General Electric Co.*".
2. Проаналізуйте номенклатуру і характеристики енергетичних та привідних ГТА, що випускаються науково-виробничим центром у м. Цинциннаті, Лінн і Хьюстон.
3. Розкрийте особливості конструктивного виконання суднових ГТА "*General Electric Co.*".
4. Поясніть будову та основні характеристики двигунів LM2000, LM2500 і LM2500+.
5. Проаналізуйте особливості будови ГТД LM6000 та LMS100.
6. Розкрийте специфіку маркірування енергетичних та привідних двигунів "*General Electric Co.*".
7. Дайте характеристику основним конструктивним особливостям двигунів сімейства "*Frame 6*".
8. Охарактеризуйте основні конструктивні особливості ГТД сімейства "*Frame 7*".
9. Поясніть будову двигунів сімейства "*Frame 9*".
10. Розкрийте особливості конструктивного виконання промислових ГТД "*Pratt & Whitney Corp.*".
11. Поясніть будову та головні характеристики двигунів компанії "*Solar Turbines Inc.*".
12. Дайте характеристику конструкції танкового двигуна AGT1500.

Розділ 4. АГРЕГАТИ ВИРОБНИЦТВА ПІДПРИЄМСТВ АЗІЇ

У даний час провідною азіатською країною в галузі газотурбобудування є Японія (рис. 4.1.1). Компанія "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." займає лідируюче положення у виробництві авіаційних двигунів, за ліцензією випускає турбовентиляторні й турбовальні двигуни американської "General Electric Co.". Вона також бере участь у ряді спільних проєктів з іншими американськими і європейськими виробниками ("Pratt & Whitney Corp.", "Rolls-Royce plc", "MTU Aero Engines GmbH").

У галузі промислового газотурбобудування різноманітного призначення двигуни власної розробки пропонують споживачу "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.", "Kawasaki Heavy Industries, Ltd.", "Hitachi, Ltd.", "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd.", "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd." та "Yanmar Co., Ltd.". Двигуни таких фірм, як "General Electric Co.", "Solar Turbines Inc.", "Rolls-Royce plc", "Pratt & Whitney Corp." і "Vericor Power Systems Inc." використовуються багатьма підприємствами для комплектації та постачання власних ГТА. До таких компаній належать "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.", "Hitachi, Ltd.", "Toshiba Corp.", "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.", "Yanmar Co., Ltd.", "Kawasaki Heavy Industries, Ltd.", "Hitachi Zosen Corp.", "Ebara Corp." та "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".

У Китаї існує кілька великих підприємств із виробництва ГТД авіаційного призначення. До таких належать "South Aero-Engine Co." (м. Жужоу), "Liming Engine Mfg. Corp." (м. Шеньян), "Liyang Machinery Corp." (м. Пінгба), "Xi'an Aero-Engine Corp." (м. Ксіан), "Dongan Engine Mfg. Co." (м. Харбін) та "Lan Xiang



Рис. 4.1.1. Розташування основних центрів промислового та суднового газотурбобудування на території Японії

Machinery Works" (м. Чангжоу). В останні роки проводяться інтенсивні дослідження в галузі суднового та стаціонарного газотурбобудування.

На сьогодні "Bharat Heavy Electricals Ltd." – найбільша промислова компанія Індії, що займається розробкою та створенням енергетичного встаткування. З 1995 р. комплектує і продає на азійському ринку ГТА енергетичного та привідного призначення, використовуючи для цього двигуни фірм "General Electric Co." й "Siemens AG".

4.1. "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." (Японія)



Повне найменування: "Mitsubishi Heavy Industries, Limited".

Штаб-квартира: м. Токіо, Японія.

Чисельність працюючих: 33500 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." ("Mitsubishi Jūkōgyō") є складовою частиною японської фінансово-промислової групи "Mitsubishi".

Одна з найбільших корпорацій світу "Mitsubishi" сьогодні являє собою вільний концорціум незалежних компаній. Кожне вхідне до нього підприємство має спільну історичну спадщину і, використовуючи торгову марку "Mitsubishi", залишається при цьому цілком автономним. Крім того, з них 30 провідних (у т. ч. і "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.") є членами об'єднання "Mitsubishi Kinyokai" (так званий "п'ятничний клуб"). Результатом щомісячних зустрічей їхніх керівників (друга п'ятниця кожного місяця) є погоджена фінансово-економічна діяльність цих компаній.

Корпорація "Mitsubishi" утворена з невеликого підприємства з морських перевезень "Tsukumo Shokai", заснованого у 1870 р. в Осаці Ятаро Івасакі



Рис. 4.1.2. Ятаро Івасакі (1835–1885)

(рис. 4.1.2). У березні 1873 р. назва компанії змінюється на "Mitsubishi Shokai" ("Mitsubishi Transportation Company"). Слово "Mitsubishi" походить від родового герба ("мону") сімейства Івасакі й часто переводиться як "три алмази". Товарний знак корпорації, який відображає її назву, вперше почав використовуватися ще підприємством "Tsukumo Shokai" як емблема на її корабельних прапорах. Із часом він поступово був спрощений, й у 1917 р. прийнято сучасне зображення у вигляді трьох червоних ромбів.

У 70–80-х роках XIX ст. підприємство інтенсивно

розвивається (багато в чому завдяки урядовим замовленням) і незабаром разом з компанією "Mitsui" стає фактичним монополістом лінії транспортних перевезень між Китаєм та Японією. До початку XX ст. їй належало більше половини всього японського торгового флоту.

Крім транспортних перевезень до сфери діяльності "Mitsubishi" наприкінці XIX ст. належать вуглевидобувна промисловість, суднобудування, банківська та страхова справа, організація складських приміщень і торгівля. Унаслідок диверсифікованості виробництва компанія почала працювати на целюлозно-паперову, сталеливарну, складову та електротехнічну промисловість, а також у галузях літакобудування, нафтовидобутку, торгівлі нерухомістю. Компанія "Mitsubishi" перетворилася на розгалужену корпорацію (більше 70 підприємств), яка відігравала центральну роль у модернізації японської економіки. Її назва в цей період послідовно змінювалася на **"Mitsubishi Jokisen Kaisha"** ("Mitsubishi Mail Steamship Co.", 1875 р.), **"Mitsubishi-sha, Ltd."** (1886 р.), **"Mitsubishi Goshi Kaisha"** (1893 р.), **"Mitsubishi-sha, Ltd."** (1937 р.), **"Mitsubishi-honsha, Ltd."** (1943 р.).

Перші закордонні філії корпорації з'являються незабаром після Першої Світової війни. У 30-х роках XX ст. "Mitsubishi" стає другою за величиною (після "Mitsui") сімейною корпорацією ("зайбатцу") в Японії. На кінець Другої Світової війни корпорація контролювала близько двохсот компаній.

Історію безпосередньо компанії "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." прийнято відраховувати з 1884 р. У цьому році Ятаро Івасакі взяв у довгострокову оренду (а в наступному повністю його викупив) урядове суднобудівне підприємство "Nagasaki Shipyard", розташоване в однойменному місті. Івасакі назвав його **"Nagasaki Shipyard & Machinery Works"** і приклав чимало зусиль для його подальшого розвитку.

Необхідно сказати, що сама верф була заснована ще в 1857 р. як підприємство, що належало клану Токугава. У 1868 р. воно націоналізується й одержує назву "Nagasaki Iron Works". У 1883 р. його назва змінилася на "Nagasaki Shipyard".

Основна спеціалізація на суднобудуванні (підприємство протягом тривалого часу розглядалося як суднобудівний підрозділ корпорації "Mitsubishi") відобразилася на його перейменуванні у 1917 р. – **"Mitsubishi Shipbuilding Company, Ltd."**.

У 1934 р. на базі "Mitsubishi Shipbuilding Co., Ltd." створюється головна компанія корпорації в галузі машинобудування – **"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."**. Ця компанія стала найбільшим японським недержавним виробником машинобудівної продукції. Крім суднобудування, вона займалася також виробництвом літаків, поїздів та різного встаткування. У 1935 р. до неї вливається судноремонтне підприємство з Йокогами "Yokohama Dock Co., Ltd.", у 1945 р. – "Mitsubishi Machine Tool Mfg. Co., Ltd."

У період Другої Світової війни "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." була головним виробником військової техніки в країні. Найбільш відомим її продуктом сьогодні є літаки-винищувачі типу "А6М Zero", вперше представлені в 1940 р. на честь 2600-ї річниці коронації першого легендарного японського імператора Джимму. Ці літаки за своїми характеристиками залишалися недосяжними для авіації союзників до 1943 р. Особливо відзначилися "А6М Zero" 7 грудня 1941 р. під час нальоту японської авіації на Перл Харбор. В останні місяці війни вони широко використовувалися як літаки-камікадзе.

У 1946 р. зайбату "Mitsubishi", у числі інших японських кланових корпорацій, була ліквідована американською окупаційною владою. Акції її підрозділів були розпродані з торгів.

Через кілька років після цього тепер уже незалежні колишні підприємства "Mitsubishi" почали об'єднуватися. У цей час концорціум містить у собі сотні підприємств і філій, розташованих у всьому світі та об'єднаних у кілька ділових груп – у галузі хімічної промисловості, електроніки, машинобудування і т. д.

У другій половині 40-х років "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." також була розділена на кілька окремих підприємств. У 1950 р. вони реорганізуються в три основні компанії – "West Japan Heavy-Industries, Ltd.", "Central Japan Heavy-Industries, Ltd." та "East Japan Heavy-Industries, Ltd.". У 1952 р. ці компанії, втім, перейменовуються відповідно на "Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd.", "Shin Mitsubishi Heavy-Industries, Ltd." та "Mitsubishi Nippon Heavy-Industries, Ltd.".

Ці три компанії 1 червня 1964 р. знову об'єднуються в єдину **"Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."**.

У 1970 р. з неї відокремлюється підрозділ, що займався виробництвом автомобілів – "Mitsubishi Motors Corp.". У 1995 р. до її складу входить компанія "Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc.", яка веде розробку і створює встаткування для атомних енергетичних установок.

Сьогодні виробнича діяльність "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." ведеться за такими головними напрямками:

суднобудування та океанотехніка – 10,5 % від загального обсягу виробництва компанії в 2005 р.;

енергетичне машинобудування (котли, парові й гідравлічні турбіни, газотурбінні агрегати, дизельні двигуни, судові енергоустановки, атомні реактори та встаткування атомних електростанцій) – 24,3 %;

загальне машинобудування й металоконструкції (природоохоронні спорудження, встаткування для хімічних і металообробних заводів, мости, крани, вантажопідйомні пристрої та ін.) – 17,7 %;

аерокосмічна техніка (літаки, вертольоти, ракети, авіаційні двигуни, системи наведення ракетної зброї, засоби освоєння космосу) – 15,7 %;

спеціальне машинобудування (системи кондиціонування повітря і рефрижерації, турбонагнітачі, встаткування для целюлозно-паперової та друкарної промисловості, верстати, різноманітний машинний інструмент тощо) – 29,3 %.

Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." склав 2590,7 млрд йен (24,1 млрд дол.), з яких 11,6 % становила реалізація товарів за межами Японії*.

Компанія має дев'ять виробничих підприємств (у мм. Нагасакі, Кобе, Шимоносекі, Йокогама, Хірошіма, Такасаго і Нагойя), шість науково-дослідних центрів та закордонні представництва в шести країнах.

Турбобудуванням "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." займається з 1904 р., коли на підприємстві був організований випуск ліцензійних парових турбін. У цей час компанія виготовляє парові турбіни різноманітного призначення в широкому діапазоні потужності. Випускаються енергетичні турбоагрегати для теплових електростанцій потужністю до 1400 МВт, для атомних електростанцій – 300...1500 МВт. Привідні турбіни промислового та суднового призначення виробляються потужністю до 200 МВт.

Широким є діапазон виготовлюваних "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." гідравлічних турбін. Випускаються турбіни Френсіса потужністю 1...1000 МВт із частотою обертання 60...1200 об/хв, турбіни Деріаза (1...250 МВт, 60...1200 об/хв), турбіни Каплана (1...200 МВт, 60...600 об/хв), турбіни Пелтона (1...300 МВт, 150...1200 об/хв), різноманітні реверсивні насосні турбіни (10...1000 МВт, 60...750 об/хв), турбіни з пересічними потоками (0,005...1 МВт, 100...1000 об/хв).

Газотурбобудуванням компанія займається з 1961 р. Перший ГТА був введений у комерційну експлуатацію в 1963 р. У 1982 р. кількість проданих агрегатів досягла 100 од. У 1989 р. випускається 200-й ГТА компанії, в 1996 р. – 300-й (рис. 4.1.3).

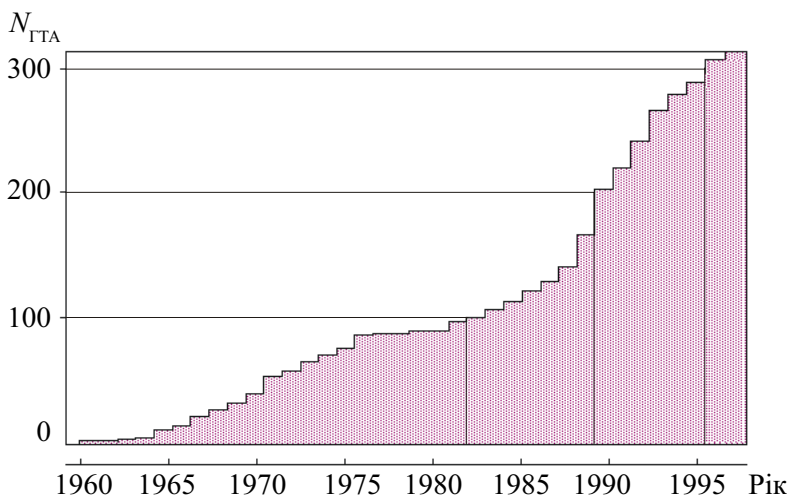


Рис. 4.1.3. Сумарна кількість виготовлених "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." газотурбінних агрегатів

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.mhi.co.jp>.

У всі роки велике значення для "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." мало співробітництво з американською "Westinghouse Electric Corp.", чим і пояснюється теперішнє високе становище компанії на ринку газотурбінної продукції.

Наступний етап у розвитку цих відносин почався в першій половині 80-х років з випуску за ліцензією 100-мегаватного енергетичного агрегату W501D, який одержав місцеве найменування **M501D**. Ще раніше "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." організувала ліцензійне виробництво двигуна **M251B** (W251B) потужністю 40 МВт. У наступні роки компанія бере активну участь у розвитку двигунів сімейства W501. За її особистої участі створюються нові модифікації **501F** та **501G**, що випускаються водночас обома компаніями.

У 80–90-х роках для ринку енергомереж із частотою струму 50 Гц на базі двигунів сімейства W501 "Westinghouse Electric Corp." разом з "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." розробляє нове сімейство W701 (M701). Перший зі спроектованих агрегатів **W701D** (**M701D**) був одержаний з W501D шляхом часткового аеродинамічного моделювання: використовувалося облопачування турбін W501D без зміни розмірів, але зі зміщенням на більший діаметр для збереження близьких колових швидкостей. Подальше вдосконалення конструкції агрегатів W501 (M501) аналогічно відображалось і на зміні конструкції нових модифікацій W701 (M701).

Необхідно відзначити, що "Westinghouse Electric Corp." після входження в 1998 р. до складу концерну "Siemens AG" припинила виробництво двигунів W701D та W701F, а також усі роботи в цілому з розвитку сімейства W701.

До числа досягнень "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." у галузі газотурбобудування можна віднести введення у 1984 р. у комерційну експлуатацію на третьому енергоблоці станції "Higashi Niigata Thermal Power station", яка належить компанії "Tohoku Electric Power Co.", найбільшій у світі газотурбінній енергетичній установці потужністю 1090 МВт, заснованій на двигунах M701D.

У 1985 р. компанія закінчує розробку енергетичного двигуна потужністю 15 МВт, який одержав серійне найменування **MF-111**. На базі цього ГТД шляхом геометричного моделювання в 1989 р. був створений двигун **MF-61** потужністю 6 МВт і в 1994 р. двигун **MF-221** потужністю 30 МВт.

На 1 січня 2001 р. в експлуатації знаходилося 386 газотурбінних агрегатів, виготовлених "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.". Їхня сумарна потужність становила 41985 МВт (табл. 4.1.1). У червні 2005 р. кількість агрегатів збільшилася до 450 од., з яких 107 приходилося на сімейство M501, 155 – на сімейство M701, що становило відповідно 23,8 та 34,4 % від їхньої загальної кількості. За результатами продажів газотурбінних установок у 2002–2004 рр. компанія вийшла на третє місце у світі після "General Electric Co." та "Siemens AG". У цей період частка "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." на ринку газотурбінної продукції досягла 13 % (за сумарною потужністю замовлених агрегатів). Компанія ставить за мету в найближчі роки збільшити її до 20 %.

Таблиця 4.1.1. Розподіл агрегатів, виготовлених "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

Регіон (країна)	Кількість ГТА	Сумарна потужність ГТА, МВт	Кількість ГТА
	на 1.01.2001 р.		на 1.06.2005 р.
Японія	143	11228	150
Близький Схід	49	4134	51
Азія	92	11539	134
США	37	6607	37
Латинська Америка	32	4790	33
Європа	22	3204	29
Африка	8	86	10
Австралія і Нова Зеландія	3	397	6

Розробка і створення ГТА ведеться в рамках підрозділу **"Power Systems"**, головний офіс якого знаходиться в м. Йокогама (префектура Канагава). Головне турбобудівне виробництво зосереджене на підприємстві в м. Такасаго (**"Takasago Machinery Works"**). У цьому ж місті знаходиться і науково-дослідний центр, який займається проблемами газотурбобудування (**"Takasago Research & Development Center"**). Комплектація газотурбінних агрегатів типу MFT-8 здійснюється на заводі в м. Хірошіма (**"Hiroshima Machinery Works"**). Питаннями розробки й оснащення енергетичних установок на базі газотурбінних двигунів займається підприємство в м. Нагасакі (**"Nagasaki Shipyard & Machinery Works"**).

Продукція компанії

На сьогодні "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." у галузі газотурбобудування випускає таку продукцію:

газотурбінні двигуни MFT-8 потужністю 26 МВт;

енергетичні двигуни MF-61, MF-111 та MF-221 потужністю відповідно 6, 15 і 30 МВт із ККД 29...32 %;

двигуни сімейства M501: M501D (114 МВт; 35 %), M501F (185 МВт; 37 %), M501G (264 МВт; 39 %);

двигуни сімейства M701: M701D (144 МВт; 35 %), M701F (270 МВт; 38 %), M701G (334 МВт; 39 %).

У процесі експериментального доведення знаходяться ГТД нової серії "Н" (M501H та M701H), ККД яких перевищує 41 %. Їхньою відмітною особливістю є парове охолодження соплових і робочих лопаток турбінної частини.

На базі двигунів сімейств M501 і M701 відповідно для енергомереж частотою 60 та 50 Гц "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." організувала випуск парогазових установок потужністю 167...980 МВт, що мають ККД 51...60 %.

Крім того, через "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." на азіатський ринок здійснює

поставку своїх двигунів **ASE40** і **ASE50** потужністю відповідно 3,2 та 3,6 МВт американська компанія "Vericor Power Systems Inc." *.

Значну увагу "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." приділяє в останні роки питанням розробки систем газифікації твердого палива та їх роботі з газотурбінними агрегатами ("Integrated Gasification Combined Cycle"). Найбільша у світі парогазова установка такого принципу дії потужністю 342 МВт, що базується на двигуні M701F, була введена в експлуатацію у червні 2003 р. на нафтопереробному заводі "Negishi Refinery", який належить "Nippon Oil Corp."

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається компанією.

Двигун MFT-8

Двигун MFT-8 (рис. 4.1.4) є тривальним ГТД авіаційного типу, що складається з газогенератора GG8, який поставляється американською компанією "Pratt & Whitney Corp.", і вільної силової турбіни, розробленої "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

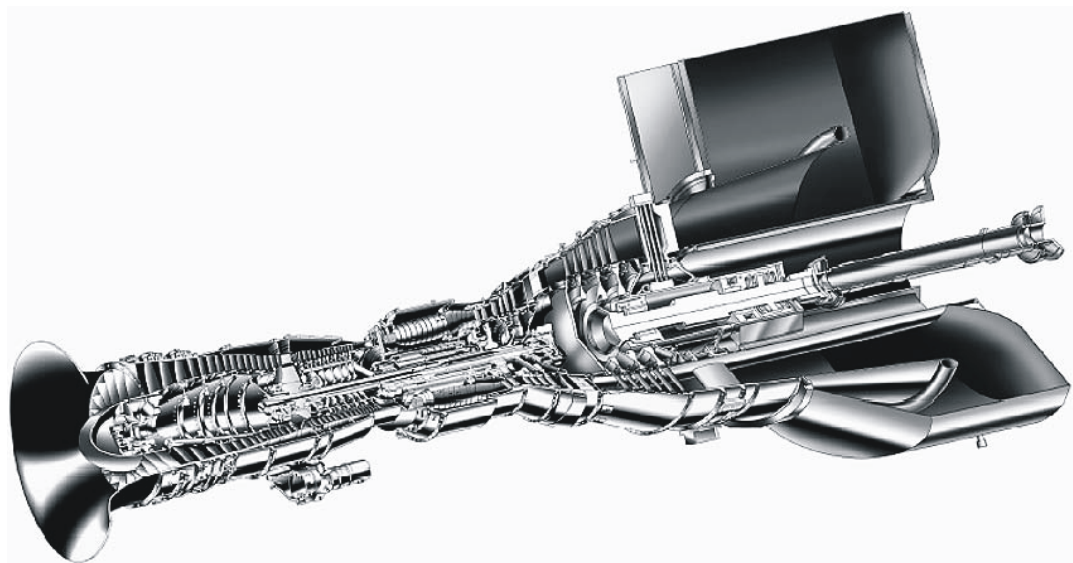


Рис. 4.1.4. Газотурбінний двигун MFT-8

Двигун виробляється компанією для енергетичного, привідного та суднового призначення (табл. 4.1.2). Перші його екземпляри стали поставлятися замовнику наприкінці 90-х років.

Газогенератор GG8 є конвертованим з авіаційного турбореактивного двигуна JT8D, який виготовляється "Pratt & Whitney Corp." і використовується на пасажирських літаках компаній "Boeing" (B-727 та B-737) і "Douglas" (DC-9).

* Див. опис продукції "Vericor Power Systems Inc."

Складається з 8-ступінчастого КНТ та 7-ступінчастого КВТ, які приводяться в обертання одноступінчастою ТВТ і двоступінчастою ТНТ. Камера згоряння – трубчасто-кільцева, оснащена дев'ятьма жаровими трубами. В опорах газогенератора розташовані кулькові та роликові підшипники кочення*.

Таблиця 4.1.2. Характеристики двигуна MFT-8

Параметри	Модифікації		
	енергетична	привідна	суднова
Номінальна потужність **, МВт	26,8		25,8
ККД, %	38,7		38,6
Витрата робочого тіла, кг/с	86,2	85,7	84,8
Міра підвищення тиску	21,0	20,8	20,4
Температура газу за ГТД, К	737		740
Частота обертання силової турбіни, об/хв	5000		
Маса, т	6,7	6,6	
Габарити, м	7,0×2,4×2,4	7,6×2,4×2,4	

Триступінчаста вільна силова турбіна створена "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." на базі досвіду розробки двигунів M501F/M701F і промислових ГТД серії "MF" (MF-61, MF-111 та MF-221). Залежно від призначення ГТА конструкція силової турбіни дещо варіюється. Так, наприклад, у судновій і енергетичній модифікаціях в опорах ротора застосовані кульковий та роликовий підшипники кочення. У привідній модифікації (рис. 4.1.5), яка створювалася пізніше, вони були

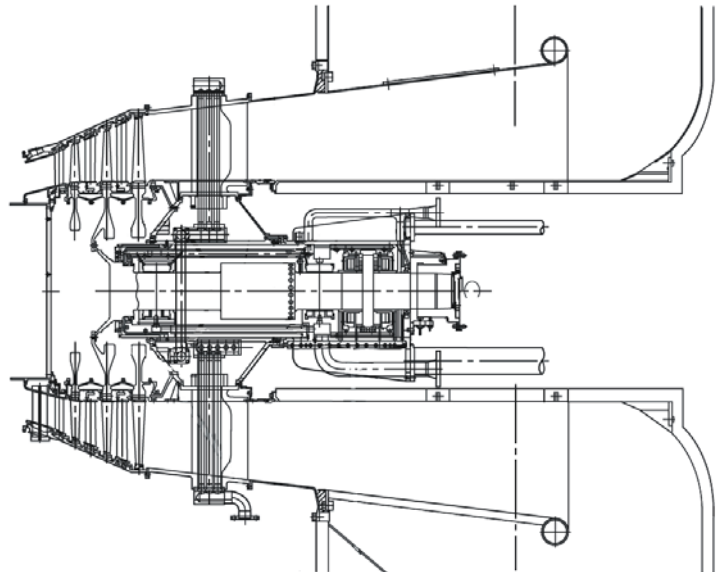


Рис. 4.1.5. Силова турбіна привідної модифікації двигуна MFT-8

* Див. також опис продукції "Pratt & Whitney Corp.".

** Для всіх модифікацій потужність і ККД наведені на вихідному валу ГТД. Енергетична та привідна модифікації працюють на газоподібному паливі, суднова – на рідкому.

замінені на підшипники ковзання. Відповідно в системі змащення став використовуватися більш дешевий сорт масла. Вал ротора став виконуватися суцільним, без внутрішнього центрального отвору. Певні зміни відбулися й в обслуговуючому турбіну встаткуванні.

Газотурбінними агрегатами з двома двигунами MFT-8 оснащуються споруджувані в Японії швидкісні вантажопасажирські судна типу "Techno Super Liner".

Двигуни MF-111, MF-61 та MF-221

Енергетичний **MF-111** (табл. 4.1.3) спеціально розроблявся "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." для роботи у складі когенераційних і парогазових установок. Роботи з його створення були в цілому завершені у 1985 р., і в серпні 1986 р. перший зразок двигуна був введений в експлуатацію на одному з нафтопереробних заводів компанії "Mitsubishi Oil".

Таблиця 4.1.3. Характеристики енергетичних агрегатів із двигунами серії "MF"

Параметри	MF-61	MF-111		MF-221
		модель "А"	модель "В"	
Номінальна потужність *, МВт	5,9	12,6	14,6	30,0
ККД, %	28,6	30,2	31,0	32,0
Витрата робочого тіла, кг/с	27,2	47,2	54,9	107,9
Міра підвищення тиску	15,0	14,5	15,0	
Температура газу, К: початкова за ГТД	1405	1523		806
	769	820	803	
Частота обертання ротора, об/хв	13800	9660		7200
Маса, т	9,8	22,0		50,0
Габарити, м	3,8×2,3×2,9	5,6×2,7×2,5		7,5×3,6×3,5

* Потужність і ККД наведені на клеммах генератора.

Двигун має типову для енергетичних ГТД конструкцію, перейняту від двигунів сімейства M501 (W501). Він виконаний за одновальною схемою з відведенням потужності з боку компресора й осьовим випуском відпрацьованих газів. Компресор і турбіна – осьові, багатоступінчасті; камера згоряння – секційна, з нахилом жарових труб щодо осрової лінії двигуна.

У період із серпня 1986 р. по березень 1998 р. "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." реалізувала 43 таких двигуна, що розвивали потужність на номінальному режимі 14,0...17,5 МВт. З них 28 увійшли до складу когенераційних установок (у т. ч. і з допалюванням палива в котлі-утилізаторі), 2 – до складу парогазових установок. Двигуни успішно експлуатуються як при роботі на різних видах газоподібного палива, так і рідких сортах.

На базі MF-111 шляхом геометричного моделювання і зниження початкової температури газу до 1405 К у 1989 р. створюється **двигун MF-61** потужністю 6 МВт.

Подальший розвиток серії "MF" привів у 1994 р. до появи нового **двигуна MF-221** номінальною потужністю 30 МВт.

Двигуни MF-111, MF-61 та MF-221 випускаються для роботи у складі енергоустановок, що генерують струм частотою 50 і 60 Гц. Передача крутного моменту від ГТД до електрогенератора здійснюється через знижувальний частоту обертання редуктор.

Двигуни M501D та M701D

Ліцензійний випуск заводом у м. Такасаго двигунів W501D та W701D (табл. 4.1.4) компанії "Westinghouse Electric Corp.", які одержали найменування M501D і M701D, почався у 1981 р.

Таблиця 4.1.4. Характеристики двигунів сімейств M501 та M701

Параметри	Модель "D"		Модель "F"		Модель "G"		Модель "H"	
	M501D	M701D	M501F	M701F	M501G	M701G	M501H	M701H
Номінальна потужність, МВт	113,9	144,1	185,4	270,3	264,0	334,0	290	367
ККД, %	34,9	34,8	37,0	38,2	39,1	39,5	41,5	
Витрата робочого тіла, кг/с	346	441	453	651	581	737	—	
Міра підвищення тиску	14,0		16,0	17,0	20,0	21,0	25,0	
Температура газу, К: початкова за ГТД	1425 816 815		1620 880 859		1770 870 860		—	
Частота обертання ротора, об/хв	3600	3000	3600	3000	3600	3000	3600	3000
Маса, т	145	200	195	340	250	420	—	
Довжина, м	11,6	12,5	13,9	17,3	15,2	18,2	—	
Ширина, м	5,7	5,2	4,6	5,8	4,6	6,2	—	
Висота, м	4,4	5,2	4,6	5,8	5,0	6,2	—	

Двигуни сімейства M501 (W501) були спеціально розроблені для використання у складі енергетичних агрегатів, що генерують струм частотою 60 Гц. Сімейство ГТД M701 (W701) призначено для роботи у складі енергомереж із частотою струму 50 Гц. Двигуни обох сімейств геометрично подібні, їхнє вдосконалювання здійснюється одночасно.

На червень 2005 р. знаходилося в експлуатації та готувалося до запроваджен-

ня в дію 17 ГТД M501D і 79 двигунів M701D, виготовлених "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

Конструктивними особливостями цих ГТД є 19-ступінчастий осьовий компресор, секційна камера згоряння із 14 жаровими трубами, 4-ступінчаста турбіна, високоефективна система охолодження, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах.

Двигуни M501D та M701D виконані одновальними з двохопорним ротором. Привід електрогенератора здійснюється з боку компресора. Компресорна частина пов'язана через проміжну вставку з турбіною, що складається з дисків без центральних отворів, які стягнуті на проміжному радіусі болтами через хітрові з'єднання. При виготовленні здійснюється балансування не тільки зібраного ротора, але і його частин до з'єднання. Ротор спирається на підшипники сегментного типу; осьове зусилля сприймається двостороннім підшипником типу Кінгсбері, розташованим у холодній частині ГТД. Довжина між осями підшипників ротора турбогрупи M501D становить 7,24 м, його маса – близько 33 т*.

Двигуни M501F та M701F

Двигуни M501F та M701F (рис. 4.1.6) створені в результаті співробітництва "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." з американською "Westinghouse Electric Corp.". Вони є подальшим розвитком сімейств M501 та M701 (див. табл. 4.1.4). Початок робіт над ними відноситься до 1985 р. У 1989 р. відбувся експериментальний запуск першого зразка двигуна M501F. У 1992 р. він був введений у комерційну експлуатацію.

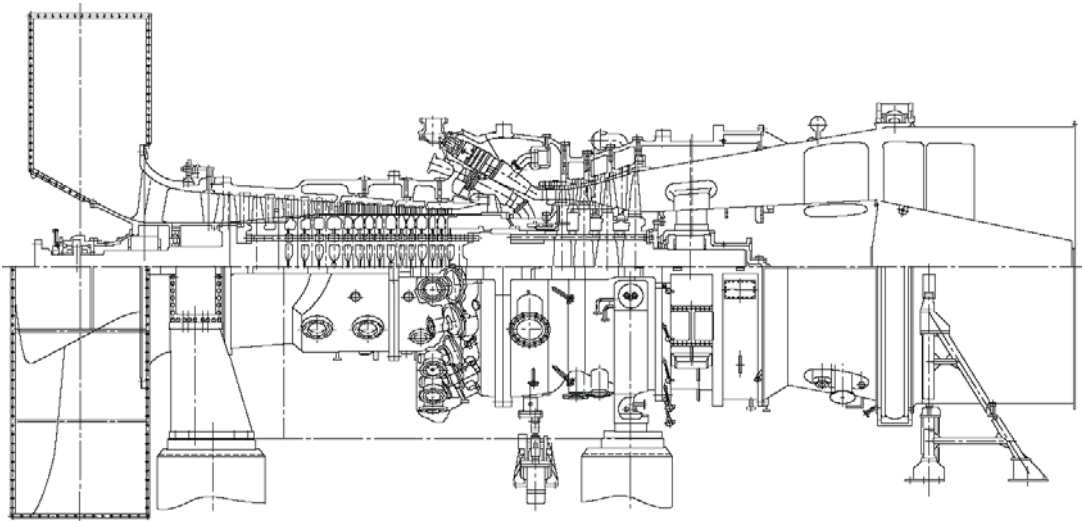


Рис. 4.1.6. Двигун M701F

* Див. також опис двигуна SGT6-3000E (W501D5A) науково-виробничого центру в м. Орландо.

Конструктивними особливостями двигунів є 16-ступінчастий осьовий компресор, проектування якого виконане за сучасними тривимірними технологіями, секційна камера згоряння із 16 жаровими трубами, поворотні лопатки вхідного напрямного апарата компресора, 4-ступінчаста турбіна, високоефективна система охолодження із зовнішнім охолодженням охолодного повітря, здатність працювати на різних видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах; передбачена також можливість подавання пари до проточної частини*.

Кожна секція камери згоряння оснащена багатофорсунковою системою подавання палива з попереднім його змішанням з повітрям, що гарантує підтримування сталої роботи на всіх режимах і гранично низькі рівні вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах.

Для виготовлення турбінних робочих лопаток використовується нікелевий сплав MGA2400, який розроблений "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."; для соплових лопаток – сплав MGA1400. З метою зменшення температури металу лопаток на них наноситься спеціальне термобар'єрне покриття.

Для підвищення ефективності ГТД тепло, яке відводиться від охолодного компресорного повітря в зовнішньому охолоджувачі, використовується для підігрівання палива перед його подаванням до камери згоряння.

На червень 2005 р. знаходилися в експлуатації та готувалися до запровадження в дію 61 двигун M501F та 69 двигунів M701F, виготовлених "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".

Двигуни M501G та M701G

Двигуни M501G і M701G створені в результаті співробітництва "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." з американською "Westinghouse Electric Corp.". Вони є подальшим розвитком сімейств M501 та M701 (див. табл. 4.1.4). Роботи над ними велися з 1993 р. Експериментальні дослідження зразка ГТД M501G почалися в лютому 1997 р. на заводі в м. Такасаго. Там же в червні 1997 р. він був введений у дослідну експлуатацію в складі парогазової установки.

Перший зразок двигуна M701G (рис. 4.1.7) після серії експериментальних досліджень, розпочатих у 1998 р., вводиться "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." у комерційну експлуатацію на четвертому енергоблоці станції "Higashi Niigata Thermal Power station" у липні 1999 р.

Конструктивними особливостями двигунів є 16-ступінчастий осьовий компресор, секційна камера згоряння із 16 жаровими трубами**, 4-ступінчаста турбіна, високоефективна система охолодження, здатність працювати на різних

* Див. також опис двигуна SGT6-5000F (W501F) науково-виробничого центру в м. Орландо.

** У модифікації M701G2 передбачене розміщення 20 жарових труб, приблизно такого ж діаметра та довжини, як у двигуна M501G.

видах палива, низька концентрація NO_x у відпрацьованих газах, виготовлення лопаток шляхом спрямованої кристалізації, термобар'єрне покриття лопаток, застосування технологій, характерних для авіаційного газотурбобудування, тривимірне моделювання лопаткового апарата компресора і турбіни*.

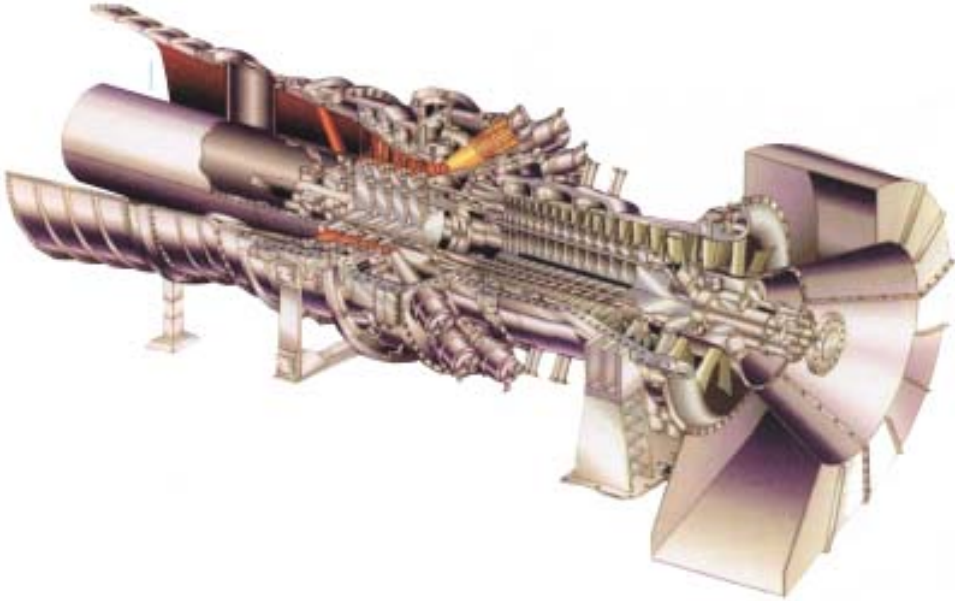


Рис. 4.1.7. Двигун M701G

Компресор розроблений на базі компресора двигуна MF-221, в якому використовуються вдосконалені профілі. Перший ступінь компресора виконаний транс-звуким.

Паливо спалюється в низькоемісійній секційній камері згорання. Горіння здійснюється в три фази ступінчасто з перезбагаченою паливоповітряною сумішшю в першій і перезбідненою в заключній стадіях. Займання виконується двома запальниками, що встановлені у виділених трубах; полум'я поширюється через патрубки перекидання полум'я.

Особливістю ГТД є застосування парового охолодження газопідвідних патрубків, які поєднують жарові труби камери згорання із соплами 1-го ступеня турбіни. Це дозволяє зменшити на 10...20 % кількість повітря, яке направляється після компресора на охолодження камери згорання і газопідвідних патрубків. Отже, більшу кількість повітря можна направити в головну частину камери згорання і знизити в такий спосіб температуру полум'я до 1750...1850 К, тобто до того ж рівня, що й у модифікації "F". Не відбувається також зниження температури продуктів згорання внаслідок його змішання з вторинним повітрям (вторинне повітря взагалі відсутнє).

* Див. також опис двигуна SGT6-6000G (W501G) науково-виробничого центру в м. Орландо.

У модифікації "G" компанія вперше використала систему активного регулювання радіального зазору між краєм робочих лопаток двох перших ступенів і корпусом турбіни ("Active Clearance Control"). Із цією метою пара, що надходить від котла-утилізатора для охолодження жарових труб, спочатку проходить крізь канали в корпусі турбіни. Зміна температури пари обумовлює зміну температурного розширення кілець, які з'єднують лопатки в один пакет, унаслідок чого і досягається необхідний ефект.

У жовтні 2004 р. сумарний наробіток ГТД модифікації "G" перевищив 197 тис. год, коефіцієнт надійності становив 99,9 %.

На червень 2005 р. знаходилося в експлуатації та готувалося до запровадження в дію 29 двигунів M501G і 7 двигунів M701G, виготовлених "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".

Двигуни M501G стали першими ГТД компанії, які вона змогла поставити на територію США. У 2003 р. після серії монтажних і тестових робіт у м. Бостон на станції "MYSTIC Power Plant" почалася комерційна експлуатація чотирьох таких ГТД.

Двигуни M501H та M701H

Двигуни M501H і M701H (див. табл. 4.1.4) є в даний час найбільш досконалими представниками сімейств M501 та M701. Порівняно з попередньою модифікацією "G" вони мають майже на 2 % більший ефективний ККД і на 10 % більшу потужність. Головна відмітна конструктивна особливість класу "H", яка й забезпечила зазначені переваги, полягає в застосуванні водяної пари для охолодження соплових і робочих лопаток перших двох турбінних ступенів замість традиційно використовуваного для цих цілей компресорного повітря. Початкова температура газу перед турбіною порівняно з модифікацією "G" залишилася без змін (1770 K).

Розробка конструкції двигунів велася з 1996 по 1998 р., виготовлення першого зразка ГТД M501H – з 1997 по 1999 р. У 1999 р. на стенді заводу в Такасаго відбувся перший експериментальний запуск двигуна M501H та проведена серія первинних досліджень. Після ряду доробок конструкції у 2001 р. відбулася друга серія випробувань.

Двигуни M501H та M701H створені для роботи головним чином у складі парогазових установок (як і переважна більшість попередніх ГТД цих сімейств). В установках використовуються теплоутилізаційні контури трьох тисків. Пара для охолодження лопаток ГТД відводиться з парової турбіни. Забирання здійснюється після проходження пари через групу ступенів високого тиску. Система охолодження замкнута. Охолодивши лопатки, пара повертається в парову турбіну до групи ступенів середнього тиску.

Пара на охолодження робочих лопаток підводиться з турбінного кінця ротора ГТД через внутрішні порожнини вала. Охолодивши лопатки, пара відво-

диться із цього ж кінця ротора. Щоб уникнути появи вібрації вала, викликаній його несиметричним температурним розширенням, канали підведення і відведення пари розташовуються симетрично всередині вала. Для цієї ж мети використовується спеціально розроблена система ущільнення цих каналів.

Рух високонагрітої пари через внутрішні порожнини вала турбіни спричинив підвищення температури кінцевої частини ротора (порівняно з модифікацією "G"), що втім не позначилося на бабітовій заливці опорного підшипника.

Рівномірне за колом підведення пари до соплових лопаток здійснюється за допомогою колектора, розміщеного всередині корпусного елемента турбіни, який з'єднує ці лопатки в один пакет. Таке розміщення парового колектора дозволяє використовувати зміну температури пари для регулювання радіального зазору над робочими лопатками, що досягається зміною величини температурної деформації цього корпусного елемента.

Використання для охолодження двигуна пари (замість традиційно застосовуваного в ГТД компресорного повітря) привело до збільшення витрати робочого тіла через турбіну, а отже, до підвищення генерованої потужності й ККД. Ще одним наслідком стало зростання температури відпрацьованих газів при незмінній мірі підвищення тиску повітря в компресорі. Для збереження температури газів за ГТД на рівні модифікації "G" міра підвищення тиску була збільшена до 25. Конструктивно це було забезпечене створенням нового високоефективного 17-ступінчастого компресора з використанням розробленої "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." методики тривимірного проектування. Порівняно з попередніми модифікаціями компресорні лопатки мають збільшену хорду профілю. Дещо меншим стало втулькове відношення компресора. З метою обмеження виникнення стрибків ущільнення в 1-му трансзвуковому ступені застосовані робочі лопатки з профілем типу "MCA" ("Multiple Circular Arc"). У проміжних та останніх ступенях для контролю течії пограничного шару використовуються робочі лопатки з профілем типу "CDA" ("Controlled Diffusion Airfoil"). Вхідний напрямний апарат компресора виконаний поворотним.

Секційна камера згоряння, також як і в модифікації "G", оснащена 16-ма жаровими трубами з паровим охолодженням. Подібні конструкції знаходяться в експлуатації з 1997 р. З використанням тривимірних технологій була заново спроектована 4-ступінчаста осьова турбіна ГТД. Перші два ступеня охолоджуються парою, 3-й – компресорним повітрям, 4-й виконаний неохолоджуваним.

Для виготовлення турбінних лопаток використовуються матеріали, які розроблені самою компанією – сплав MGA2400 для соплових та сплав MGA1400 для робочих лопаток. Соплові й робочі лопатки 1-го ступеня виготовлені литтям зі спрямованою кристалізацією. Турбінні диски виконуються зі сталі MGA10 (10 % хрому).

Особливу увагу при створенні двигунів було приділено ущільненню парових каналів. Цей процес був одним з найбільш складних при експериментальному доведенні ГТД і потребував кількох серій додаткових досліджень.

Парогазові установки на базі двигунів сімейств M501 та M701

На базі двигунів сімейств M501 та M701 "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd." виготовляє енергетичні парогазові установки бінарного термодинамічного циклу (табл. 4.1.5)*.

Таблиця 4.1.5. Характеристики установок на базі двигунів "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd."

Назва	Потужність на клемах генера- тора, МВт	ККД на клемах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
Сімейство M501 (частота струму 60 Гц)				
МРСР1 (M501D)	167,4	51,4	112,1	55,3
МРСР2 (M501D)	336,2	51,6	224,2	112,0
МРСР3 (M501D)	506,2	51,8	336,3	169,9
МРСР1 (M501F)	280,4	56,7	183,0	97,4
МРСР2 (M501F)	563,7	57,0	366,0	197,7
МРСР1 (M501G)	387,7	58,2	260,7	127,0
МРСР2 (M501G)	778,2	58,4	521,4	256,8
МРСР1 (M501H) (проект)	403,0	60,0	—	
Сімейство M701 (частота струму 50 Гц)				
МРСР1 (M701D)	212,5	51,4	142,1	70,4
МРСР2 (M701D)	426,6	51,6	284,2	142,4
МРСР3 (M701D)	645,0	51,8	426,3	218,7
МРСР1 (M701F)	397,7	57,0	266,1	131,6
МРСР2 (M701F)	799,6	57,3	532,2	267,4
МРСР1 (M701G)	489,3	58,7	328,9	160,4
МРСР2 (M701G)	981,9	58,9	657,8	324,1

Установки з двигунами **серій "D" та "F"** оснащені утилізаційними контурами двох тисків без проміжного перегрівання пари. Парогазові установки з двигунами **серії "G"** оснащуються утилізаційними контурами трьох тисків із проміжним перегріванням пари. У цих ПГУ використовуються котли-утилізатори горизонтального типу. За вимогою замовника для додаткового зниження концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах (NO_x та СО до 2 ppm при 15%-му вмісті кисню) вони можуть оснащуватися спеціальною каталітичною системою типу "SCR" ("Selective Catalytic Reduction"), а також системою перетворення СО. У цьому випадку в конструкцію котла-утилізатора вносяться такі зміни:

1) з метою досягнення рівномірної в поперечному перерізі швидкості газового потоку на вході до котла встановлюють перфоровану панель;

* "МРСР" – "Mitsubishi Power Combined Plant". Цифра, розташована після цих букв, позначає кількість газотурбінних двигунів, які входять до складу установки.

2) секцію, в якій розміщена каталітична система, роблять більш широкою, щоб зменшити швидкість руху через неї газового потоку;

3) для рівномірного змішання з газом подаваного аміаку передбачений спеціальний змішувач.

Розміщення системи "SCR" у тракті котла-утилізатора визначається протягом оптимізаційних розрахунків, що враховують температуру відпрацьованих газів, віддаленість від ГТД, витрату робочого тіла, робочий діапазон навантажень ПГУ.

Парові турбіни, що входять до складу парогазових установок із ГТД серії "G", виконуються двоциліндровими. Перший циліндр має частини високого і середнього тисків; другий циліндр – двопотоковий (з розбіжними потоками) – працює на парі низького тиску.

Залежно від конкретних умов експлуатації ПГУ можуть комплектуватися конденсаторами різних типів. Крім традиційних водяних поверхневих теплообмінників часто використовуються повітряні конденсатори, а також конденсатори баштового типу з упорскуванням охолодної води в паровий потік. Незважаючи на деяке погіршення ефективності ПГУ, а також істотне збільшення її габаритів, застосування двох останніх конструкцій є вигідним у регіонах, які позбавлені вільного доступу до водних ресурсів.

Парогазові установки з двигунами серії "G" комплектуються генераторами перемінного струму з водневим охолодженням. Генератори двигунів оснащуються тиристорною системою запуску.

4.2. "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." (Японія)

	<i>Повне найменування:</i> "Kawasaki Heavy Industries, Limited". <i>Штаб-квартира:</i> м. Кобе та Токіо, Японія. <i>Чисельність працюючих:</i> 28682 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Японська корпорація "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." ("Kawasaki Jukogyo Kabushiki-gaisha") веде своє походження з невеликого суднобудівного заводу "**Kawasaki Tsukiji Shipyard**", заснованого у 1878 р. у Токіо підприємцем Шозо Кавасаки (рис. 4.2.1), який спеціалізувався на випуску суден європейського типу. У 1886 р. з метою розширення виробництва в м. Кобе (префектура Хіого) вводиться в дію верфь "**Kawasaki Dockyard**". Статус корпорації був офіційно закріплений 15 жовтня 1896 р. заснуванням компанії "**Kawasaki Dockyard Co., Ltd.**".

На початку XX ст. компанія диверсифікує своє виробництво і на новому заводі "Hyogo Works" у м. Кобе починає випуск локомотивів, прольотів для мостів, вантажних та пасажирських автомобілів. У 1906 р. організовується виробництво ліцензійних парових турбін.

Важливою подією для "Kawasaki Dockyard Co., Ltd." стало одержання урядового замовлення на виготовлення перших в Японії підводних човнів (конструкції Дж. Холланда). Перші два з них були побудовані в 1906 р.

У 1918 р. на заводі "Hyogo Works" організовується авіабудівельний підрозділ. У 1922 р. "Kawasaki Dockyard Co., Ltd." виготовляє свій перший аероплан і в м. Какамігахара (префектура Гіфу) відкриває авіабудівельний завод "Gifu Works". До 1927 р. для японської армії було виготовлено близько 300 літаків-розвідників типу "Otsu 1". Під час Другої Світової війни основним авіаційним продуктом компанії був винищувач "Hien" (тип "3-1").

У 1928 р. завод "Hyogo Works" відокремлюється в компанію "Kawasaki Rolling Stock Mfg. Co., Ltd.". У 1937 р. в окрему компанію "Kawasaki Aircraft Co., Ltd." виділяється також авіабудівельний підрозділ.

Необхідно відзначити, що "Kawasaki Dockyard Co., Ltd." першою в Японії в 20-х роках ввела на своїх заводах 8-годинний робочий день.

У післявоєнний період підприємства компанії розділилися, але відігравали значну роль у відновленні японської економіки та її подальшому розвитку. Можна відзначити початок виробництва вертольотів (за ліцензією американської "Bell Aircraft Corp.") на заводі в м. Какамігахара. У 1954 р. "Kawasaki-Bell 47D-1" став першим виготовленим в Японії вертольотом.

У 1966 р. до складу "Kawasaki Dockyard Co., Ltd." вливається підприємство "Yokoyama Kogyo Co., Ltd.", яке займалося виробництвом котлів, шліфувальних верстатів та конвеєрного встаткування.

У 1969 р. три компанії ("Kawasaki Dockyard Co., Ltd.", "Kawasaki Rolling Stock Mfg. Co., Ltd." та "Kawasaki Aircraft Co., Ltd.") створили єдине підприємство **"Kawasaki Heavy Industries, Ltd."**.

На сьогодні виробнича діяльність "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." ведеться за такими головними напрямками*:

суднобудування (7,0 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції);
транспортні засоби, будівельне встаткування і машини (13,8 %);
аерокосмічна техніка (15,2 %);



Рис. 4.2.1. Шозо
Кавасаки

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.khi.co.jp>.

газотурбінні установки та машинобудування (у т. ч. парові турбіни і дизельні двигуни) (11,4 %);

розробка й створення промислових заводів та інфраструктур (15,4 %);

споживчі товари та встаткування (27,3 %).

Сумарний обсяг реалізованої в 2005 р. продукції склав 1242 млрд йен (11,56 млрд дол.), з яких 24,6 % становила реалізація товарів за межами країни. Компанія має дев'ять основних заводів на території Японії, близько 60 філій та представництв у всьому світі.

Газотурбінний підрозділ ("**Gas Turbine Division**") "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." свою історію відраховує з 1974 р., коли були закінчені роботи зі створення першого промислового газотурбінного двигуна **S1A-01**, який надалі став базовим для серії двигунів потужністю від 160 кВт до 1,5 МВт*.

У 1976 р. перший енергетичний ГТА компанії **GP200**, що базувався на двигуні S1A-01, вводиться в експлуатацію. У 1977 р. цей агрегат відмічено почесним призом Міністерства будівництва Японії на Виставці промислового електровстаткування. У 1978 р. GP200 відзначено почесною нагородою Японського товариства інженерів-механіків.

У 1979 р. на базі S1A-01 підприємство закінчує створення пересувного енергетичного модуля **MGP200**, перший екземпляр якого в тому ж році поставляється компанії "Hokkaido Electric Power Co.".

Наприкінці 70-х – початку 80-х років Міністерство оборони Японії замовило "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." побудову за ліцензією кількох кораблів з газотурбінними двигунами (есмінці та ескортні фрегати водотоннажністю відповідно 2900 і 1200 т). У рамках виконання цього замовлення компанія уклала кілька ліцензійних угод з англійським концерном "Rolls-Royce plc" на виготовлення суднових двигунів "Olympus TM3B" та "Tyne RM1C".

До 1984 р. відноситься створення на підприємстві першої когенераційної газотурбінної установки. У 1988 р. вводиться в дію перша установка потужністю 1750 кВт, що працювала за циклом Ченга.

У 1992 р. засновується філія компанії "Kawasaki Gas Turbine Technologies Co. Ltd.", яка стала займатися сервісним обслуговуванням поставлених замовнику газотурбінних агрегатів.

Для роботи у складі енергетичних ГТА та когенераційних установок підприємство створює двигун **M7A-01** потужністю 6 МВт, роботи з якого були в цілому закінчені у 1993 р.

У 1994 р. газотурбінні двигуни та агрегати "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." проходять сертифікацію відповідно до норм ISO9001.

У 1995 р. компанія повідомила про створення для двигунів потужністю 1,5 МВт низькоемісійної камери згоряння, що гарантує знижену концентрацію шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

* Розробку ГТД для літальних апаратів компанія вела також під час Другої Світової війни.

До 1996 р. відносять кілька пам'ятних подій в історії газотурбінного підрозділу "Kawasaki Heavy Industries, Ltd.". Високоєфективний двигун середньої потужності M7A відзначено Почесним призом у категорії енергозберігаючого встаткування. За створення низькоемісійної камери згоряння компанія одержує нагороду Японського газотурбінного товариства. У тому ж році виготовляється 5000-й газотурбінний двигун.

З метою просування своєї продукції на європейський ринок, надання сервісних та інших послуг біля м. Франкфурт (Німеччина) у 1998 р. засновано дочірню фірму "Kawasaki Gas Turbine Europe GmbH".

У 1999 р. компанія повідомляє про створення газотурбінного двигуна **CGT302** потужністю 300 кВт із керамічними деталями високотемпературної зони, який протягом випробувань досяг ККД 42,1 % при стабільній роботі на всіх досліджуваних режимах.

У 1999 р. у м. Гренд Репідз (штат Мічиган, США) відкрито газотурбінний підрозділ компанії "Kawasaki Motors Corp., U.S.A." з метою просування своєї газотурбінної продукції на американський ринок, надання послуг з обслуговування та ремонту двигунів.

У 2001 р. відкрито філію компанії "Kawasaki Sunrock Sdn. Bhd." у м. Куала-Лумпур (Малайзія). У тому ж році в цілому закінчуються роботи зі створення двигуна **L20A** потужністю 18 МВт.

Газотурбінне виробництво ведеться на заводі "Akashi Works" у м. Акаші (префектура Хіого)*.

Продукція компанії

На сьогодні газотурбінний підрозділ "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." випускає такі ГТД простої теплової схеми:

двигуни сімейства "S" потужністю 200...650 кВт, що мають ККД 17...20 %;

двигуни сімейства "M1" потужністю 1,2...4,0 МВт і ККД 21...26 %;

двигуни сімейства "M7" потужністю 5,5...7,0 МВт та ККД 29...31 %;

двигун L20A потужністю 18 МВт і ККД 35 %;

ліцензійні англійські суднові двигуни "Olympus TM3B", "Tyne RM1C", "Spey SM1A" та "Spey SM1C".

На базі цих ГТД організоване виробництво стаціонарних та пересувних енергетичних агрегатів. Виготовляється також ряд когенераційних і парогазових енергетичних установок потужністю від 650 кВт до 50 МВт. Необхідно відзначити, що для покращання ефективності деяких моделей сімейств "M1" та "M7" (наприклад, M1A-13CC і M7A-01ST) до їхньої проточної частини додається одержана під час утилізації водяна пара.

Починаючи з 1995 р. усі нові двигуни оснащуються розробленою компанією низькоемісійною камерою згоряння.

* Адреса підприємства: 1-1, Kawasaki-cho, Akashi, Hyogo 673-8666, Japan.

Перспективною розробкою "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." вважається двигун **CGT302** (рис. 22Д) потужністю 300 кВт та ККД 42 %, деталі високо-температурної частини якого виконані з керамічних матеріалів. Подальша програма досліджень припускає створення на базі ГТД М7А-02 так званого "гібридного двигуна" потужністю 8 МВт, жарові труби і соплові лопатки 1-го ступеня якого будуть також виготовлені з кераміки.

З 1997 р. Міністерство транспорту Японії фінансує розробку **суднового газотурбінного агрегату нового покоління типу "SMGT"** ("Super Marine Gas Turbine") потужністю 2,5 МВт та ККД 38...40 %, який повинний буде замінити сучасні вискоємисійні дизельні двигуни (концентрація NO_x має бути приблизно в 10 разів меншою, ніж у високооборотних дизелях). Розробку виконує група провідних японських газотурбобудівних компаній на чолі з "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." (також беруть участь "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.", "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd.", "Niigata Power System Co., Ltd." та "Yanmar Co., Ltd.")*.

У 1994 р. "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." організувала спільне з компанією "ASEA Brown Boveri Ltd." підприємство з постачання двигунів GT13E2, GT11N2, GT24 і GT26, а також парогазових установок на їхній основі на території Японії та сусідніх азіатських країн. Це підприємство одержало найменування **"Japan Gas Turbine K.K."**.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається компанією.

Двигуни сімейства "S"

Виробництво двигунів цього сімейства ведеться з 1974 р., коли були закінчені роботи зі створення першого ГТД компанії S1A-01 потужністю 160 кВт. Модифікації S1A-02 та S1T-02 випускаються з 1978 р., S2A-01 – з 1979 р., S7A-01 – з 1998 р.

Двигуни виконані одновальними за простою тепловою схемою (крім S7A-01); оснащені двоступінчастим відцентровим компресором, односекційною, розташованою вертикально камерою згоряння та двоступінчастою осьовою турбіною. Вони додатково обладнуються редуктором, який знижує частоту обертання вихідного вала залежно від частоти вироблюваного електрогенератором струму до 1500 або 1800 об/хв. Основні їхні технічні характеристики наведені в табл. 4.2.1.

Двигун S7A-01 для підвищення ефективності оснащений регенератором, який забезпечує підігрівання повітря перед камерою згоряння відпрацьованими

* Двигун "SMGT" розроблений двовальним, з регенерацією. Компресор має чотири осьових і один відцентровий ступені. Обидві турбіни виконані двоступінчастими. Камера згоряння – односекційна, розташована вертикально.

газами. Двигуни, що мають у позначенні букву "Т", являють собою спарування однойменних ГТД.

Таблиця 4.2.1. Характеристики двигунів сімейства "S"

Параметри	S1A-02	S1T-02	S2A-01	S7A-01
Номінальна потужність, МВт	0,211	0,415	0,648	0,710
ККД, %	17,3	16,9	20,8	24,3
Витрата робочого тіла, кг/с	1,8	3,5	5,1	4,1
Міра підвищення тиску	9,0		8,5	–
Температура газу, К:	1203			–
початкова				–
за ГТД	793		768	752
Частота обертання ротора, об/хв	–		31500	34000
Маса*, т	1,5	–	1,5	2,4
Габарити, м	2,0×1,3×1,2	–	2,0×1,3×1,2	–

* Маса і розміри зазначені з урахуванням редуктора, навішених механізмів, стартера.

Двигуни сімейства "M1"

Роботи зі створення першого двигуна сімейства M1A-01 були завершені в 1978 р. Інші модифікації вироблялися: M1T-01 – з 1979 р., M1A-03 та M1T-03 – з 1982 р., M1A-06, M1T-06, M1A-11, M1A-13, M1T-13, M1A-13CC і M1A-13CC Steam – з 1989 р., M1A-23 та M1T-23 – з 1991 р., M1A-13D і M1T-13D – з 1995 р., M1A-13X – з 2001 р., M1A-33 – з 2002 р.

Двигуни виконані одновальними за простою тепловою схемою; оснащені двоступінчастим відцентровим компресором, односекційною, розташованою вертикально камерою згоряння, триступінчастою осьовою турбіною. Вони використовуються як енергетичні, для чого додатково обладнуються редуктором, який знижує частоту обертання вихідного вала до 1500 або 1800 об/хв.

Двигуни, що мають у позначенні букву "Т", являють собою спарування однойменних ГТД. Двигуни, що мають у позначенні букву "D", оснащені низько-емісійною камерою згоряння ("Dry Low Emission"), яка забезпечує на номінальному режимі роботи концентрацію NO_x і CO у відпрацьованих газах не більше відповідно 14 та 50 ppm.

Двигун M1A-13CC використовується у складі когенераційних установок із частковим подаванням перегрітої пари до проточної частини (так званий цикл Ченга – "Cheng-cycle"). Для цього двигуна в табл. 4.2.2 окремо вказуються параметри без подавання і з подаванням пари.

Двигун M1A-13X (рис. 4.2.2) оснащений каталітичною камерою згоряння ("Xonon combustor"), яка забезпечує концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах менше 3 ppm.

Таблиця 4.2.2. Характеристики двигунів сімейства "М1"

Параметри	М1А-11	М1А-13	М1Т-13	М1А-13СC	М1А-13СC Steam	М1А-23	М1Т-23	М1А-13D	М1Т-13D	М1А-13Х
Номінальна потужність, МВт	1,30	1,54	3,00	1,36	2,42	2,14	4,26	1,55	3,06	1,48
ККД, %	24,4	25,4	25,1	22,8	33,6	26,1	25,7	25,2	24,8	25,0
Витрата робочого тіла, кг/с	8,1	8,0	16,1	7,7	8,6	9,8	19,6	7,9	15,9	7,9
Міра підвищення тиску	9,3	9,4		7,6	8,9	11,4		9,5		9,6
Температура газу, К: початкова за ГТД	1183 737	1263 793		1283 826 852		1413 842	1403	1275 803		– 798
Маса*, т	3,3		6,2	3,6		3,8	7,1	3,4	6,3	3,9
Довжина, м	2,5		2,4	2,7		3,0	2,5	2,4		3,0
Ширина, м	1,6		2,2	1,8		1,4	2,4	1,2	2,2	1,2
Висота, м	2,0		1,7	1,6		2,1	1,9	2,2		3,1

* Маса і розміри зазначені з урахуванням редуктора, навішених механізмів, стартера.

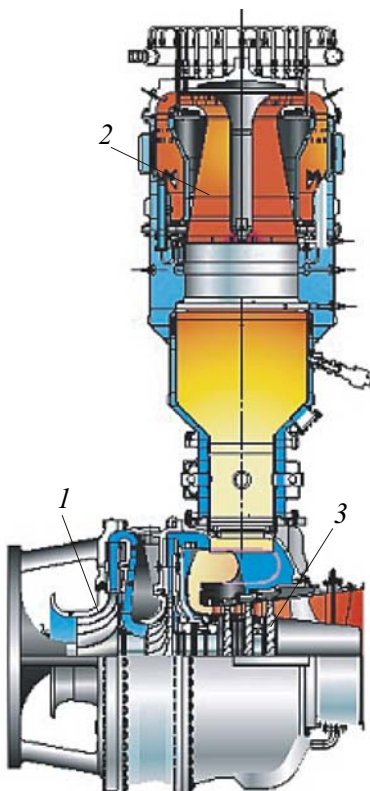


Рис. 4.2.2. Подовжній переріз двигуна М1А-13Х:

1 – компресор; *2* – КЗ; *3* – турбіна

Двигуни сімейства "М7"

Перші двигуни сімейства М7А-01 (рис. 23Д) та М7А-01D виробляються з 1993 р., М7А-01ST – з 1996 р., М7А-02 і М7А-02D – з 1997 р. (табл. 4.2.3).

Таблиця 4.2.3. Характеристики двигунів сімейства "М7"

Параметри	M7A-01	M7A-01D	M7A-01ST	M7A-02	M7A-02D
Номінальна потужність, МВт	5,62	5,48	6,68	7,05	6,85
ККД, %	30,2	29,9	33,8	31,1	30,9
Витрата робочого тіла, кг/с	21,8		22,2	27,0	
Міра підвищення тиску	12,7			15,9	
Температура газу, К:					
початкова	1448	–	1408	1433	–
за ГТД	818	815	800	795	
Частота обертання ротора, об/хв	14000			13790	
Маса, т	4,5	4,7		5,0	5,2
Габарити, м	3,7×1,5×1,7				

Двигуни виконані одновальними за простою тепловою схемою; призначені для використання як енергетичні. Підвищення тиску повітря здійснюється в 11-ступінчастому однокаскадному осьовому компресорі. Потужність на привід компресора, а також корисна потужність генеруються 4-ступінчастою осьовою охолоджуваною турбіною. Двигуни оснащені секційною протитоковою камерою згоряння, шість секцій якої розташовані під деяким кутом до осі ГТД (рис. 4.2.3). Відбирання потужності від ротора здійснюється з боку компресора. Двигуни додатково обладнуються редуктором, який знижує частоту обертання вихідного вала до 1500 або 1800 об/хв.

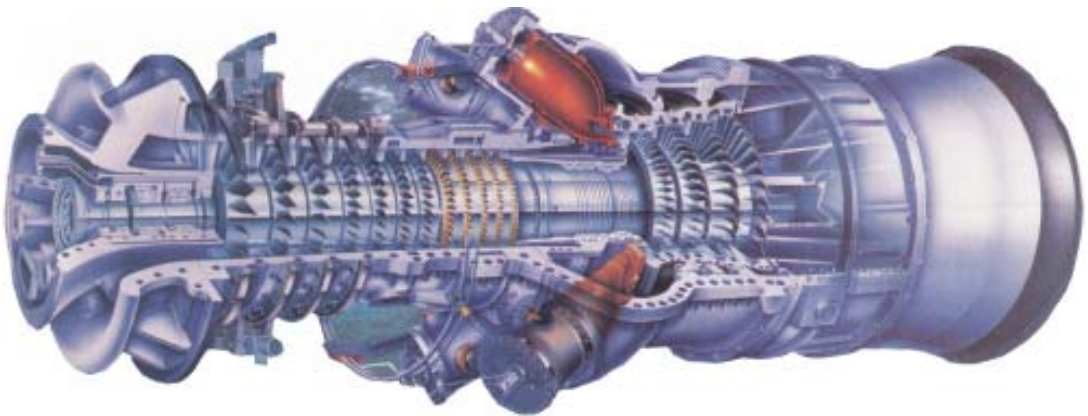


Рис. 4.2.3. Двигун М7А-01

Газотурбінні двигуни, що мають у позначенні букву "D", оснащені низькоемісійною камерою згоряння ("Dry Low Emission"), яка надійно функціонує на ре-

жимах 50...100 % від номінального. Двигун М7А-01ST використовується у складі когенераційних установок із частковим подаванням насиченої пари до проточної частини.

В останніх модифікаціях ресурс до капітального ремонту становить 30 тис. год. Концентрація NO_x та CO у відпрацьованих газах не перевищує відповідно 25 і 50 ppm. Двигуни можуть працювати як на газоподібному, так і на рідкому паливі.

Двигун L20A

Газотурбінний двигун енергетичного застосування L20A (рис. 4.2.4 та 24Д) створювався компанією на базі технології сімейства двигунів "М7" і накопиченого на той час досвіду їхньої промислової експлуатації.

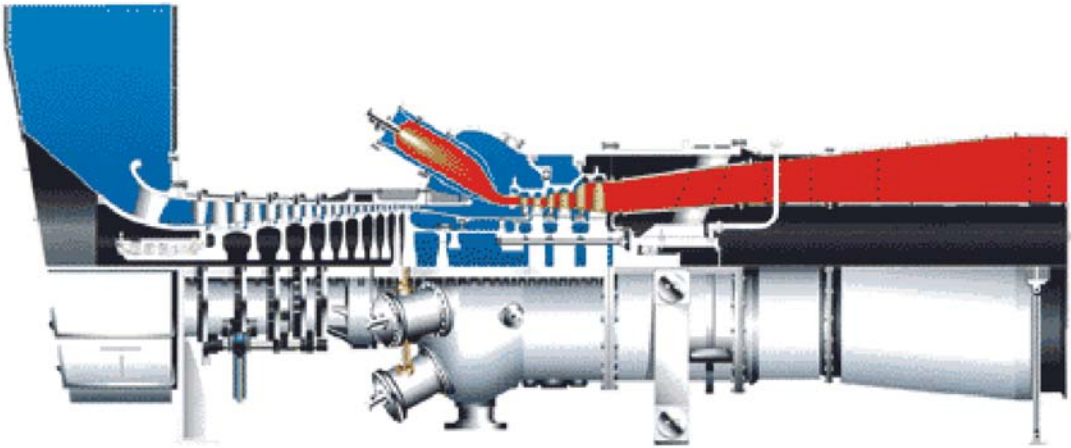


Рис. 4.2.4. Подовжній переріз двигуна L20A

У конструкції двигуна досягнута мета розроблювачів мінімізувати вартість його окремих вузлів, а також гранично скоротити витрати, пов'язані з його обслуговуванням і ремонтом при збереженні високих рівнів ефективності, надійності та потенціалу утилізації тепла. Виробляється з 2001 р.

Двигун виконаний за традиційною для компанії одновальною схемою; обладнаний 11-ступінчастим осьовим компресором, який має у своєму складі п'ять рядів поворотних напрямних лопаток (вхідний напрямний апарат і чотири апарати перших ступенів), триступінчастою охолоджуваною осьовою турбіною та 8-секційною протитоковою камерою згоряння. Відбирання потужності від ротора здійснюється з боку компресора. Випуск відпрацьованих газів – осьовий. Двигун L20A додатково обладнується редуктором, що знижує частоту обертання вихідного вала до 3000 або 3600 об/хв. Основні технічні характеристики двигуна становлять: номінальна потужність – 18,0 МВт, ККД – 35,0 %, витрата робочого тіла – 57,7 кг/с, міра підвищення тиску – 18,0, температура газу за ГТД – 818 К, частота обертання ротора – 9420 об/хв, маса – 14,0 т, габарити – 6,6×2,2×2,7 м.

Двигун L20A має підвищені показники надійності, готовності запровадження в дію та поліпшені експлуатаційні характеристики, його ресурс до капітального ремонту становить 30 тис. год. Істотно полегшують огляд і обслуговування двигуна наявність горизонтального рознімання корпусу й отворів для введення бороскопа. Низькоемісійна багатопальникова камера згоряння забезпечує концентрацію оксидів азоту у відпрацьованих газах не більше 23 ppm, концентрацію CO – не більше 25.

Відмітною особливістю L20A, порівняно з попередніми двигунами компанії, є більш висока температура відпрацьованих газів (818 K), а отже, більш високий їхній потенціал для утилізації. У когенераційних установках, що створюються на базі L20A, використання енергії палива досягає 80 %; ефективний ККД парогазових установок із цим двигуном становить 47 %.

Енергетичні ГТА простої теплової схеми

На базі газотурбінних двигунів власної розробки "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." виготовляє дві **серії стаціонарних енергетичних агрегатів**: 1) **"GPS"** ("Generator Power Set") потужністю на клеммах генератора від 200 кВт до 4,8 МВт; 2) **"GPB"** ("Generator Power Baseload") потужністю 0,6...17,1 МВт (табл. 4.2.4). Відмітні риси цих ГТА – компактність та мінімальна вага – дозволяють установлювати їх як усередині приміщень, так і на дахах будинків. Характерними їхніми особливостями є також простота використання й обслуговування. Високі технічні параметри підтверджуються досвідом експлуатації більше ніж 5000 таких агрегатів. Як правило, модулі серії "GPS" застосовуються як резервні, а серії "GPB" – як основні джерела електричної енергії.

Таблиця 4.2.4. Характеристики енергетичних агрегатів серій "GPS" та "GPB"

Агрегати	Потужність на клеммах генератора, кВт	Двигуни	Напруга струму, В
ГТА серії "GPS"			
GPS250	200	S1A-03	200...6600
GPS500	400	S1T-03	
GPS750	600	S2A-01	
GPS1250	1000	M1A-01	400...6600
GPS1500	1200	M1A-03	
GPS1750	1400	M1A-06	
GPS2000	1600	M1A-23	
GPS2500	2000	M1T-01	3300...6600
GPS3000	2400	M1T-03	
GPS3500	2800	M1T-06	
GPS4000	3200	M1T-23	
GPS4500	3600	M1T-23S	
GPS5000	4000	M1T-33A	
GPS6000	4800	M1T-33	

Сучасні газотурбінні агрегати

Продовж. табл. 4.2.4

Агрегати	Потужність на клеммах генератора, кВт	Двигуни	Напруга струму, В
ГТА серії "GPB"			
GPB06	610	S2A-01	400...6600
GPB07D	650	S7A-01	
GPB15D	1435	M1A-13D	
GPB15X	1385	M1A-13X	
GPB30D	2825	M1T-13D	3300...6600
GPB60D	5265	M7A-01D	
GPB70D	6500	M7A-02D	
GPB180D	17080	L20A	

У складі ГТА використовуються чотириполюсні генератори, які виробляють струм частотою 50 або 60 Гц, напругою 200...6600 В.

Невеликі масогабаритні характеристики, автономність устаткування та висока пускова готовність спричинили створення на базі газотурбінних двигунів "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." **енергетичних ГТА пересувного типу**. На сьогодні випускається дві серії таких агрегатів – **"MGP"** ("Mobile Generator Power") потужністю від 250 кВт до 2 МВт та **"TGP"** ("Trailer Generator Power") потужністю від 250 кВт до 4 МВт. Головна їхня відмінність полягає у розміщенні енергетичного встаткування. У першому випадку воно розміщується безпосередньо у вантажній частині автомобіля, в другому – в окремому трейлері, який перевозиться до місця призначення за допомогою вантажного автомобіля.

У складі агрегатів використовуються генератори, що виробляють електричний струм частотою 50 або 60 Гц, напругою 6000...6600 В зі зміщенням фаз 0,8. Для транспортування використовуються вантажні автомобілі вантажопідйомністю 4,5...24 т.

Парогазові та когенераційні установки

Парогазові установки бінарного термодинамічного циклу типу **"GPCS"** ("Generator Power Combined Set") створюються "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." на базі власних газотурбінних двигунів L20A, M7A-01 та M7A-02 (табл. 4.2.5).

Таблиця 4.2.5. Характеристики парогазових установок

Параметри	GPCS80	GPCS100	GPCS160	GPCS200	GPCS250	GPCS500
Число і тип ГТД	1×M7A-01	1×M7A-02	2×M7A-01	2×M7A-02	1×L20A	2×L20A
Потужність*, МВт	7,9	9,0	16,4	18,7	24,7	50,0
ККД, %	40,4	41,3	42,0	43,2	47,1	47,7

* Потужність і ККД наведені на клеммах генератора.

Значний тепловий потенціал газів, що відходять від двигунів, використовується компанією для створення когенераційних установок типу "GPC" різноманітної комплектації.

Установки з подаванням пари до проточної частини

Компанією "Kawasaki Heavy Industries, Ltd." створені когенераційні установки з регульованим виробництвом електричної та теплової енергії. Використовуються два основні варіанти таких установок.

Перший варіант. З метою регулювання кількості пари, що подається споживачу, її надлишок використовується для збільшення вироблення електричної енергії. Для цього зайва кількість пари, яка знаходиться в стані насичення (не в перегрітому стані), направляється в камеру згоряння ГТД.

На базі когенераційної установки GPC60 створена установка **GPC60 PLUS**, яка реалізує подібний принцип. На рис. 4.2.5 показаний подовжній переріз двигуна M7A-01ST із зображенням підведень пари.

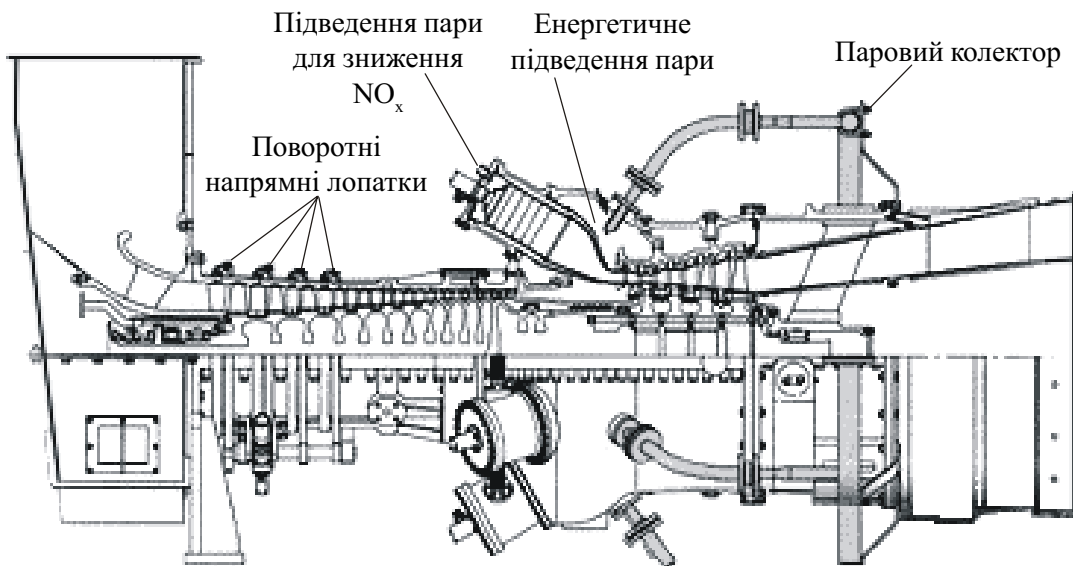


Рис. 4.2.5. Подовжній переріз двигуна M7A-01ST із зображенням підведень пари

Другий варіант. У рамках циклу Ченга для збільшення генерованої електричної енергії передбачається подавання до камери згоряння ГТД перегрітої пари. Котел-утилізатор оснащується паливним пристроєм для додаткового спалювання палива.

Установка **GPCC15**, що реалізує цикл Ченга, була створена на базі двигуна M1A-13 (модифікація M1A-13CC) (рис. 4.2.6). За рахунок подавання пари електрична потужність може бути збільшена на 1300...2300 кВт при одно-

часному подаванні пари споживачу кількістю до 8,5 т/год. Перша подібна установка введена в дію у 1988 р.

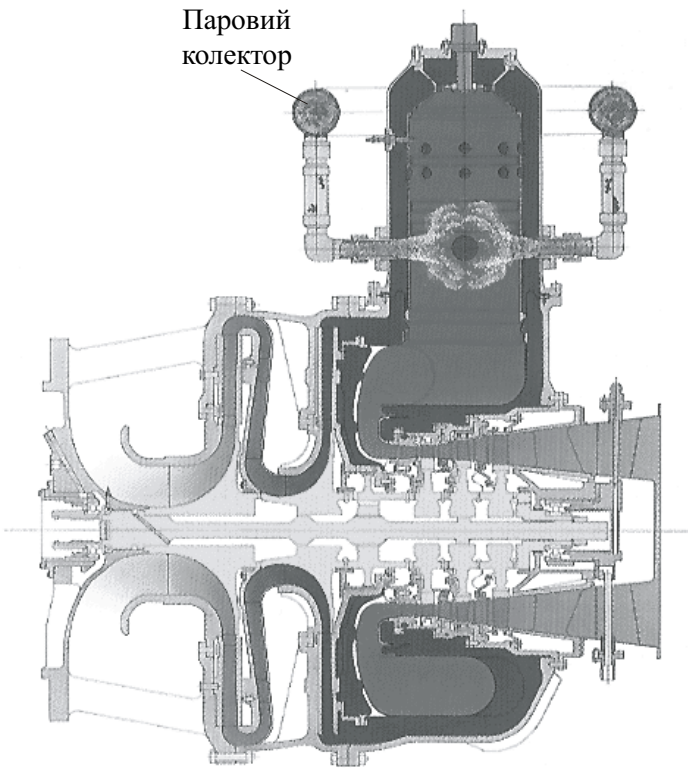


Рис. 4.2.6. Подовжній переріз двигуна М1А-13СС із зображенням підведення пари

4.3. "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." (Японія)

	Повне найменування: "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Company, Limited". Штаб-квартира: м. Токіо, Японія. Чисельність працюючих: 21847 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Японська компанія "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." ("Ishikawajima Harima Jūkōgyō Kabushiki-gaisha") веде свою історію з 5 грудня 1853 р., коли було засноване суднобудівне підприємство "**Ishikawajima Shipyard**". У 1876 р. компанія змінює назву на "**Ishikawajima Hirano Shipyard**", у 1889 р. – на "**Ishikawajima Shipbuilding & Engineering Co., Ltd.**" зі штаб-квартирою в м. Токіо.

У результаті проведеної після Другої Світової війни реорганізації японської

економіки підприємство перетворюється в 1945 р. на **"Ishikawajima Heavy Industries Co., Ltd."**.

Паралельно йшов розвиток іншої японської суднобудівної компанії **"Harima Dock Co., Ltd."**, яка була заснована у 1907 р. і з 1929 р. мала назву **"Harima Shipbuilding & Engineering Co."**.

Унаслідок злиття цих двох компаній у 1960 р. створюється **"Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."** ("ІНІ").

У 1964 р. до складу "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." вливається ще одне японське суднобудівне підприємство "Nagoya Shipbuilding Co., Ltd.". У 1967 р. до "ІНІ" приєднується компанія "Shibaura United Engineering Co., Ltd.", яка займається виробництвом металопрокатного встаткування й була створена в 1939 р. як спільне підприємство японської корпорації "Toshiba" та американської "United Engineering & Foundry". У 1968 р. до складу корпорації входить суднобудівне підприємство "Kure Shipbuilding & Engineering Co., Ltd." (м. Куре, префектура Хірошіма).

У 70–90-х роках "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." істотно розширює виробництво і створює ряд філій та спільних підприємств у Сінгапурі, Китаї, Австралії, Великобританії, Нідерландах, Іспанії, Італії, Німеччині, США.

Разом з американською корпорацією "Borg-Warner Automotive Inc." у 1980 р. у США створюється компанія "Warner-Ishi Corp.", яка пізніше (у 1998 р.) була перейменована на "ІНІ Turbo America". Основною продукцією цієї компанії є виробництво систем турбонаддування автомобільних дизельних двигунів.

У 1988 р. "ІНІ" разом з іншою японською компанією "Sumitomo Heavy Industries Ltd." організовує підприємство "Diesel United, Ltd.", яке виробляє дизельні двигуни головним чином сільськогосподарського призначення.

У 2000 р. "ІНІ" придбала у концерну "Nissan Motors" його підрозділ, що займається аерокосмічними й оборонними технологіями, і створила на його місці свою дочірню компанію "ІНІ Aerospace Co., Ltd.". У тому ж році, внаслідок проведеної реорганізації, три будівельні компанії, що входять до складу "ІНІ", поєднуються в "Ishikawajima Plant Construction Co., Ltd."

На сьогодні виробнича діяльність "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." зосереджена на таких головних напрямках*:

- енергетичне машинобудування й природоохоронні технології (27 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції компанії);
- авіаційне двигунобудування та освоєння космосу (21 %);
- вантажопідйомні пристрої, мости, автоматизація (16 %);
- сільськогосподарське встаткування, конструкційні матеріали, дизельні двигуни (14 %);

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.ihl.co.jp>.

промислове машинобудування (12 %);
суднобудування (10 %).

Сумарний обсяг реалізованої в 2005 р. продукції склав 1089 млрд йен (10,14 млрд дол.), з них 31 % становила реалізація товарів за межі Японії.

Японська компанія "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." є провідною з виробництва авіаційних двигунів. Саме "ІНІ" у 1945 р. виготовила перший в Японії турбореактивний двигун Ne-20, використовувати який передбачалося на літаках ВМФ*.

Підприємствами компанії для військової авіації випускаються ліцензійні двигуни F110 (з 1982 р.) та T700 (з 1988 р.), а також окремі компоненти двигуна F100; для цивільної авіації виготовляються турбовентиляторний CF34 й окремі частини двигунів GE90, CFM56-3 і CF6-50 (усі за ліцензією "General Electric Co.").

У 1983 р. "ІНІ" входить до створеного міжнародного концорціуму підприємств "International Aero Engines" з виробництва двовального турбовентиляторного двигуна V2500 тягою 9980...14970 кгс, призначеного для пасажирських авіалайнерів сімейств A320 компанії "Airbus" та MD-90 компанії "McDonnell Douglas". У рамках цього концорціуму компанія відповідає за створення вентилятора і компресора низького тиску.

У жовтні 2004 р. "ІНІ" підписала договір з американською "General Electric Co." про участь у створенні (приблизно 15 % від загального обсягу робіт) нового турбовентиляторного двигуна GEnx для пасажирських літаків B-787 компанії "Boeing". Розроблені підприємством тривимірні технології проектування використовуються при створенні нею турбіни низького тиску та профілюванні компресорних лопаток.

Компанія "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." бере активну участь в японській аерокосмічній програмі. Для ракет типу Н-ІІА вона виготовляє турбонасоси подавання рідкого водню і кисню до двигунів 1-го та 2-го ступенів.

Виробництво ГТА енергетичного, привідного та суднового призначення ведеться на підприємстві компанії в м. Куре (префектура Хірошіма) – **"Kure Aero-Engine & Turbo Machinery Plant"****. Окремі частини авіаційних і стаціонарних газотурбінних двигунів виготовляються підприємствами "Soma Aero-Engine Plant" (м. Сома, префектура Фукушіма) й "Tanashi Aero-Engine Plant" (м. Токіо); збиранням, ремонтними та відбудовними роботами ГТД займається завод "Mizuho Aero-Engine Plant" (м. Токіо).

Дослідницькі роботи з основних виробничих напрямків компанії веде інженерний центр у м. Йокогама.

* Необхідно відзначити, що турбобудування компанії в 1936 р. було зведене в спільне підприємство **"Ishikawajima-Shibaura Turbine Co., Ltd."**, яке в 1961 р. перейшло в повну власність компанії "Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd." ("Toshiba").

** Адреса підприємства: 2-1, Showa-cho, Kure-shi, Hiroshima 737-0027, Japan.

У лютому 2003 р. "ІНІ" придбала частину компанії "Niigata Engineering Co., Ltd.", на місці якої заснувала свою філію "**Niigata Power System Company, Ltd.**".

Компанія "Niigata Power System Co., Ltd." зі штаб-квартирою в м. Токіо спеціалізується на виробництві дизельних та газових поршневих двигунів суднового, енергетичного і залізничного призначення, муфт, демпферів, паливного та мастильного встаткування, гребних гвинтів. На заводі в м. Ніїгата ("**Niigata Gas Turbine Plant**") компанія виготовляє ГТД привідного та енергетичного застосування потужністю від 200 кВт до 10 МВт*.

4.3.1. Науково-виробничий центр у м. Куре

Сьогодні основними продуктами "ІНІ" у галузі енергетичного, привідного та суднового газотурбобудування є агрегати на базі двигунів **LM2500** і **LM6000** "General Electric Co.". В останні роки в асортимент продукції ввійшли також ГТА з двигунами **LM1600** та **LM500**. Компанія має офіційний дозвіл здійснювати власне компонування і комплектацію агрегатів на базі одержуваних із США двигунів цієї фірми. Ці ГТД є основою для створення як ГТА простої теплової схеми, так і парогазових та когенераційних установок.

Уперше постачання ГТА з двигуном LM2500 здійснене "ІНІ" в 1988 р. П'ятьма агрегатами простої теплової схеми була оснащена резервна енергетична установка Токійського метрополітену, призначена для приводу насосів відкачування води при повені.

Перша когенераційна установка з LM2500 встановлена в енергетичному центрі міжнародного аеропорту "Kansai" (м. Осака, Японія) у листопаді 1993 р. У вересні 1996 р. у Східній Малайзії почалася експлуатація першої плавучої електростанції з LM2500.

Агрегати з LM2500 (в комплектації "ІНІ") використовуються на деяких японських кораблях ВМФ та високошвидкісних пасажирських судах.

Перше застосування компанією "ІНІ" двигунів LM6000 відбулося у 1993 р., коли енергетичний модуль простої теплової схеми із цим ГТД був введений у дію на заводі "Mizuho Aero-Engine Plant". Це був перший двигун LM6000, який з'явився не тільки на території Японії, але й у цілому в Азії.

Протягом тривалого часу тісне співробітництво в галузі авіаційного, стаціонарного і суднового двигунобудування підтримується компанією також з газотурбобудівним підприємством з м. Індіанаполіс (США), яке до 1995 р. мало назву "Allison Engine Co.", а згодом увійшло до складу "Rolls-Royce plc". Компанія "ІНІ" під найменуванням **IM400** випускає за ліцензією двигуни сімейства "501" цього підприємства.

Також за ліцензією під назвою **IM150** "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd." виготовляє двигуни типу "Makila" французької компанії "Turbomeca".

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.niigata-power.com>.

4.3.2. Науково-виробничий центр у м. Ніїгата

Завод "Niigata Gas Turbine Plant" у м. Ніїгата, що належить компанії "Niigata Power System Co., Ltd.", випускає енергетичні газотурбінні агрегати промислового типу в діапазоні потужностей від 200 кВт до 10 МВт (табл. 4.3.1), а також привідні ГТА потужністю 0,3...4,0 МВт (табл. 4.3.2). У позначенні агрегатів буква "Е" вказує на їхнє енергетичне використання, буква "М" – привідне застосування. Буква "R" означає наявність регенератора.

Таблиця 4.3.1. Характеристики енергетичних агрегатів компанії "Niigata Power System Co., Ltd."

Агрегати	Номиналь- на потуж- ність, МВт	ККД, %	Міра під- вищення тиску	Витрата робочого тіла, кг/с	Темпера- тура газу за ГТД, К
CNT-250ER	0,20	12,7	4,2	2,5	810
CNT-300ER	0,24	13,6	4,2	2,5	859
CNT-375ER	0,30	14,7	4,2	2,5	923
CNT-500ER	0,40	13,8	4,2		852
CNT-625ER	0,50	14,9	4,2		923
CNT-750ER	0,60	16,6	6,7	5,0	843
CNT-1000ER	0,80	19,4	8,6	6,0	803
CNT-1250E	1,00	18,9	7,2	8,3	758
CNT-1500E	1,20	20,6	7,2	8,5	793
CNT-2000E	1,60	20,8	9,5	9,3	913
CNT-2500E	2,00	20,5	7,2	15,0	843
CNT-3000E	2,40	20,7	7,2	17,0	793
CNT-3500E	2,80	20,8	9,5	18,6	873
CNT-4000E	3,20	22,0	9,5	18,6	913
CNT-4500EN	3,60	22,8	9,3	19,8	833
CNT-4500E	3,04	28,0	9,9	18,6	740
CNT-5000E	3,60	29,0	10,5	19,0	785
CNT-6000E	4,08	29,9	12,0	22,0	761
CNT-9000E	5,20	32,1	16,6	27,3	751
CNT-10000E	7,20	31,5	16,2	39,1	748
CNT-12000E	8,00	29,5	17,1	40,8	779
CNT-10C ("Saturn 20")	1,20	24,1	6,6	6,5	766
CNT-30C ("Centaur 40")	3,57	27,4	9,8	18,8	708
CNT-40C ("Centaur 50")	4,69	28,4	10,9	19,7	779
CNT-50C ("Taurus 60")	5,35	29,6	12,2	22,2	757
CNT-60C ("Taurus 70")	7,26	32,1	16,0	26,5	755
CNT-90C ("Mars 90")	9,63	30,6	16,9	40,4	735
CNT-100C ("Mars 100")	10,73	31,2	18,2	43,5	758

Таблиця 4.3.2. Характеристики приводних агрегатів компанії "Niigata Power System Co., Ltd."

Агрегати	Номінальна потужність *, МВт	ККД, %	Міра підвищення тиску
CNT-401MR	0,3	14,2	4,5
CNT-671MR	0,5	14,6	4,5
CNT-811MR	0,6	16,6	7,6
CNT-1081MR	0,8	19,4	9,9
CNT-1351M	1,0	18,2	8,2
CNT-1621M	1,2	20,0	8,2
CNT-2002M	1,5	20,1	8,1
CNT-2161M	1,6	20,3	9,8
CNT-2701M	2,0	20,0	8,2
CNT-3241M	2,4	20,0	8,2
CNT-4321M	3,2	20,3	9,8
CNT-4861M	3,6	22,1	8,7

Енергетичні ГТА, зазначені в табл. 4.3.1 від CNT-250ER до CNT-12000E, призначені для використання як резервні або аварійні джерела енергії, агрегати від CNT-10C до CNT-100C виготовляються для тривалої роботи на номінальному режимі.

Необхідно відзначити, що ГТА CNT-10C, CNT-30C, CNT-40C, CNT-50C, CNT-60C, CNT-90C та CNT-100C комплектуються з відповідних двигунів американської компанії "Solar Turbines Inc.". Агрегати CNT-4500E, CNT-5000E, CNT-6000E, CNT-9000E, CNT-10 000E та CNT-12000E, що призначені для роботи як резервні, мають аналогічне походження**.

Усі ГТА оснащуються вбудованим редуктором, який знижує частоту обертання вихідного вала до 1500 або 1800 об/хв, що в сукупності із чотириполюсними електрогенераторами дає можливість виробляти струм частотою відповідно 50 або 60 Гц.

Агрегати, які зазначені в табл. 4.3.1 від CNT-250ER до CNT-12000E, спроектовані для роботи на рідкому паливі (головним чином гасі), агрегати від CNT-10C до CNT-100C можуть експлуатуватися як на рідкому, так і на газоподібному паливі.

До числа останніх розробок компанії в цій галузі можна віднести оснащені низькоемісійними камерами згоряння однофазний регенеративний агрегат **RGT3R** потужністю 290 кВт, а також двофазний двигун **NGT2BC** тривалою потужністю 920 кВт.

* Потужність і ККД наведені на вихідному валу вбудованого редуктора.

** Див. також опис продукції "Solar Turbines Inc.".

4.4. "Hitachi, Ltd." (Японія)

	Повне найменування: "Hitachi, Limited". Штаб-квартира: м. Токіо, Японія. Чисельність працюючих: 347424 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Японський інженер Наміхеї Одаїра в 1910 р. заснував "Hitachi, Ltd." ("Kabushiki Kaisha Hitachi Seisakusho") як підприємство з ремонту електротехнічних виробів. Незабаром починається виробництво власних електродвигунів, перші з яких мали потужність 3,5 кВт. У 1911 р. компанія виготовляє свій перший трансформатор струму, в 1914 р. організовується випуск гальванометрів та вольтметрів перемінного струму.

Наміхеї Одаїра розробив товарний знак підприємства ще до його заснування. Для створення знака використовувалися два ієрогліфи: "Хі", що означає "сонце", і "Тачі", що означає "схід". Одаїра наклав один ієрогліф на інший та змістив їх у коло (рис. 4.4.1). Чотири виступи на зовнішній стороні кола символізують одночасно і чотири сторони світу, і промені висхідного сонця. Одаїра придумав знак, щоб виразити своє сприйняття людини, яка стоїть перед висхідним сонцем і планує краще майбутнє для всіх.



Рис. 4.4.1. Товарний знак компанії

Компанія "Hitachi, Ltd." у перші роки свого існування швидко освоює випуск найрізноманітніших товарів. Так, наприклад, уже в 1915 р. підприємство виготовляє свою першу гідравлічну турбіну, в 1916 р. організовує

випуск електричних вентиляторів, у 1924 р. виготовляє перший в Японії магістральний електровоз перемінного струму, в 1931 р. закінчує розробку 10 000-амперної рідинної акумуляторної батареї, у 1932 р. починає випуск електричних вантажопідйомників та холодильників, у 1940 р. поставляє автоматичну телефонну станцію на 5000 абонентів, у 1943 р. виготовляє гідравлічну турбіну Френсіса потужністю 85 МВт і генератор струму потужністю 70 МВт.

У перші роки існування з'являються і філії компанії, та вже у лютому 1920 р. вона здобуває статус корпорації. Сьогодні виробнича діяльність "Hitachi, Ltd." ведеться за такими головними напрямками*:

інформаційні й телекомунікаційні системи (21 % від обсягу реалізованої в 2006 р. продукції);

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.hitachi.com>.

електронні пристрої (11 %);
енергетика і промислові системи (25 %);
цифрові засоби інформації та продукти споживання (12 %);
високофункціональні матеріали й компоненти (15 %);
фінансові послуги (5 %);
системи технічного забезпечення, сервіс тощо (11 %).

Компанія "Hitachi, Ltd." розробляє і виготовляє більше 20 000 найменувань товарів, має близько 1050 дочірніх підприємств (у т. ч. у США, Європі, Австралії, Китаї). Сумарний обсяг реалізованої в 2006 р. продукції склав 9465 млрд йен (80,9 млрд дол.), з нього 38 % становило постачання продукції за межі Японії. У списку найбільших компаній "Hitachi, Ltd." займає 22 місце у світі (рейтинг "Fortune 500"). У її 32 науково-дослідних лабораторіях працює близько 17000 службовців.

Компанія є одним із провідних та найдавніших в Японії виробників гідравлічних турбін. Ця галузь споконвічно була однією з найголовніших для "Hitachi, Ltd.". У цей час випускаються турбіни ковшового, радіально-осьового, поворотно-лопатного та капсульного типів, здійснюється їхня розробка, монтаж і сервісне обслуговування.

Паротурбобудуванням компанія займається з 1933 р., коли була випущена її перша турбіна за ліцензією американської фірми "General Electric Co.". У 1962 р. "Hitachi, Ltd." виготовляє свою 500-у парову турбіну, в 1974 р. – 1000-у, в 1990 р. – 1500-у. У цей час їхнє загальне число перевищує 1600 од. Сумарна потужність проданих парових турбін у 2000 р. перевищила 110 ГВт. Потужність менше 100 МВт мають 82 % виготовлених турбін.

З 1964 р. "Hitachi, Ltd." за ліцензійною угодою випускає промислові газотурбінні агрегати "General Electric Co." (США). На березень 2004 р. було випущено 417 таких ГТА, з них MS1002 (4 МВт) – 2; MS3002 (11 МВт) – 28; MS5001 (26 МВт) – 286; MS5002 (28 МВт) – 12; MS6001B (39 МВт) – 28; MS6001FA (70 МВт) – 3; MS7001B/E/EA (85 МВт) – 31; MS7001F/FA (168 МВт) – 20; MS7002 (49 МВт) – 1; MS9001B/E (123 МВт) – 6. Із виготовлених агрегатів у Японію було поставлено 16 %, Азію та Австралію – 19 %, на Близький Схід – 25 %, Європу – 3 %, Африку – 6 %, Північну і Південну Америку – 31 % від їхньої загальної кількості.

Досвід, накопичений на тривалому виробництві ліцензійних двигунів, "Hitachi, Ltd." використала наприкінці 80-х років, коли на базі ГТД MS5001 розробила свій власний 25-мегаватний двигун **H-25**. Через кілька років на базі H-25 компанія створила 15-мегаватний двигун **H-15**.

Випуском газотурбінних двигунів і парогазових установок (а також парових та гідравлічних турбін) займається підрозділ компанії "**Thermal and Hydro Power Systems**".

Продукція компанії

На сьогодні в галузі газотурбобудування "Hitachi, Ltd." випускає таку продукцію:

двигуни Н-25 потужністю 27,5 МВт та ККД 33,8 %;

двигуни Н-15 потужністю 14,7 МВт і ККД 32,2 %;

ліцензійні енергетичні ГТД сімейств "Frame 5", "Frame 6", "Frame 7" та "Frame 9" фірми "General Electric Co."*.

На базі цих двигунів для енергомереж із частотою струму 50 і 60 Гц компанія організувала випуск парогазових установок бінарного термодинамічного циклу потужністю 81...509 МВт, ефективність яких становить 49...55 %.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке виготовляється компанією.

Двигуни Н-25 та Н-15

Компанія "Hitachi, Ltd." розробила **Н-25**, використовуючи значний досвід виробництва 25-мегаватних двигунів сімейства "Frame 5" "General Electric Co.", яких у сумі вона випустила близько 300 од.

Перший Н-25 був введений у комерційну експлуатацію на заводі компанії "Idemitsu Kosan" у складі когенераційної установки в листопаді 1988 р. До березня 2004 р. компанією було виготовлено 32 таких ГТД, із них 10 поставлено підприємствам Японії, 6 – Канади, 5 – Нігерії, 5 – Єгипту. Наробіток головного двигуна в листопаді 2001 р. (через 13 років після встановлювання) становив 103 тис. год. Необхідно відзначити, що у восьми випадках Н-25 установлювався замість ГТД типу MS5001, що відпрацювали свій ресурс. У 2004 р. один двигун Н-25 у складі когенераційної установки був установлений на тепловій електростанції м. Уральськ (Казахстан).

На базі Н-25 у 1990 р. "Hitachi, Ltd." створила **двигун 15-мегаватного класу Н-15** (табл. 4.4.1). За перші 14 років виробництва компанія продала три таких ГТД. У 2004 р. сумарний наробіток двигунів Н-25 та Н-15 перевищив 537 тис. год.

Двигуни Н-25 та Н-15 виконані за простою тепловою схемою і конструктивно подібні промисловим двигунам "General Electric Co." аналогічної потужності, які "Hitachi, Ltd." випускає за ліцензією.

Двигуни виготовляються одновальними (рис. 4.4.2). В обох випадках компресор виконаний осьовим, 17-ступінчастим. Камера згоряння – секційна, прототокова, для Н-25 вона має 10 жарових труб. Корисну потужність, а також потужність, що витрачається на привід компресора, виробляє триступінчаста активна осьова турбіна. Корпуси компресора і турбіни мають горизонтальні рознімання. Двигуни можуть функціонувати як на газоподібному, так і на рідкому паливі.

* Див. опис продукції "General Electric Co.".

Таблиця 4.4.1. Характеристики енергетичних агрегатів із двигунами Н-15 та Н-25

Параметри *	Н-15		Н-25	
	природний газ	дизельне паливо	природний газ	дизельне паливо
Номінальна потужність, МВт	14,7	14,4	27,5	26,3
ККД, %	32,2	31,8	33,8	32,6
Витрата робочого тіла, кг/с	51,7		88,0	
Міра підвищення тиску	14,7			
Температура газу, К:				
початкова			1533	
за ГТД	818		828	
Частота обертання ротора, об/хв	9710		7280	

* Потужність і ККД наведені на вихідному валу ГТД.

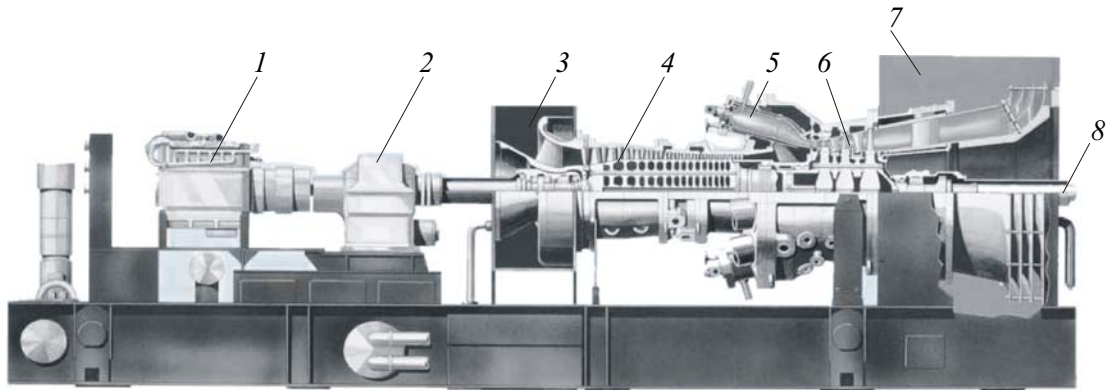


Рис. 4.4.2. Двигун Н-25/Н-15:

1 – пусковий двигун; 2 – коробка приводів; 3 – підведення повітря; 4 – компресор; 5 – КЗ;
6 – турбіна; 7 – газовипуск; 8 – вихідний вал ГТД

Для двигунів Н-25 та Н-15 "Hitachi, Ltd." розробила низькоемісійну камеру згоряння, яка забезпечує в широкому діапазоні зміни експлуатаційних параметрів концентрацію NO_x у відпрацьованих газах не більше 25 ppm при 15%-му вмісті кисню. Перші ГТД із такими камерами були поставлені замовнику в листопаді 2001 р.

Відведення корисної потужності здійснюється з боку турбіни. Для зниження частоти обертання до значення, яке відповідає обертанню ротора електрогенератора, додатково встановлюється редуктор. З боку ж компресора до ротора приєднуються блок навішених механізмів та пусковий двигун. Усі ці пристрої розташовуються на фундаменті в одну лінію. Тому сумарна довжина енергетичного модуля з двигуном Н-25 чи Н-15 перевищує десять метрів.

Двигуни Н-25 та Н-15 створювалися як енергетичні, проте разом зі спеціальною електричною системою передавання потужності (генератор струму –

електродвигун) можуть знайти застосування також як привідні (наприклад, для приводу нагнітачів природного газу). При цьому регулювання переданої привідному механізму потужності може здійснюватися в діапазоні 50...105 % від її номінального значення.

Для підтримання вироблюваної потужності в жаркі літні дні "Hitachi, Ltd." розробила спеціальну систему впорскування води в проточну частину компресора ("Water Atomization Cooling"). Система "WAC" дозволяє за рахунок охолодження компресорного повітря на 5...10 % збільшувати потужність ГТД. Іншими її перевагами є деяке зниження концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах та очищення поверхні лопаток компресора. Кількість подаваної води не перевищує 1 % від масової витрати робочого тіла через компресор.

Розміщення на двигуні Н-25 теплоутилізаційного контуру дає можливість додатково одержувати 50...60 т пари в годину. Коефіцієнт використання хімічної енергії палива в когенераційних установках з таким двигуном перевищує 80 %.

На базі Н-25 "Hitachi, Ltd." виготовляє парогазові установки двох типів – "2025" та "3025". Перша цифра означає кількість використаних в установці газотурбінних двигунів, останні дві – приналежність до Н-25. Теплоутилізаційні контури в таких ПГУ забезпечують генерування пари двох тисків. Їх характеристики наведені нижче:

	"2025"	"3025"
Потужність, МВт:		
на клеммах генератора	81,4	122,2
ГТД	53,9	80,8
паротурбінної частини	27,5	41,4
ККД на клеммах генератора, %	50,0	50,1

Котли-утилізатори для парогазових та когенераційних установок поставляє спільне підприємство компанії "Babcock-Hitachi К.К.". Найчастіше використовуються горизонтальні конструкції котлів. У деяких установках знаходить застосування традиційний вертикальний рух газів. Для зниження концентрації оксидів азоту ці пристрої можуть оснащуватися спеціальними каталітичними системами. Для підвищення параметрів генерованої пари в котлах-утилізаторах може додатково спалюватися паливо.

4.5. "Toshiba Corp." (Японія)

TOSHIBA	<i>Повне найменування:</i> "Toshiba Corporation". <i>Штаб-квартира:</i> м. Токіо, Японія. <i>Чисельність працюючих:</i> 165 тис. чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Toshiba Corp." ("Kabushiki-gaisha Tōshiba") веде свою історію з 1875 р., коли в Шинбаши (передмістя Токіо) Хісашиге Танака (1799–1881) (рис. 4.5.1) відкрив першу в Японії фабрику з виробництва телеграфного встаткування. Засновник компанії був одним з найбільш видатних представників інженерної думки Японії того часу. У молодості він дуже прославився як винахідник різних автоматичних пристроїв, за що одержав прізвисько "геній механічних чудес". Надалі, працюючи спочатку на клан Сага, а згодом на клан Куруме, він чимало посприяв просуванню на територію країни технічних нововведень західного світу. На базі створеної ним фабрики його учень Дайкічі Танака у 1882 р. організував підприємство "**Tanaka Engineering Works**" ("Tanaka Seizo-sho").

Під назвою "**Shibaura Engineering Works Co., Ltd.**" ("Shibaura Seisaku-sho") (перейменована у 1904 р.) компанія в перші десятиліття XX ст. стає одним з найбільших японських виробників електротехнічного встаткування. До числа досягнень компанії цього періоду можна віднести виробництво перших

в Японії електричних вентиляторів, індукційних електродвигунів, пральних машин, холодильників (1930 р.), а також перших японських пирососів (1931 р.).

Паралельно йшов розвиток іншої японської компанії. Її заснував інженер Ічісуке Фуджіока – "батько японської електрики" (див. рис. 4.5.1). Познайомившись під час поїздки в США у 1884 р. з Т. Едісоном, І. Фуджіока вирішує присвятити себе розвитку вітчизняної електротехнічної промисловості. Після повернення він починає роботи зі створення дослідних зразків ламп накаливання і для їхнього серійного виробництва в Кіобаши (передмістя Токіо) у 1890 р. разом із Шоїчі Мійоши засновує підприємство "**Hakunetsu-sha & Co., Ltd.**".

Виробнича сфера компанії незабаром доповнюється випуском устатку-



Рис. 4.5.1. Хісашиге Танака та Ічісуке Фуджіока

вання для електрофікованих залізниць, а також створенням систем генерування та передачі електричної енергії. У 1899 р. її назва змінюється на "**Tokyo Electric Company, Ltd.**" ("Tokyo Denki"). В історії компанії 1905 рік відзначений пам'ятною подією, яка багато в чому визначила її подальший розвиток – підписанням договору про співробітництво з американською фірмою "General Electric Co.". У 1939 р. відбулося злиття "Tokyo Electric Co., Ltd." та "Shibaura Engineering Works Co., Ltd.", унаслідок чого була створена нова компанія – "**Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.**" ("Tokyo Shibaura Denki"), яка незабаром одержала скорочене найменування "**Toshiba**". У 1978 р. "Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd." офіційно змінила свою назву на "**Toshiba Corporation**". Необхідно відзначити, що до Другої Світової війни компанія входила до складу сімейної корпорації ("зайбату") "Mitsui". Після реорганізації японської економіки в післявоєнний період аж до дійсного часу "Toshiba Corp." входить у вільний концорціум незалежних японських компаній ("кейретцу") "Mitsui".

Виробнича діяльність корпорації сьогодні ведеться за такими головними напрямками*:

цифрові продукти (комп'ютери і пов'язане з ними встаткування, мобільні телефони, аудіовізуальне встаткування, телевізори та ін.) – 35,1 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції компанії; 26,1 % від загальної чисельності працюючих;

електронні пристрої та компоненти (мікросхеми, електронні трубки, оптико-електронні пристрої, джерела живлення, рідкокристалічні екрани тощо) – 20,7 % і 20,0 %;

інфраструктурні системи (промислові апарати, енергетичне й транспортне встаткування, засоби автоматизації, телекомунікаційні та радіомовні системи, підйомники й ескалатори, медичне встаткування і т. ін.) – 27,9 % та 32,7 %;

побутові прилади (пральні машини, пылососи, холодильники, кондиціонери тощо) – 10,4 % і 13,3 %.

Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції "Toshiba Corp." склав 5836,1 млрд йен (54,54 млрд дол.), з яких 44,1 % становила реалізація товарів за межами Японії. Компанія має 364 підрозділи та торгові представництва в 64 країнах світу.

Турбобудуванням "Toshiba Corp." почала займатися у 1928 р., коли була виготовлена її перша парова турбіна. У 1966 р. випускається 1000-а турбіна компанії, в 1982 р. – 1500-а. У лютому 1997 р. корпорація для теплової електростанції "Nanao Ohta Power Station" виготовила другу з передбачених контрактом парових турбін потужністю 700 МВт. Ця подія стала епохальною для "Toshiba Corp.", оскільки саме з випуском цього агрегату сумарна потужність виготовлених нею за 70-літній період турбін перевищила 100 ГВт. Їхня загальна кількість склала 1671 од.

* Більш докладно про виробничу діяльність корпорації можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.toshiba.co.jp>.

Виробництвом газотурбінних агрегатів "Toshiba Corp." займається з 1982 р. Ведеться воно в рамках підрозділу **"Industrial and Power Systems & Services Company"**, штаб-квартира якого розташована в Хамамацучо (передмістя Токіо). Основу цього підрозділу складають науково-дослідний центр і два виробничих підприємства (в Йокогамі та Токіо)*. До складу підрозділу також входять дочірні компанії "Toshiba GE Turbine Components Co., Ltd.", "Toshiba GE Turbine Services Co., Ltd.", "Toshiba Plant System Co., Ltd." та ін.

Науково-дослідний центр веде свою історію від двох токійських дослідницьких лабораторій, які виникли в 1899 та 1906 рр. і належали відповідно компаніям "Tokyo Electric Co." та "Shibaura Engineering Works Co., Ltd.". Перша з них у 1947 р. одержує назву "Matsuda Research Laboratory", друга з 1944 р. іменується як "Tsurumi Research Laboratory". У результаті їхнього об'єднання у 1961 р. була створена центральна дослідницька лабораторія ("Central Research Laboratory"), якій у 1969 р. присвоюють статус науково-дослідного центру ("Research & Development Center").

Компанія в Йокогамі (**"Keihin Product Operations"**) займається виготовленням різноманітного енергетичного встаткування. Крім збирання та комплектації газотурбінних агрегатів це підприємство випускає парові турбіни, різні елементи і вузли атомних та гідравлічних електростанцій, паливні елементи, природоохоронне встаткування.

Виробниче підприємство, яке розташоване в передмісті Токіо Фучу ("Fuchu Operations-Industrial and Power Systems & Services"), виготовляє системи контролю і керування енергетичних установок, системи захисту, цифрові контрольні пристрої.

Компанія "Toshiba GE Turbine Components Co., Ltd." (м. Йокогама) є спільним підприємством "Toshiba Corp." та "General Electric Co.", яке спеціалізується головним чином на виготовленні лопаткового апарата турбомашин.

Ремонтними роботами газотурбінних агрегатів "General Electric Co.", а також їхнім сервісним обслуговуванням займається інше спільне підприємство "Toshiba GE Turbine Services Co., Ltd." (м. Йокогама).

Продукція компанії

На сьогодні єдиним видом газотурбінної продукції "Toshiba Corp." є енергетичні агрегати, що комплектуються з двигунів сімейств "Frame 6", "Frame 7" та "Frame 9" американської фірми "General Electric Co."**. Постачання вироблених ГТА здійснюється на територію Японії та сусідніх азіатських країн.

На базі цих двигунів "Toshiba Corp." також здійснює комплектацію різноманітних парогазових і когенераційних установок.

* Адреси підприємств відповідно: 4-2 Chome, Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama 230-0045, Japan; 1, Toshiba-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8511, Japan.

** Див. опис продукції "General Electric Co.".

4.6. "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd." (Японія)

	Повне найменування: "Mitsui Engineering & Shipbuilding Company, Limited". Штаб-квартира: м. Токіо, Японія. Чисельність працюючих: 11024 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd." є складовою частиною японської фінансово-промислової групи "Mitsui".

Одна з найдавніших у світі корпорацій "Mitsui" в даний час являє собою вільний концорціум незалежних компаній ("кейретцу"). Вона веде історію з невеликого підприємства з виробництва кімоно під назвою "**Echigoya**", заснованого в Токіо у 1673 р. Такатоши Міцуї (1622–1694)*. Досягнувши успіху за рахунок застосування нетрадиційного на той час методу торгівлі цим товаром (не шиттям на замовлення, а масовим виробництвом продукції), Міцуї став займатися також позичанням у борг та обміном грошей, забезпечуючи торгові операції між містами Токіо й Осака. У 1691 р. він був названий офіційним торговим поставальником правлячого на той час шогуната Токугава. Після смерті Такатоши Міцуї його родина виробила свій перший статут, в якому серед іншого обумовила також деталі розподілу власності за галузями та обов'язки сімейної ради, яка періодично скликається для вирішення проблем управління бізнесом. У XVIII–XIX ст. сімейство Міцуї було найбагатшою і найвідомішою торгово-промисловою родиною в Японії, яка постійно заохочувалася японським урядом.

Такаши Масуда 1 липня 1876 р. заснував перший у країні приватний банк "Mitsui Bank" (у даний час "Sumitomo Mitsui Banking Corp.").

На початку XX ст. сімейна корпорація "Mitsui" включала у свій склад більше 150 фінансових, промислових і торгових компаній. До кінця Другої Світової війни їхнє число зросло вже до 270.

Після того як сімейні корпорації в Японії були розпущені американською окупаційною владою й акції їх підприємств були розпродані з торгів, тепер уже незалежні компанії у 1950 р. створили фінансово-промислову групу "Mitsui", яка продовжила традиції корпорації в галузі торгівлі, банківської справи, суднобудування, будівництва, гірничодобувної, хімічної, нафтопереробної та газової промисловості, а також страхової справи.

Компанія, попередник "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.", була створена 14 листопада 1917 р. у результаті реорганізації корпорації "Mitsui & Co., Ltd." як її суднобудівний підрозділ. Центром підприємства став (і дотепер залишаєть-

* У перекладі "Mitsui" означає "Три джерела".

ся) суднобудівний завод у м. Тамано (префектура Окаяма). Перше судно ("Kaisei Maru") було спущене на воду наприкінці 1917 р.

В історії компанії 1926 рік відзначений подією, яка багато в чому визначила її подальшу виробничу діяльність: при збереженні суднобудування як головного виробництва була укладена технічна ліцензійна угода з датською фірмою "Burmeister & Wain" про випуск судових дизельних двигунів. Перший з них виробляється вже в 1928 р.

У 1937 р. компанія номінально відокремлюється від "Mitsui & Co., Ltd." та із цього часу йменується як **"Tama Shipyard Co., Ltd."**. У 1942 р. її назва змінюється на **"Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd."** ("MES").

У даний час виробнича діяльність компанії зосереджена на таких головних напрямках*:

- суднобудування (32,2 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції);
- металоконструкції та будівельне встаткування (10,7 %);
- машинобудування (38,4 %);
- природоохоронне встаткування, хімічні й інші заводи (11,4 %).

Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції "MES" склав 516 млрд йен (4,81 млрд дол.), з яких 28 % становила реалізація товарів за межами Японії. Компанія має три головні заводи "Tamano Works", "Chiba Works" та "Oita Works", чотири науково-дослідних інститути.

Компанія "MES" є одним із провідних світових виробників судових дизельних двигунів. У 2002 р. їх сумарна виготовлена потужність досягла 40 млн к. с., у 2005 р. – 50 млн к. с. (світовий рекорд у виробництві дизелів однієї торгової марки).

З 1963 р. "MES" випускає парові турбіни. За цей час їх виготовлено більше 300 од. судового, енергетичного та привідного призначення потужністю 2...150 МВт. З 1995 р. парові турбіни випускаються за ліцензією компанії "ALSTOM S.A.".

Газотурбобудуванням компанія почала займатися в 1949 р. Першим її продуктом у цій галузі стало створення в 1953 р. турбонагнітача для судового дизельного двигуна. Одночасно із цим велася розробка власного газотурбінного двигуна. Цей ГТД (рання модель **SB15**) потужністю 1350 кВт надійшов у серійне виробництво в 1965 р.

З 1967 р. "MES" веде роботи зі створення двигунів великої потужності. Два ГТД **SB90** потужністю 8 МВт кожний за замовленням японської фірми "Toyo Engineering Corp." на початку 70-х років були встановлені на заводі з виробництва добрив у Східному Пакистані (нині Бангладеш). У 1979 р. компанія представила модель **SB60-2**, яка мала тоді потужність 10 МВт. У 1982 р. пові-

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.mes.co.jp>.

домляється про створення нового двигуна **SB120**, перший екземпляр якого був проданий у 1986 р.

Розробка і створення газотурбінної техніки ведуться на базовому підприємстві компанії в м. Тамано (префектура Окаяма)*.

Продукція компанії

На сьогодні в галузі газотурбобудування "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd." виготовляє:

енергетичні газотурбінні агрегати серії "MSC" потужністю 3,5...10,7 МВт;

двигуни серії "SB" потужністю 1...23 МВт, що мають ККД 25...30 %;

парогазові установки типу "MACS" потужністю 8,5...13,2 МВт.

Енергетичні ГТА серії "MSC" (MSC40, MSC50, MSC60, MSC70, MSC90 та MSC100) комплектуються компанією на базі двигунів американської фірми "Solar Turbines Inc." ("Centaur 40", "Centaur 50", "Taurus 60", "Taurus 70", "Mars 90" і "Mars 100") відповідно до угоди, підписаної в 1996 р.**

Двигуни серії "SB" власної розробки виконані одновальними (крім SB60-2, який має двовальний ротор) за простою тепловою схемою і призначені для приводу генераторів струму частотою 50 або 60 Гц (табл. 4.6.1). Вони обладнані вбудованим редуктором, що знижує частоту обертання до необхідного генератору значення. Історично продовжують лінію енергетичних двигунів, які розробляються компанією з 1954 р. Поставляються (як і ГТА серії "MSC"), як правило, у складі когенераційних установок, що забезпечують одночасне вироблення електричної та теплової (у вигляді пари чи гарячої води) енергії. Оснащені спеціально розробленою низькоемісійною камерою згоряння.

Таблиця 4.6.1. Характеристики двигунів серії "SB"

Параметри	SB5	SB15	SB30E	SB60-2	SB60-1	SB120
Номінальна потужність, МВт	1,1	2,7	7,3	12,5	13,6	23,0
ККД, %	25,5	25,6	28,0	29,6	29,7	30,5
Витрата робочого тіла, кг/с	5,0	14,5	32,9	55,3	59,4	102,0
Міра підвищення тиску	10,0		12,5	12,1	13,2	11,7
Температура газу за ГТД, К	765	764	775	729	765	748
Частота обертання силової турбіни, об/хв	26600	13070	11380	5680	6780	5070
Маса, т	1,0	6,4	18,8	54,7	52,0	90,0
Довжина, м	1,9	3,0	4,9	7,4	6,9	9,4
Ширина, м	1,4	1,5	2,3	3,3		4,4
Висота, м	1,9	3,0	3,7	4,5		6,0

* Адреса підприємства: 1-1, Tama 3-chome, Tamano, Okayama 706-8651, Japan.

** Див. опис продукції "Solar Turbines Inc.".

Сучасні модифікації двигунів випускаються: SB60-2 – з 1981 р., SB120 – з 1985 р., SB15 – з 1986 р., SB5 – з 1987 р., SB60-1 – з 1988 р., SB30E – з 1995 р.

На сьогодні найбільш продаваним ГТД цієї серії є **двигун SB5**. На його основі комплектуються когенераційні енергетичні агрегати **GP1000** (працюють на газоподібному паливі) та **MPP1000** (на рідких сортах палива), в яких коефіцієнт використання енергії палива досягає 73 %; при цьому генерується до 3 т пари в годину. При щоденному вмиканні та вимиканні агрегату його ресурс до капітального ремонту становить не менше 8000 год. На початок 2006 р. було продано більше 50 таких когенераційних агрегатів комунальним та промисловим споживачам (усього продано двигунів SB5 близько 100 од.).

За даними на 2000 р. компанія виготовила одинадцять ГТД SB60-1/2 і два SB120. Вартість повністю укомплектованих енергетичних агрегатів із SB60-1/2 оцінювалася на той час у 5,95...6,45 млн дол., із SB120 – у 9,75...10,1 млн дол. Також було виготовлено шість двигунів SB90 потужністю 16,8 МВт, випуск яких припинився у 1995 р.

Двигуни **SB60-1/2** та **SB120** оснащені однокаскадними осьовими компресорами, які мають відповідно 16 і 10 ступенів. Однотрубчаста протитокова камера згоряння монтується безпосередньо на корпусі турбіни. Подавання палива здійснюється через три форсунки. Жарова труба виготовлена зі сплаву "Hastelloy X", корпус – із хромонікелевої сталі типу 18-8. Турбіна одновальних ГТД SB60-1 та SB120 – осьова, 4-ступінчаста. Для двовального SB60-2 турбіна компресора і вільна силова турбіна мають по два ступені кожна. Робочі лопатки 1-го ступеня виконані зі сплаву U710, 2-го і 3-го – зі сплаву IN700, 4-го – зі сплаву A286. Для соплових лопаток перших двох ступенів використаний сплав X40, для двох останніх – сплав LCN155. Робочі лопатки 1-го ступеня охолоджуються компресорним повітрям. В опорах роторів установлені опорні та упорні підшипники ковзання.

На базі енергетичних агрегатів MSC70 ("Taurus 70"), MSC90 ("Mars 90") і MSC100 ("Mars 100") компанія "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd." з 1997 р. виготовляє **парогазові установки типу "MACS"** ("Mitsui Advanced Cogeneration System") – **MACS70, MACS90 та MACS100**. Ці ПГУ генерують струм для енергомереж частотою 50 або 60 Гц; складаються з одного двигуна і встановленого на ньому теплоутилізаційного контуру, який комплектується з устаткування компанії.

4.7. "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd." (Японія)

	<i>Повне найменування:</i> "Daihatsu Diesel Manufacturing Company, Limited". <i>Штаб-квартира:</i> м. Осака, Японія. <i>Чисельність працюючих:</i> 982 чол. (2006 р.).

Відомості про компанію

Слово "дейхетцу" ("daihatsu") утворене поєднанням найменувань перших ієрогліфів у словах "Осака" і "двигун".

Компанія заснована 1 березня 1907 р. групою професорів Національного університету в Осаці для виробництва розроблених ними конструкцій газових поршневих двигунів. Спочатку вона мала найменування **"Hatsudoki Seizo Company, Ltd."** ("hatsudoki" – двигун). Двигуни відрізнялися високою надійністю і на початку XX ст. досить широко використовувалися в японській гірничо-добувній промисловості. До числа досягнень компанії в цей період можна віднести газовий двигун потужністю 15 кВт, уперше представлений на виставці в Тейшо в 1914 р.

Співробітництво з американською фірмою "R.M. Bit Corp.", що знаходилася в Чикаго, привело до появи у травні 1922 р. першого експериментального дизельного двигуна компанії (потужністю 2,2 кВт). Відмітною особливістю останнього була нетрадиційна паливна система, що наближало його за конструкцією до сучасних дизелів з передкамерним згорянням палива. Дизелі "Hatsudoki Seizo Co., Ltd.", які застосовувалися в промисловості, автомобільному і морському транспорті, у першій половині XX ст. мали високу репутацію, багато в чому забезпеченою їхньою конструктивною простотою та зручністю в експлуатації.

Паралельно з випуском поршневих двигунів компанія в 30-х роках організовує власне виробництво автомобілів. Перший автомобіль (триколісний) "Hatsudoki Seizo Co., Ltd." представлений у 1930 р.

Неофіційне товарне найменування "дейхетцу", що затвердилося за продукцією компанії, у грудні 1951 р. офіційно з'являється в її назві, яка змінюється на **"Daihatsu Motor Company, Ltd."**.

Диверсифікованість виробництва в післявоєнний період (особливо розвиток автомобільного бізнесу компанії) послужила причиною того, що в травні 1966 р. з "Daihatsu Motor Co., Ltd." виділяється в окреме підприємство виробництво поршневих двигунів. Нова компанія одержує назву **"Daihatsu Diesel Manufacturing Company, Ltd."**. Крім двигунів вона спеціалізується також на випуску різноманітного автомобільного та машинобудівного встаткування. Первісний капітал компанії становив 1 млрд йен, чисельність працюючих – 930 чол.

Наприкінці 60-х років перед "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd." постала проблема розширення виробничих потужностей і модернізації використовуваного встаткування. Здійснювати виробничий процес у такому великому мегаполісі, як Осака ставало з кожним роком усе важче, тому в листопаді 1969 р. у невеликому місті Моріяма (префектура Шига) починається будівництво нового заводу компанії (сьогодні завод № 1), куди після закінчення будівництва в липні 1977 р. з Осаки переводиться все основне встаткування. У 1979 р. у цьому ж місті починає працювати завод № 2*.

Продукція компанії

У даний час "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd." у галузі газотурбобудування виготовляє:

одновальні ГТД серії "DT" потужністю 440...4400 кВт, що мають ККД 18...20 %;

двовальні ГТД серій "DF" і "DFL" потужністю 360...920 кВт із ККД 17...19 %.

На базі виготовлюваних одновальних двигунів компанія комплектує енергетичні модулі типу "TX".

Крім газотурбінної техніки компанія виготовляє**:

суднові головні дизельні двигуни серій "DKM" і "DKMS" потужністю 500...4400 кВт;

суднові допоміжні дизельні двигуни серій "M", "DK", "DL", "DLB" та "DC" потужністю 50...5080 кВт;

промислові поршневі двигуни серій "M", "DK", "DL" і "DV" енергетичного й привідного призначення потужністю 75...7000 кВт;

когенераційні установки на базі власних поршневих і газотурбінних двигунів; автоматичні дверні пристрої, редуктори, алюмінієві диски й т. д.

Нижче наводяться характеристики газотурбінного встаткування, яке випускається компанією.

Двигуни серії "DT"

Двигуни серії "DT" ("Daihatsu Turbine") (табл. 4.7.1) виконуються за простою тепловою схемою і мають одновальну конструкцію (рис. 4.7.1). Підвищення тиску повітря здійснюється в одноступінчастому відцентровому компресорі. Корисна потужність, а також потужність на привід компресора виробляються двоступінчастою осьюовою турбіною. Спалювання палива відбувається в однотрубній індивідуальній камері згоряння. Усі ГТД спроектовані для роботи на рідкому паливі (гас, дизельне паливо і т. д.). Обертання ротора

* Адреси заводів відповідно: 45 Amura-cho, Moriyama-city, Shiga, 524-0035 Japan; 808-2, Furutaka-cho Aza-Matsuzuka, Moriyama-city, Shiga, 524-0044 Japan.

** Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.dhtd.co.jp>.

спрямоване проти годинникової стрілки. Відбирання корисної потужності здійснюється з боку компресора.

Таблиця 4.7.1. Характеристики двигунів серії "DT"

Двигуни	Номінальна потужність, кВт	ККД, %	Витрата робочого тіла, кг/с	Міра підвищення тиску	Температура газу за ГТД, К	Частота обертання ротора, об/хв
DT-4	441	19,8	3,0	7,9	843	41000
DT-6	662	20,1	4,7	8,0	883	34200
DT-4W	883	19,8	5,9	7,9	843	41000
DT-10	1103	18,7	8,3	8,0	793	25000
DT-10A	1324	20,1	8,3	8,1	833	34200
DT-14	1546	20,1	10,3	8,1	873	23300
DT-20	2206	20,5	14,7	8,2	883	21000
DT-10W	2206	18,7	16,6	8,0	793	25000
DT-10AW	2648	20,1	16,6	8,1	833	34200
DT-14W	3089	20,1	20,6	8,1	873	23300
DT-20W	4412	20,5	29,4	8,2	883	21000

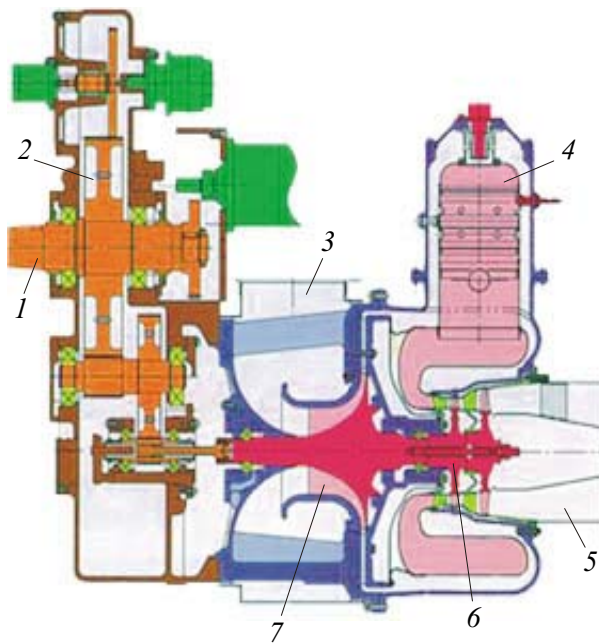


Рис. 4.7.1. Конструктивна схема двигуна серії "DT":
1 – вихідний вал редуктора;
2 – редуктор; 3 – підведення повітря до ГТД; 4 – КЗ;
5 – газовипуск; 6 – турбіна;
7 – компресор

Для зменшення частоти обертання ротора двигуни додатково оснащуються вбудованим редуктором. В усіх конструкціях, крім DT-20 та DT-20W, використовується двоступінчаста зубчаста передача з рівнобіжним розташуванням валів. У DT-20 та DT-20W (останні розробки компанії) застосовується планетарний

редуктор. Частота обертання вихідного вала передачі відповідає частоті обертання ротора чотириполюсного генератора струму і становить 1500 або 1800 об/хв. Двигуни, що мають у позначенні букву "W", являють собою спарування двох ГТД, які передають потужність споживачу через підсумовуючий редуктор (рис. 4.7.2).

Запуск ГТД здійснюється за допомогою електродвигунів постійного струму напругою 24 або 60 В, для забезпечення чого в комплект постачання входять акумуляторні батареї ємністю 400...2000 А·год. Час запуску не перевищує 40 с. У деяких модифікаціях передбачена пневматична пускова система.

На базі двигунів серії "DT" "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd."

комплектують енергетичні ГТА типу "TX" (табл. 4.7.2). Агрегати генерують трифазний перемінний струм частотою 50/60 Гц напругою 220 (200), 440 (400) та 6600 (6000) В.

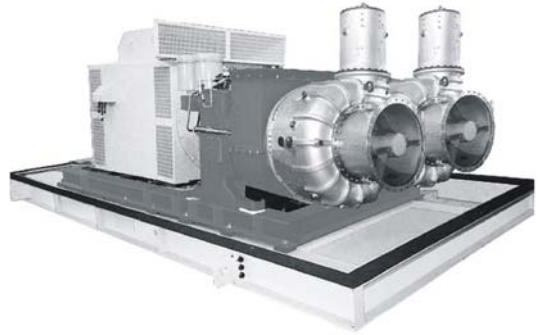


Рис. 4.7.2. Двигун DT-20W

Таблиця 4.7.2. Характеристики енергетичних агрегатів типу "TX"

Моделі	Потужність ГТА, кВт	Тип ГТД	Потужність ГТД, кВт	Маса, кг	Габарити, м
TX200	160	DT-4	180	250	3,2×1,6×2,1
TX250	200		228		
TX300	240		268		
TX375	300		331		
TX400	320		353		
TX500	400		441		
TX625	500	DT-6	551	450	4,0×1,8×2,5
TX750	600		662		
TX1000	800	DT-4W	882	500	4,0×2,3×3,5
TX1250	1000	DT-10	1103	1200	5,0×2,3×3,2
TX1500	1200	DT-10A	1324		
TX1750	1400	DT-14	1546		
TX2000	1600	DT-20	1765	1750	5,4×1,8×3,3
TX2500	2000		2206		
TX3000	2400	DT-10AW	2648	2400	6,0×2,8×4,8
TX3500	2800	DT-14W	3089		
TX4000	3200	DT-20W	3529	3500	6,6×2,6×3,7
TX4500	3600		3971		
TX5000	4000		4412		

Двигуни серій "DF" та "DFL"

Двигуни серій "DF" ("Daihatsu Fluid") та "DFL" ("Daihatsu Fluid L-type") (табл. 4.7.3) створювалися на базі добре зарекомендованих в експлуатації енергетичних DT-4, DT-6 і DT-10 спеціально для використання як привід різних насосних агрегатів, що вплинуло на їхню конструкцію (рис. 4.7.3).

Таблиця 4.7.3. Характеристики двигунів серій "DF" та "DFL"

Параметри	DF-4	DF-6	DF-10	DFL-4	DFL-6	DFL-10
Номінальна потужність, кВт	367	551	919	367	551	919
ККД, %	18,2	18,8	18,0	17,7	18,3	17,5
Витрата робочого тіла, кг/с	3,0	4,7	8,3	3,0	4,7	8,3
Ступінь підвищення тиску	7,9	8,0		7,9	8,0	
Температура газу за ГТД, К	808	833	773	808	833	773
Частота обертання, об/хв:						
ротора компресора	41000	35000	25000	41000	35000	25000
вихідних валів редукторів	800...1200	650...1000		800...1200	650...1000	

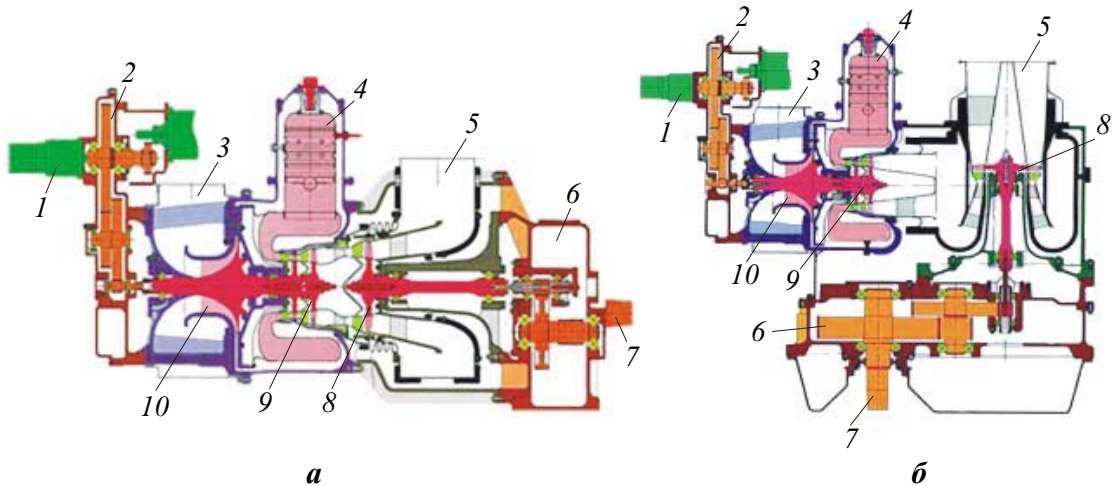


Рис. 4.7.3. Конструктивна схема двигунів серій "DF" (а) та "DFL" (б):

1, 7 – відповідно вихідні вали 1-го та 2-го редукторів; 2, 6 – відповідно 1-й та 2-й редуктори;
3 – підведення повітря до ГТД; 4 – КЗ; 5 – газопуск; 8 – СТ; 9 – турбіна компресора;
10 – компресор

Двигуни виконані двовальними за простою тепловою схемою. Підвищення тиску повітря здійснюється одноступінчастим відцентровим компресором, який приводиться в обертання двоступінчастою осьовою турбіною. Вільна силова турбіна виконана одноступінчастою. Спалювання палива відбувається в однотрубній індивідуальній камері згоряння. Усі ГТД спроектовані для роботи на рідкому паливі (гас, дизельне паливо і т. д.).

Особливістю цих двигунів є подвійне відбирання корисної потужності.

Частина механічної енергії відводиться споживачу від вала турбокомпресора, частина – від вала вільної силової турбіни. Для зменшення частоти обертання відбирання потужності в обох випадках здійснюється через зубчасту передачу. У більшості ГТД використовуються вбудовані двоступінчасті редуктори з рівнобіжним розташуванням валів. У двигунах серії "DF" відведення крутного моменту з вала силової турбіни здійснюють за допомогою планетарних редукторів.

Серії "DF" та "DFL" відрізняються розташуванням вільної силової турбіни. З метою зручності компонування з привідними насосними агрегатами вільна силова турбіна ГТД серії "DFL" розташовується перпендикулярно до осі ротора газогенератора (так званий "тип L") (див. рис. 4.7.3,б).

Запуск двигунів здійснюється за допомогою електродвигунів постійного струму напругою 24 В, для забезпечення чого в комплект постачання входять акумуляторні батареї ємністю 400...1200 А·год. У деяких модифікаціях передбачена пневматична система запуску.

4.8. "Ebara Corp." (Японія)

	<i>Повне найменування:</i> "Ebara Corporation". <i>Штаб-квартира:</i> м. Токіо, Японія. <i>Чисельність працюючих:</i> 14965 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Компанія "Ebara Corp." веде історію з листопада 1912 р., коли в Токіо було засноване бюро з проектування відцентрових насосів, яке одержало назву **"Inokuchi Type Machinery Office"**. Організатором і науковим керівником бюро був професор Токійського імператорського університету Арія Інокучі; безпосереднім керівником – інженер Іссей Хатакеяма.

Для виробництва розроблених конструкцій відцентрових насосів компанія будує завод у Шинагаві (передмістя Токіо). Його відкриття у травні 1920 р. спричинило заснування нової компанії **"Ebara Corporation"**, яка стала правонаступником "Inokuchi Type Machinery Office".

На сьогодні виробнича діяльність корпорації зосереджена на таких головних напрямках*:

гідравлічні машини та системи (насоси, компресори, турбоагнітатчі, вентилятори, парові турбіни і газотурбінні двигуни) – 49,2 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції компанії;

* Більш докладно про виробничу діяльність корпорації можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.ebara.co.jp>.

природоохоронне встаткування й системи (водоочисні пристрої, каналізаційні системи, системи водопідготовки, встаткування з утилізації промислових відходів тощо) – 34,4 %;

точне машинобудування (встаткування з підтримання вакууму, турбомолекулярні насоси, хімічні фільтри та ін.) – 16,4 %.

У найближчі роки одним з головних напрямків також стане розробка і виробництво нових та поновлюваних джерел енергії (встаткування для вітроенергетики, паливні елементи, системи охолодження атомних енергетичних установок тощо).

Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції "Ebara Corp." склав 478,4 млрд йен (4,45 млрд дол.), з яких 13,6 % становила реалізація товарів за межами Японії. Корпорація має у своєму розпорядженні підрозділи в 17 країнах світу (Італії, США, Великобританії, Китаї, Таїланді, Бразилії, Австралії та ін.).

Продукція компанії

Виробництвом газотурбінних агрегатів "Ebara Corp." займається з 1990 р. Ведеться воно на заводі компанії в м. Содегаура* в рамках підрозділу "Elliott Ebara Turbomachinery Corp.", який займається також виготовленням парових турбін і компресорів.

На сьогодні єдиним видом газотурбінної продукції є енергетичні та привідні агрегати, що комплектуються з газотурбінних двигунів **FT8**, **FT8-3**, **ST6L-79**, **ST6L-81**, **ST18A** і **ST40** американської компанії "Pratt & Whitney Corp."**. Постачання виготовлених ГТА здійснюється на територію Японії та сусідніх азійських країн.

На базі двигунів FT8 "Ebara Corp." комплектує також парогазові та когенераційні установки різноманітного призначення.

4.9. "Yanmar Co., Ltd." (Японія)

	<i>Повне найменування:</i> "Yanmar Company, Limited". <i>Штаб-квартира:</i> м. Осака, Японія. <i>Чисельність працюючих:</i> 2700 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Компанію "Yanmar Co., Ltd." ("Yanma Kabushiki-Gaisha") заснував у Осаці в березні 1912 р. японський інженер Магокічі Ямаока як "**Yamaoka Hatsudoki Kosakusho**" ("Yamaoka Engine Workshop"). З перших років існування визна-

* Адреса підприємства: 20-1 Nakasode, Sodegaura-shi Chiba 299-0296, Japan.

** Див. опис продукції "Pratt & Whitney Corp.".

чилися дві головні виробничі галузі – поршневі двигуни та сільськогосподарське встаткування. Орієнтація на сільське господарство визначила її торговий знак, прийнятий у 1921 р. Бабки в Японії є символом гарного врожаю. Червона бабка "оніянма" ("янмар") – найбільша з них (до того ж співзвучна імені засновника компанії).

У 1921 р. підприємство вперше в Японії організовує випуск рисоочисних машин, використовуючи для цього двигуни власного виробництва. З 1927 р. починається експорт продукції компанії за кордон – двигуни горизонтального типу, що працюють на гасі, поставляються на Філіппіни. У 1928 р. Японська Промислова Асоціація нагороджує компанію пам'ятним знаком за внесок у промисловий розвиток країни.

З 30-х років підприємство випускає дизельні двигуни малої потужності. Перший з них (двотактний потужністю 3,7 кВт) був розроблений у 1930 р. і запущений у серійне виробництво у 1933 р. У цей же період компанія істотно розширює виробництво і відкриває два нових заводи – в Амагасакі (1936 р.) та Нагахамі (1942 р.). З'являються підрозділи й представництва підприємства в інших країнах (в Індії та Філіппінах).

У післявоєнний період "Yamaoka Hatsudoki Kosakusho" швидко відновлює зруйновані заводи і вже в 1947 р. знову в довоєнному обсязі організовує випуск дизельних двигунів. Відновлюється експорт у країни Азії. У цей же час двигуни компанії вперше починають застосовуватися на рибальських судах.

У 1952 р. назва підприємства змінюється на **"Yanmar Diesel Engine Company, Ltd."**, у 2002 р. – на **"Yanmar Company, Limited"**.

На сьогодні виробнича діяльність компанії ведеться за такими головними напрямками*:

- дизельні й газові двигуни (починаючи з 1933 р. виготовлено більше 15 млн дизелів, у т. ч. 1 млн у США; випускаються 210 моделей потужністю 2,5...670 кВт промислового та судового призначення);

- сільськогосподарське встаткування (трактори, комбайни, рисозбиральні машини тощо);

- рибальські й прогулянкові судна невеликої водотоннажності;

- будівельне встаткування (екскаватори, бульдозери, автотранспортувальники та ін.).

Сумарний обсяг реалізованої у 2004 р. продукції "Yanmar Co., Ltd." склав 161,3 млрд йен (1,51 млрд дол.). Компанія відома також тим, що є власником однієї з провідних японських футбольних команд "Cerezo Osaka".

Виробництвом газотурбінних двигунів "Yanmar Co., Ltd." займається з 1982 р. Ведеться воно на заводі в м. Амагасакі (префектура Хіого), де виробляються також дизельні та газові двигуни середньої потужності**. У 2000 р. мікро-

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.yanmar.co.jp>.

** Адреса підприємства: Higashi-dori 1-1-1, Nagasu, Amagasaki-shi, Hyogo, Japan.

турбіни компанії були відмічені призом Міністерства торгівлі та промисловості Японії.

Продукція компанії

Сьогодні "Yanmar Co., Ltd." у галузі газотурбобудування виготовляє двигуни серії "AT" потужністю 550...2700 кВт та ліцензійні двигуни серії "ATS" потужністю 1260...5700 кВт.

Енергетичні ГТД серії "AT" (табл. 4.9.1) призначені для приводу резервних та аварійних джерел електропостачання. Виконані одновальними за простою тепловою схемою. Підвищення тиску повітря в двигунах AT600S та AT900S здійснюється в одноступінчастому відцентровому компресорі, нагрівання робочого тіла – в однотрубній індивідуальній камері згоряння. Корисна потужність, а також потужність на привід компресора виробляються двоступінчастою осьовою турбіною. Двигуни можуть працювати як на газоподібному, так і на рідкому паливі. Для зниження частоти обертання до значення, яке відповідає обертанню ротора чотириполюсного генератора струму (1500 або 1800 об/хв), застосовуються зубчасті передачі.

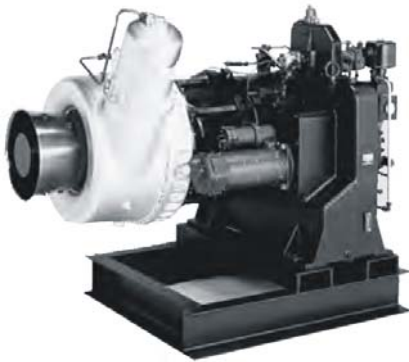
Таблиця 4.9.1. Характеристики двигунів серії "AT"

Параметри	AT600S	AT900S	AT1200S	AT1800S	AT2700S
Номінальна потужність, кВт	550	900	1100	1700	2700
Витрата робочого тіла, кг/с	3,2	5,0	6,4	10,0	15,0
Міра підвищення тиску	8,1	8,2	8,1	8,2	
Температура газу за ГТД, К	833	823	833	798	823
Частота обертання ротора, об/хв	39160	31200	39160	31200	
Маса, кг	710	1400	1230	2600	4200
Довжина, м	1,9	1,7	1,6	2,3	
Ширина, м	0,9	1,1	1,3	1,7	2,3
Висота, м	0,9	1,2	1,3	1,4	1,8

Двигуни AT1200S та AT1800S отримані шляхом спарювання відповідно двох двигунів AT600S і AT900S. Три AT900S, що працюють на привід генератора через підсумовуючий редуктор, утворюють двигун AT2700S (рис. 4.9.1).

Газотурбінні двигуни серії "ATS" (ATS20, ATS40, ATS50 та ATS60) є ліцензійними двигунами американської компанії "Solar Turbines Inc." (відповідно "Saturn 20", "Centaur 40", "Centaur 50" і "Taurus 60")*.

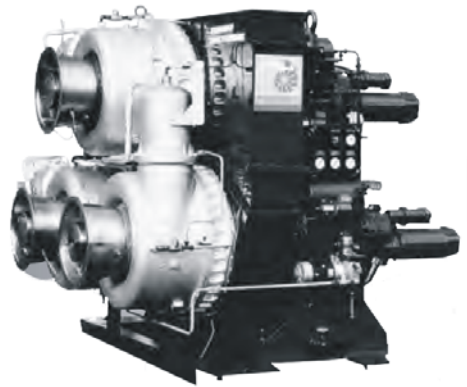
* Див. опис продукції "Solar Turbines Inc.".



а



б



в

Рис. 4.9.1. Двигуни АТ900S (а),
АТ1800S (б) та АТ2700S (в)

4.10. "Hitachi Zosen Corp." (Японія)



Повне найменування: "Hitachi Zosen Corporation".

Штаб-квартира: м. Осака, Японія.

Чисельність працюючих: 8079 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

Попередником компанії є підприємство **"Osaka Iron Works"**, яке було засноване в Осаці 1 квітня 1881 р. англійцем Е. Хантером і займалося виготовленням різноманітної машинобудівної продукції, а також мостів та сталевих споруджень. У перші роки існування компанія інтенсивно розширює виробництво і відкриває кілька нових заводів, зокрема в Осаці в 1900 р. "Sakurajima Works" та в 1922 р. "Chikko Works", у м. Інношима (префектура Хірошіма) в 1911 р. "Innoshima Works", у м. Ономічі (префектура Хірошіма) в 1943 р. "Mukaishima Works", у м. Кавасакі (префектура Канагава) в 1944 р. "Kanagawa Works".

У 1914 р. підприємство реорганізується в акціонерне товариство і змінює назву на **"Osaka Iron Works Ltd."**. У травні 1934 р. воно здобуває статус корпорації – **"Osaka Iron Works Inc."**.

Серед досягнень компанії в перші десятиліття існування можна відзначити будівництво в Осаці за замовленням місцевого муніципалітету різноманітних сталевих конструкцій (у т. ч. й аркового моста "Dojima Ohashi"), а також створення у 1940 р. для компанії "Hitachi, Ltd." 5000-тонного гідравлічного преса.

У 1943 р. підприємство змінює власника, після чого отримує свою теперішню назву **"Hitachi Zosen Corporation"**.

На сьогодні виробнича діяльність "Hitachi Zosen Corp." ведеться за такими головними напрямками*:

природоохоронні системи та промислові установки (39,5 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції);

металоконструкції, будівельне встаткування і системи технічного забезпечення (17,2 %);

суднобудування й берегові спорудження (8,6 %);

машинобудування та привідні двигуни (21,2 %);

інформаційні системи і системи керування, електроніка та ін. (13,5 %).

Сумарний обсяг реалізованої в 2005 р. продукції склав 338 млрд йен (3,14 млрд дол.). Компанія на березень 2005 р. мала 7 заводів, а також 125 філій та підрозділів у всьому світі.

Виробництво газотурбінної техніки ведеться компанією на заводі **"Ariake Machinery Works"** у м. Тамана (префектура Кумамото), де також виробляються дизельні двигуни та встаткування атомних енергетичних установок**.

Продукція компанії

У даний час єдиним видом газотурбінної продукції "Hitachi Zosen Corp." є агрегати **GT10**, **GT13** та **VHP6**, які комплектуються з двигунів 501-KB5S, 501-KB7 і 501-KH5 науково-виробничого центру компанії "Rolls-Royce plc" у м. Індіанаполіс (США)***.

На базі цих двигунів "Hitachi Zosen Corp." виготовляє також когенераційні установки різноманітного призначення.

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.hitachizosen.co.jp>.

** Адреса підприємства: 1 Ariake Nagasi-machi Tamana-gun, Kumamoto 869-0113, Japan.

*** Див. опис продукції науково-виробничого центру в м. Індіанаполіс.

4.11. "Xi'an Aero-Engine Corp." (Китай)



Повне найменування: "Xi'an Aero-Engine Corporation".

Штаб-квартира: м. Ксіан, провінція Шаанксі, Китай.

Відомості про компанію

Компанія "Xi'an Aero-Engine Corp." є конгломератом, що сформувався із часом навколо базового підприємства "Xi'an Aero-Engine Ltd." ("ХАЕ"), яке традиційно виробляє авіаційні ГТД. Сьогодні "ХАЕ" є одним із шести головних заводів Китаю цієї галузі.

Підприємство виникло як один із проектів першого п'ятирічного виробничого плану Китайської Народної Республіки. Воно розташоване на північному краї стародавнього міста Ксіан, у 8 км від сучасного ділового центру міста. За більш ніж 40-річний період "ХАЕ" зробило величезний вклад у зміцнення національної обороноздатності та в цілому в розвиток економіки Китаю. Підприємство кількаразово удостоювалося нагороди "May First Labor Prize", яка присуджується Всекитайською Федерацією професійних спілок.

З кінця 70-х років "ХАЕ" також починає випускати продукцію цивільного призначення, розвиваються зв'язки підприємства з іноземними виробниками та споживачами машинобудівної техніки. Величезний науковий та виробничий потенціал зіграв велику роль для компанії після проведення в країні економічних реформ і так званої "політики відкритих дверей", сприяючи її швидкій адаптації до умов ринкової економіки. У 1995 та 1996 рр. цивільна продукція "Xi'an Aero-Engine Corp." (ткацькі верстати тощо) удостоювалася почесного звання "Shaanxi provincial and State Famous Brand Products". Компанії також присуджувалися державні нагороди за розвиток інноваційних технологій у цій галузі.

У цей час головним видом виготовлюваних авіаційних ГТД є турбореактивні двигуни WP-8 та WP-13. Одновальний двигун WP-8 максимальною тягою 9495 кгс являє собою китайську версію російського двигуна АМ-3М (розробка АМНТК "Союз"). Він установлюється на вироблюваних "Xi'an Aircraft Mfg. Co." стратегічних бомбардувальниках Н-6 ("Hongzhaji-6"), які одержали в документації НАТО найменування "Badger"*. Двокаскадний турбореактивний двигун **WP-13** приводить у рух винищувачі F-8, що випускаються "Shenyang Aircraft Corp.". Його номінальна тяга становить 4800 кгс, із допалюванням палива у форсажній камері – 7000 кгс.

В останні роки "Xi'an Aero-Engine Corp." створила кілька спільних підприємств: "Xi'an XR Aero Components Co. Ltd." (з англійською "Rolls-Royce plc"),

* Китайська версія російського літака Ту-16.

"Xi'an Airfoil Technology Ltd." (з "Pratt & Whitney Corp."), "Xi'an Weide Wind Turbines Co. Ltd." (з німецькою "Nordex") та "Xi'an Mfg. Technology Co. Ltd." (з "CATIC").

Крім авіаційних двигунів "Xi'an Aero-Engine Corp." у цей час виготовляє газові турбодетандери, нафтохімічне і металургійне встаткування, енергетичні установки, електричні індукційні пристрої, прецизійне лиття, алюмінієві штамповані вироби та ін. Чимало із цих товарів надходять на експорт.

У 2005 р. "Xi'an Aero-Engine Corp." у співтоваристві з розрахунковим центром Інституту котлів і турбін (м. Харбін) та Випробувальним центром у м. Усі виготовила дослідний зразок ліцензійного суднового 25-мегаватного двигуна ДА80, який був розроблений і серійно випускається українською компанією НВКГ "Зоря"—"Машпроект".

4.12. "Bharat Heavy Electricals Ltd." (Індія)



Повне найменування: "Bharat Heavy Electricals Limited".

Штаб-квартира: м. Нью-Делі, Індія.

Чисельність працюючих: 43302 чол. (березень 2005 р.).

Відомості про компанію

На сьогодні "Bharat Heavy Electricals Ltd." ("BHEL") – найбільша промислова компанія в Індії, яка займається розробкою і створенням енергетичного встаткування.

Протягом більше 40 років "BHEL" бере активну участь у розвитку економіки країни і всього азіатського регіону. Компанія регулярно має прибуток з 1971 р. З 1976 р. щорічно виплачуються дивіденди. За час свого існування "BHEL" виконала постачання енергетичного встаткування сумарною потужністю більше 90 ГВт. Для ліній передавання та перетворення електроенергії загальний обсяг постачань продукції склав 225 тис. МВЧА. Виготовлено більше 25 тис. привідних двигунів та 1 млн клапанів для різних галузей промисловості. Локомотиви компанії забезпечують функціонування 12 тис. км залізниць.

Відповідно до установчого акта 1956 р. "Bharat Heavy Electricals Ltd." є державною компанією. На сьогодні 67,72 % її акцій номінально належать президенту Індії (ще 22,74 % – іноземним інвесторам).

Виробнича діяльність компанії ведеться за такими головними напрямками*: енергетичний (проектування, створення, монтаж та сервісне обслугову-

* Більш докладно про виробничу діяльність компанії можна дізнатися на її офіційному сайті: <http://www.bhel.com>.

вання встаткування для теплових електростанцій з паровими турбінами і газотурбінними агрегатами, а також для гідроелектростанцій) – 73,9 % від загального обсягу реалізованої в 2005 р. продукції;

промисловий (електровстаткування, локомотиви, промислові установки, компресори, тепло- й електропередавальні системи та пристрої тощо) – 22,6 %;

міжнародні операції (постачання продукції енергетичного й промислового секторів за кордон) – 3,5 %*.

Сумарний обсяг реалізованої у 2005 р. продукції "Bharat Heavy Electricals Ltd." склав 103,4 млрд рупій (2,37 млрд дол.). Компанія виготовляє більше 180 найменувань продукції в 30 категоріях. До складу "BHEL" входять 14 виробничих підприємств, чотири регіональних центри енергетичного сектора, вісім сервісних центрів та 18 регіональних представництв.

Газотурбобудуванням компанія займається з 1995 р. Основною продукцією є ГТА енергетичного і привідного призначення, що комплектуються з двигунів, які поставляються американською фірмою "General Electric Co." та німецьким концерном "Siemens AG". За даними на березень 2005 р. "Bharat Heavy Electricals Ltd." виготовила близько 100 агрегатів, які напрацювали в сумі біля 4 млн год. Також існували замовлення на ще 50 таких ГТА. Виготовлені агрегати були поставлені крім Індії також в Італію, Китай, Саудівську Аравію, Малайзію, В'єтнам, Бангладеш, Шрі Ланку, Ірак та Оман.

Виробництво газотурбінної техніки ведеться на заводі "**Heavy Power Equipment Plant**" у м. Хідерабад. У склад "BHEL" входять два спільних підприємства: "BHEL-GE Gas Turbine Services Ltd." із "General Electric Co." з ремонту та сервісного обслуговування двигунів американської фірми та "Power Plant Performance Improvement Ltd." із "Siemens AG" з удосконалювання газотурбінних агрегатів цієї компанії, які знаходяться в експлуатації більше семи років.

За ліцензією "Siemens AG" компанія "Bharat Heavy Electricals Ltd." на заводі в м. Харідвар займається виробництвом парових турбін енергетичного та привідного призначення потужністю 1...1000 МВт із початковим тиском пари 3...30 МПа.

Продукція компанії

У даний час "Bharat Heavy Electricals Ltd." відповідно до технічних угод із "General Electric Co." та "Siemens AG" виконує постачання такої продукції:

енергетичних ГТА простої теплової схеми потужністю 10...270 МВт, які мають ККД 25,6...37,8 % (табл. 4.12.1);

привідних агрегатів потужністю 5...28 МВт;

парогазових установок потужністю 38...410 МВт (табл. 4.12.2);

когенераційних установок різноманітної комплектації**.

* Компанія поставляє свою продукцію в країни Південно-Східної Азії, а також Грецію, Казахстан, Кіпр, Єгипет та ін.

** Див. опис продукції "General Electric Co." та "Siemens AG".

Сучасні газотурбінні агрегати

Таблиця 4.12.1. Характеристики енергетичних та привідних агрегатів компанії "BHEL"

Агрегати	Номінальна потужність, МВт	ККД, %	Міра підвищення тиску	Витрата робочого тіла, кг/с	Температура газу за ГТД, К
Енергетичні агрегати					
PG3142(J)	10,4	25,6	7,1	52,2	799
PG5371(PA)	26,3	28,5	10,5	122,4	760
PG6581(B)	42,1	32,1	12,2	145,6	817
PG6591(C)	42,3	36,3	19,0	117,0	847
PG6111(FA)	75,9	35,0	15,6	210,0	878
PG9171(E)	126,1	33,8	12,6	403,6	811
V94.2	157,0	34,4	11,1	513,4	813
PG9351(FA)	255,6	36,9	15,4	644,9	882
PG9371(FB)	268,8	37,8	18,5	644,9	881
Привідні агрегати					
MS1002	5,1	26,3	8,2	24,6	798
MS3142(J)	10,9	26,7	7,1	52,2	815
MS3142R(J)	10,4	34,4	7,3	52,2	754
MS5382(C)	28,4	29,3	8,9	126,1	789

Таблиця 4.12.2. Характеристики парогазових установок компанії "BHEL"

Назва	Кількість і тип двигунів	Потужність на клемах генератора, МВт	ККД на клемах генератора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбінної частини, МВт
CC105P	1×MS5001	38,5	41,7	25,9	18,2
CC205P	2×MS5001	77,8	42,1	51,8	27,2
CC305P	3×MS5001	117,2	42,3	77,7	41,4
CC106B	1×MS6001B	64,3	49,0	41,6	23,8
CC206B	2×MS6001B	130,7	49,8	83,2	49,4
CC106C	1×MS6001C	62,7	54,1	41,7	21,9
CC206C	2×MS6001C	126,2	54,4	83,4	44,7
CC106FA	1×MS6001FA	117,0	54,2	75,2	43,5
CC206FA	2×MS6001FA	234,8	54,4	150,4	87,8
CC109E	1×MS9001EA	190,7	51,4	124,0	70,0
CC209E	2×MS9001EA	384,0	51,7	248,0	142,1
CC309E	3×MS9001EA	577,0	52,0	372,0	214,0
CC1.942	1×V94.2	232,5	51,5	152,0	85,5
CC2.942	2×V94.2	467,5	51,7	304,0	173,0

Продовж. табл. 4.12.2

Назва	Кількість і тип двигунів	Потужність на клеммах генератора, МВт	ККД на кле- мах генера- тора, %	Потужність ГТД, МВт	Потужність паротурбін- ної частини, МВт
CC3.942	3×V94.2	701,0	51,7	456,0	259,0
CC109FA	1×MS9001FA	383,6	55,4	251,7	137,0
CC209FA	2×MS9001FA	772,0	55,7	503,4	279,0
CC109FB	1×MS9001FB	410,0	57,7	266,0	144,0

Необхідно відзначити, що всі виготовлювані парогазові установки мають енергетичне застосування та призначені для енергопостачання мереж із частотою струму 50 Гц. Установки CC206FA, CC109FA, CC209FA та CC109FB оснащені теплоутилізаційними контурами трьох тисків із проміжним перегріванням пари, CC106FA – без проміжного перегрівання пари. Інші ПГУ мають контури двох тисків.

Контрольні завдання

1. Дайте загальну характеристику газотурбінній техніці, що виготовляється в даний час компанією "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".
2. Проаналізуйте технічні характеристики й конструктивні особливості двигунів сімейств M501 та M701.
3. Поясніть будову та головні характеристики двигунів MF-61, MF-111 і MF-221 компанії "Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.".
4. Розкрийте особливості конструктивного виконання парогазових установок на базі двигунів сімейств M501 та M701.
5. Поясніть будову та основні характеристики двигунів сімейств "M1" і "M7".
6. Проаналізуйте конструкцію установок з подаванням пари до проточної частини компанії "Kawasaki Heavy Industries, Ltd.".
7. Дайте загальну характеристику газотурбінній техніці, що виготовляється сьогодні компанією "Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.".
8. Проаналізуйте технічні характеристики і конструктивні особливості двигунів H-25 та H-15.
9. Розкрийте особливості будови двигунів компанії "Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.".
10. Проаналізуйте номенклатуру і характеристики енергетичних та привідних ГТА, що випускаються компанією "Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd.".

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабарин О., Глина О. Газотурбинная установка FT8 и электростанции на ее основе // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 4. – С. 36–39.
 2. Глина О., Тюрякова-Матвеева Д. Pratt & Whitney – всегда там, где мы нужны // Газотурбинные технологии. – 2003. – № 2. – С. 38–40.
 3. Гуцин А., Грань В. Газотурбинная установка GT10B компании ALSTOM // Газотурбинные технологии. – 2003. – № 1. – С. 38–41.
 4. Гуцин А., Дудко А. Газотурбинная установка GTX100 компании ALSTOM // Газотурбинные технологии. – 2002. – № 6. – С. 34–37.
 5. Малахов С.В., Ольховский Г.Г., Брызгалов В.А. Результаты гарантийных испытаний газотурбинной установки V64.3A на Тюменской ТЭЦ-1 // Теплоэнергетика. – 2006. – № 12. – С. 33–35.
 6. Малахов С.В., Ольховский Г.Г., Голубничий В.А. Испытание газотурбинных установок GT-10C (SGT700) на Сочинской ТЭС // Теплоэнергетика. – 2006. – № 12. – С. 2–10.
 7. Ольховский Г.Г. Разработки перспективных энергетических ГТУ // Теплоэнергетика. – 1996. – № 3. – С. 66–75.
 8. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
 9. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки за рубежом // Теплоэнергетика. – 2004. – № 11. – С. 71–76.
 10. Bonzani F., Pollarolo G., Ferrante F. Ansaldo V94.2K gas turbine burner performances operating with steelworks process gas – natural gas fuel // Ansaldo Power Generation News. – 2005. – № 1. – P. 17–25.
 11. Development of M701F gas turbine for integrated VR gasification combined cycle plants / T. Sonoda, T. Komori, M. Kato, Y. Kitauchi, Y. Iwasaki // MHI Technical Review. – Vol. 41, № 1 (Feb. 2004). – P. 11–13.
 12. Granser D., Rocca F. New high efficiency 70 MW heavy-duty gas tyrbine // Ansaldo Power Generation News. – 1996. – № 4. – P. 21–35.
 13. Iida Y., Shibuya S. 1500 °C-class combined-cycle systems // Toshiba Review. – 2001. – Vol. 56, № 6. – P. 5–10.
 14. Okubo T., Shibuya S. Planning of next-generation 1500 °C-class combined-cycle power plant // Toshiba Review. – 2003. – Vol. 58, № 6. – P. 41–44.
 15. 25 MW gas turbine MFT-8 for compressor driver / S. Hata, H. Fukui, M. Kobayashi, O. Isumi // MHI Technical Review. – Vol. 41, № 3 (Jun. 2004). – P. 21–24.
 16. Various applications of high-efficiency H-25 gas turbine / H. Murata, J. Goto, N. Nakata, S. Kusaka // Hitachi review. – 2005. – Vol. 54, № 3. – P. 110–115.
-

ПРАВИЛА ПЕРЕРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОТУРБІННИХ АГРЕГАТІВ

Перерахунок технічних параметрів, які найчастіше використовуються в англомовній літературі для аналізу газотурбінних агрегатів, зведений в табл. 1Д. Необхідність його подання в цьому навчальному посібнику пояснюється тим, що такі країни, як Великобританія, США, Канада, Австралія та деякі інші, незважаючи на прийняття ряду відповідних законодавчих актів, дотепер користуються так званою *англійською системою мір*, заснованою на одиницях фут, фунт, секунда.

Таблиця 1Д. Перерахунок параметрів газотурбінних агрегатів

позначення	Вихідний параметр (А)	Кінцевий параметр (Б)	Формула перерахунку
	назва		
°C	Градуси за шкалою Цельсія	К	$A + 273,18$
°F	Градуси за шкалою Фаренгейта	°C	$(A - 32) \times 5/9$
bar	Бар	Па	$A \times 1 \cdot 10^5$
Btu	Британська теплова одиниця	Дж	$A \times 1054,8$
Btu/h	Британська теплова одиниця на годину	Вт	$A \times 0,2929$
Btu/hp-h	Британська теплова одиниця на кінську силу в годину	кДж/(кВт·год)	$A \times 1,4148$
Btu/lb	Британська теплова одиниця на фунт	кДж/кг	$A \times 2,3255$
ft	Фут	м	$A \times 0,3048$
ft ²	Фут квадратний	м ²	$A \times 0,0929$
ft ³	Фут кубічний	м ³	$A \times 0,02832$
ft-min	Фут у хвилину	км/год	$A \times 0,01829$
gal (U.S.)	Галон американський	м ³	$A \times 3,785 \cdot 10^{-3}$
gal (U.S.)	Галон американський	л	$A \times 3,785$
hp (metric)	Метрична кінська сила	кВт	$A \times 0,7354$
hp (UK)	Англійська кінська сила	кВт	$A \times 0,7457$
in	Дюйм	мм	$A \times 25,4$
kcal	Кілокалорія	кДж	$A \times 4,186$
lb	Фунт	кг	$A \times 0,4536$
lb/ft ³	Фунт на фут кубічний	кг/м ³	$A \times 16,018$
lb/hp-h	Фунт на кінську силу в годину	кг/(кВт·год)	$A \times 0,6083$
psi (lb/in ²)	Фунт на дюйм квадратний	Па	$A \times 6894,8$

Додаток

За відомим значенням теплового коефіцієнта X (так званим "Heat Rate") можна визначити ефективний ККД газотурбінного агрегату таким чином (залежно від його розмірності):

1) $\eta_e = 3600/X$, де X вимірюється в kJ/kWh ;

2) $\eta_e = 3413/X$, де X вимірюється у Btu/kWh ;

3) $\eta_e = 2545/X$, де X вимірюється у Btu/hp-h або Btu/shp .

Ефективний ККД газотурбінних агрегатів може бути також знайдений за відомим значенням питомої витрати палива g_e , $\text{кг}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$:

$$\eta_e = \frac{3600}{Q_n^p g_e},$$

де Q_n^p – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг .

