

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В. Є. Спіцин, В. І. Харченко

**БУДОВА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА
ТИПУ UGT 25000E**

У двох частинах

Частина 1

Конструкція газотурбінного двигуна

*Рекомендовано Методичною радою НУК
як навчальний посібник*

Миколаїв 2007

УДК 621.438(075.8)
ББК 39.15я7
С 72

Рекомендовано Методичною радою НУК як навчальний посібник

Рецензент М. В. Ващиленко, кандидат технічних наук, доцент

Спіцин В.Є., Харченко В.І.

С 72 Будова газотурбінного двигуна типу UGT 25000E: У 2 ч. Ч. 1:
Конструкція газотурбінного двигуна: Навчальний посібник. – Мико-
лаїв: НУК, 2007. – 52 с.

Наведено опис конструкції основних елементів газотурбінного двигуна типу UGT 25000E розробки ДП НВКГ "Заря"–"Машпроект", установлено-го на Березовській ГРЕС.

Посібник призначений для первинного ознайомлення з конструкцією для студентів спеціальностей 7.090506 "Турбіни" та 7.090509 "Суднові енергетичні установки" денної і заочної форм навчання.

УДК 621.438(075.8)
ББК 39.15я7

1. ОПИС І РОБОТА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ТИПУ UGT 25000E

1.1. Призначення двигуна

Двигун газотурбінний типу UGT 25000E призначений для приводу турбогенератора потужністю 25 МВт. Конструкція газотурбінного двигуна (ГТД) забезпечує його роботу в складі агрегату на всіх режимах без постійної присутності обслуговуючого персоналу. Двигун пристосований для роботи із системою автоматичного управління (САУ), захисту й контролю, для чого має місця для приєднання необхідних датчиків, які разом із САУ забезпечують формування сигналів керування.

1.2. Основні технічні характеристики

Показники функціональні

Основні технічні характеристики ГТД типу UGT 25000E відповідають технічним умовам ТУ У 29.1-14307498-002-2001 "Газотурбінна енергетична установка ГТЕ-25НГ80.00" від 07.12.2001 р.

Індекс виробуГТЕ-25НГ80

ГТДДГ80Л

Турбогенератор.....Т-25-2У3-Г

Номінальна потужність на клеммах генератора в станційних умовах при атмосферному тиску $0,9948 \cdot 10^5$ Па (746 мм рт. ст.), температурі повітря на вході в двигун 288 К (15 °С), відносній вологості повітря 60 %, опорі повітрязабірної системи до входу в компресор ГТД не більше 981 Па (0,010 кгс/см²),

опорі вихлопних пристроїв не більше 2451 Па (0,025 кгс/см ²), коефіцієнті корисної дії генератора 98 %, МВт.....	25,0
Коефіцієнт корисної дії ГТЕ-25НГ80 на режимі номінальної потужності 25,0 МВт не менше, %.....	34,5
Розрахунковий ступінь підвищення тиску повітря в компресорі ГТД.....	21,2
Витрата газу на зрізі газовідводу ГТД, кг/с.....	87,7±0,5
Температура газу на зрізі газовідводу ГТД, К (°C).....	766+20 (493+20)
Номінальна частота обертання ротора турбіни генератора (ТГ), об/хв.....	3000
Напрямок обертання ротора ТГ (за ДСТ 22378).....	проти часової стрілки (ліве)

Показники маневреності

Час пуску ГТЕ-25НГ80 з виходом на холостий хід двигуна (ХХД) не більше, хв.....	3
Час нормального пуску ГТЕ-25НГ80 і прийняття повного навантаження (при прогріві ГТД протягом 15 хвилин), хв.....	25
Час пуску і прискореного прийняття повного навантаження (при прогріві ГТД протягом 10 хвилин), хв.....	15
Мінімальний час зміни навантаження в діапазоні від 0 до 50 % і від 50 % до 0 номінальної потужності (10 МВт/хв), с.....	80
Мінімальний час зміни навантаження в діапазоні від 50 до 100 % і від 100 до 50 % номінальної потужності (15 МВт/хв), с.....	50
Розрахункове число скидань-накидів навантаження величиною більше 30 % від номінальної складає за весь термін служби установки.....	390

Показники надійності

Коефіцієнт готовності, не менше.....	0,985
Коефіцієнт надійності пусків.....	0,950
Коефіцієнт технічного використання, не менше.....	0,920
Середній ресурс ГТЕ-25НГ80 до першого капітального ремонту, а також між капітальними ремонтами при числі пусків не більше 400, год... 25000	
Повний середній ресурс ГТЕ-25НГ80 при числі пусків не більше 1500, год.....	75000
Термін служби турбогенератора між капітальними ремонтами (перший ремонт із виїмкою ротора проводиться через рік після введення турбогенератора в експлуатацію), років.....	8
Повний призначений термін служби ГТЕ-25НГ80, років.....	12
Середній термін служби турбогенератора, років.....	40

1.3. Склад ГТЕ-25НГ80

До складу ГТЕ-25НГ80 (рис. 1) входять: комплексний повітроочисний пристрій (КПОП) 1; блок двигуна 2; блок турбогенератора 3; блок паливних агрегатів 4 на рамі; газовихлопной тракт ГТЕ-25НГ80, що складається з газовідводу, насадки, проставки (розташовані в блоці двигуна), дифузора 5 і глушника вихлопу 6; швидкодіючий пускозахисний клапан 7; блок електротехнічного устаткування (БЕТУ) 8 з насиченням (один на дві ГТЕ); станція пожежогасіння 9 (одна на дві установки, входить до складу БЕТУ);

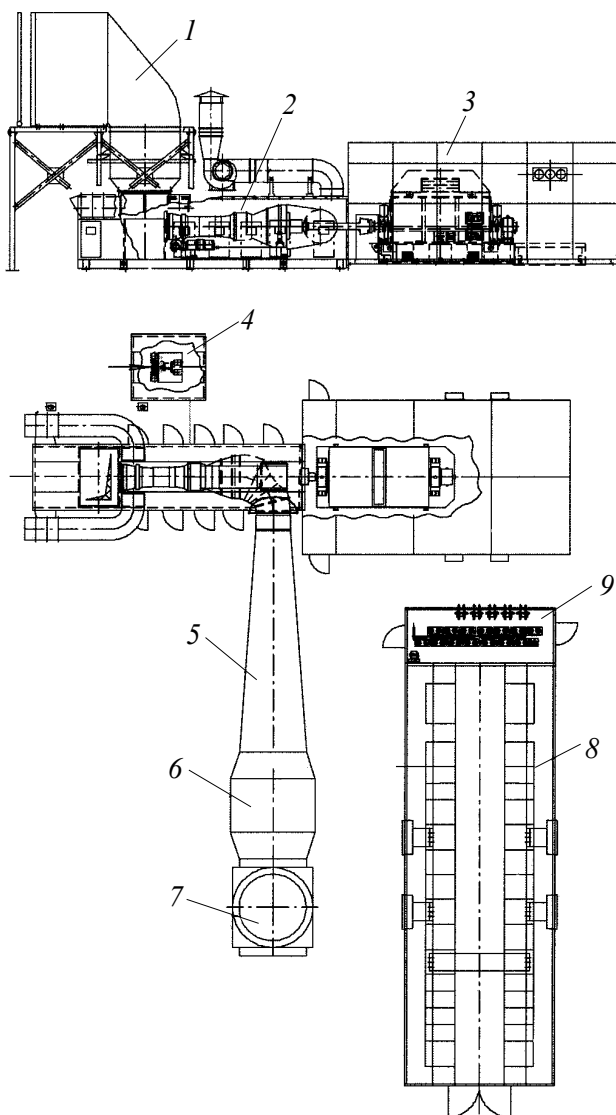


Рис. 1. Газотурбінна установка ГТЕ-25НГ80

пересувна установка для промивання проточної частини компресорів ГТД (одна на чотири установки); мікропроцесорна САУ.

1.4. Робота ГТЕ-25НГ80

Очищене від пилу в КПОП повітря через його проставку надходить до блока двигуна 2, відпрацьовані гази з якого відводяться через газовідвід двигуна, насадок, проставку, дифузор 5, глушник 6.

Блок двигуна з газотурбінним двигуном ДГ80Л призначений для приводу турбогенератора, розміщеного в блоці турбогенератора 3 стаціонарної електростанції. Передача обертання від блока двигуна відбувається через ресору і фрикційну муфту.

2. ОПИС І РОБОТА СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ГТЕ-25НГ80

2.1. Комплексний повітроочисний пристрій

Комплексний повітроочисний пристрій фірми "Donaldson" (рис. 2) зі статичними фільтрами, шумоглушінням, антиобледенілим пристроєм, площадками обслуговування і металоконструкціями призначений для очищення повітря, що надходить на вхід у ГТД, та зниження шуму при роботі ГТД.

Складається КПОП із трьох ступенів очищення повітря і блока шумоглушіння:

перший ступінь (вологовіддільник і антиобледеніла система);

другий ступінь (фільтри попереднього очищення);

третій ступінь (фільтри тонкого очищення).

Датчики, що контролюють роботу КПОП, поставляються фірмою "Donaldson", підключені в пульт керування КПОП.

Вологовіддільник є інерційним сепаратором і складається з пакетів жалюзі різного профілю. Вологовіддільник з ефективністю 99,9 % при величині крапель 25 мкм має перепад тиску 8 мм вод. ст.

Антиобледеніла система складається з пакета сопел, що подають гаряче стиснене повітря від компресора ГТД у повітря, що надходить на вхід у КПОП, піднімаючи температуру повітря на вході та знижуючи його відносну вологість. Система включається в роботу при температурі від +5 °С до – 10 °С і відносній вологості ≥ 80 %.

Фільтри попереднього очищення натягуються на фільтри тонкого очищення (типу подвійний конус) і уловлюють основну частину грубих забруднень. Опір фільтрів попереднього очищення – 6 мм вод. ст. (початковий), 30 мм вод. ст. (кінцевий), клас фільтрації F4 за Євростандартом EN-779-94.

Фільтри тонкого очищення (типу подвійний конус) уловлюють частки розміром порядку 1 мікрона. Опір фільтрів тонкого очищення – 25 мм вод. ст. (початковий), 75 мм вод. ст. (кінцевий), клас фільтрації F9 за Євростандартом EN-779-94. Заміна фільтрів тонкого очищення виконується відповідно до вимог посібника з експлуатації й обслуговування КПОП. Блок шумоглушіння складається з набору шумоглушильних пластин, між якими проходить очищене повітря на вхід у ГТД, та знижує рівень шуму ГТД до 85 дБ на відстані 1 м від площини повітрозабору КПОП при опорі 30 мм вод. ст.

Повітря в антиобledenілу систему КПОП подається від двигуна ДГ80Л.

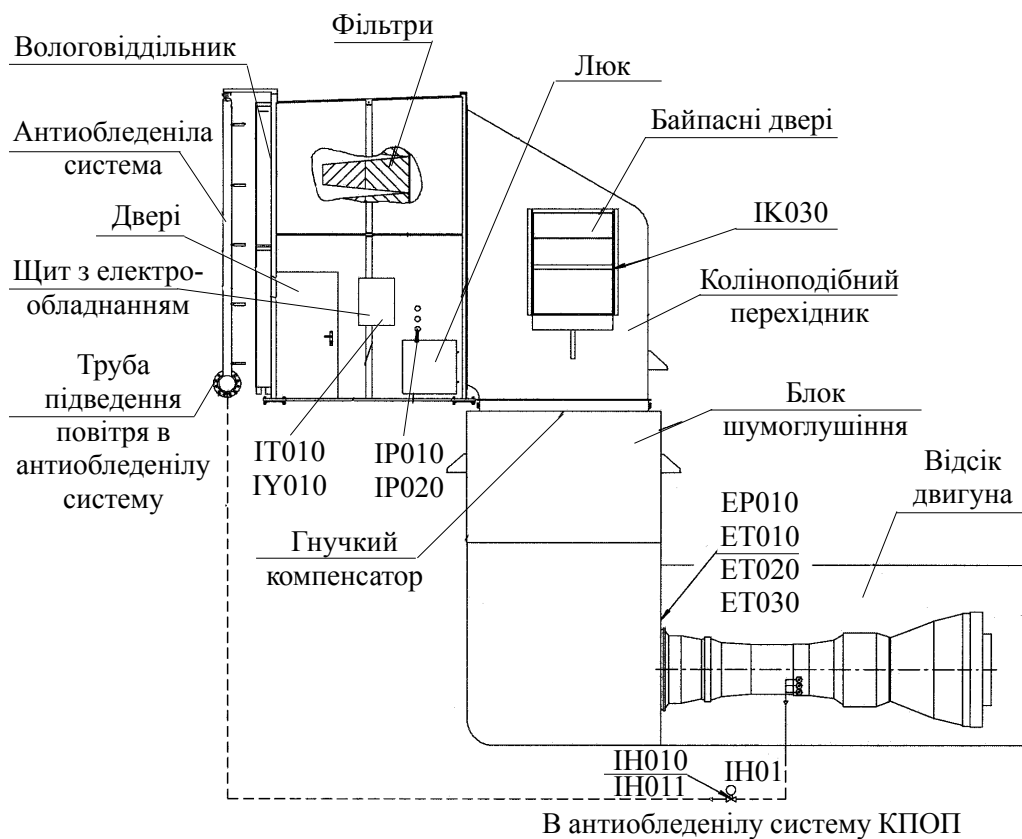


Рис. 2. Комплексний повітроочисний пристрій:

ІР020 – сигналізатор перепаду тиску повітря на фільтрі КПОП; ІР010 – датчик перепаду тиску повітря на фільтрі КПОП; ІТ010 – датчик температури повітря на вході; ІК030 – кінцеві вимикачі: байпаси КПОП – відкриті; ІУ010 – датчик вологості повітря на вході; ІН010 – кінцевий вимикач: клапан подачі гарячого повітря на обігрів КПОП – відкритий; ІН011 – кінцевий вимикач: клапан подачі гарячого повітря на обігрів КПОП – закритий; ЕР010 – датчик перепаду тисків між входом ГТД і атмосферою; ЕТ010, ЕТ020, ЕТ030 – температура повітря на вході у двигун; ІН01 – клапан з електроприводом

Система керування і захисту ГТД при роботі КПОП виконує:

- попереджувальну сигналізацію при перепаді тиску на фільтрі 100 мм вод. ст. (1 кПа) – сигнал від ІР010;
- аварійну сигналізацію при перепаді тиску на фільтрі 160 мм вод. ст. (1,6 кПа) – сигнал від ІР020 із зупинкою ГТД;
- попереджувальну сигналізацію при падінні тиску на вході в ГТД на 150 мм вод. ст. (1,5 кПа) – сигнал від ЕР010;
- аварійну сигналізацію при падінні тиску на вході в ГТД на 200 мм вод. ст. (2,0 кПа) – сигнал від ЕР010 із зупинкою ГТД;
- відкриття клапана ІН01 при роботі ГТД, при температурі повітря на вході у КПОП від -10°C до $+5^{\circ}\text{C}$ та відносній вологості повітря на вході у КПОП більше 80 % (сигнал від датчика ІТ010 і ІУ010);
- відкриття клапана ІН01 за командою оператора.

Закриття клапана ІН01 відбувається при виконанні однієї з умов:

- температура повітря на вході у КПОП вище $+6^{\circ}\text{C}$;
- температура повітря на вході у КПОП нижче -11°C ;
- відносна вологість повітря на вході у КПОП менше 78 %;
- нормальна зупинка ГТД;
- аварійна зупинка ГТД;
- подача команди оператора.

2.2. Проставка

Фланцями проставка сполучається з глушником КПОП та із зовнішнім і внутрішнім кожухами контейнера ГТД.

Вона конструктивно складається з каркаса із зовнішніми і внутрішніми панелями обшивки, між якими розташований звукоізолюючий матеріал.

2.3. Блок двигуна. Устаткування

Двигун на рамі. Будова і робота двигуна. Двигун газотурбінний кон-вертований судновий ДГ80Л, установка на рамі блока якого показана на рис. 3Д*, призначений для приводу генератора та складається із газогене-ратора 2 (рис. 4Д) і силової турбіни 7 (СТ).

Газогенератор складається з двох осьових компресорів низького 1 і ви-сокого 3 тисків, що приводяться в обертання двома незалежними турбінами відповідно низького 6 і високого тисків 5, трубчасто-кільцевої камери зго-рання 4.

Компресори і турбіни, що приводять їх в обертання, утворюють два ки-нематично між собою не зв'язаних контура: контур низького тиску і контур високого тиску, що мають різні частоти обертання на кожному режимі ро-боти ГТД.

* Рисунки з індексом "Д" подано у додатку.

Від СТ 7 через еластичну муфту 8 обертання передається генератору. Двигун розташований на рамі 9.

Розкрутку ротора компресора низького тиску (КНТ) при запуску виконують через нижню коробку приводів 11 електростартерами перемінного струму, розміщеними на виносній коробці приводів 10.

Через вхідний пристрій КНТ 1 повітря надходить послідовно в компресори низького 1 і високого 3 тиску, де відбувається його стиск.

Із компресора високого тиску (КВТ) повітря надходить у камеру згоряння 4, в якій спалюється паливний газ. Займання паливного газу при пуску здійснюється за допомогою запальників. Подальше горіння в камері згоряння забезпечується безупинною подачею палива і повітря.

Частина повітря використовується безпосередньо для спалювання палива, частина – охолоджує стінки жарових труб і, змішуючись з продуктами згоряння, утворює газ, енергія якого використовується в турбінах, частина повітря йде на охолодження елементів турбіни.

Турбіни високого 5 і низького 6 тиску розвивають потужність, необхідну для приводу КВТ і КНТ відповідно.

Газ, що виходить із турбіни низького тиску 6 (ТНТ), надходить у СТ 7, яка розвиває потужність, що передається споживачу.

Із СТ 7 відпрацьований газ через газовідвід ГТД надходить у газовихлопний тракт.

У холодну пору року при температурі зовнішнього повітря від +5 °С до –10 °С здійснюється відбір повітря після КНТ для подачі гарячого повітря в антиобледенілу систему КПОП.

Компресор низького тиску (рис. 5) осьовий, дев'ятиступінчатий, кожний ступінь утворений одним рядом робочих лопаток ротора і розташованим за ним рядом спрямляльних лопаток, установлених у корпусі, призначений для стиску атмосферного повітря та подачі його в КВТ.

Він складається з пристрою вхідного 1, корпусу переднього 2, приводу 3, поворотного вхідного напрямного апарата 5, пристрою антизривного 6, апарата поворотного спрямляльного нульового ступеня 7, апарата поворотного спрямляльного 1-го ступеня 9, ротора 10, корпусу КНТ 12, передньої опори КНТ із шариковим підшипником кочення 15 та упорним підшипником ковзання 4, задньої опори КНТ із роликовим підшипником 14.

Для забезпечення стійкої роботи компресора у заданому діапазоні режимів і на запуску ГТД КНТ має три поворотних апарати 5, 7, 9, лопатки яких синхронно повертаються загальним механізмом у залежності від статичного тиску повітря в проточній частині за КВТ.

Антизривний пристрій 6 поліпшує газодинаміку нульового ступеня.

З метою збільшення запасів стійкості КНТ на низьких режимах за 6-м ступенем передбачений відбір повітря у клапани стравлювання.

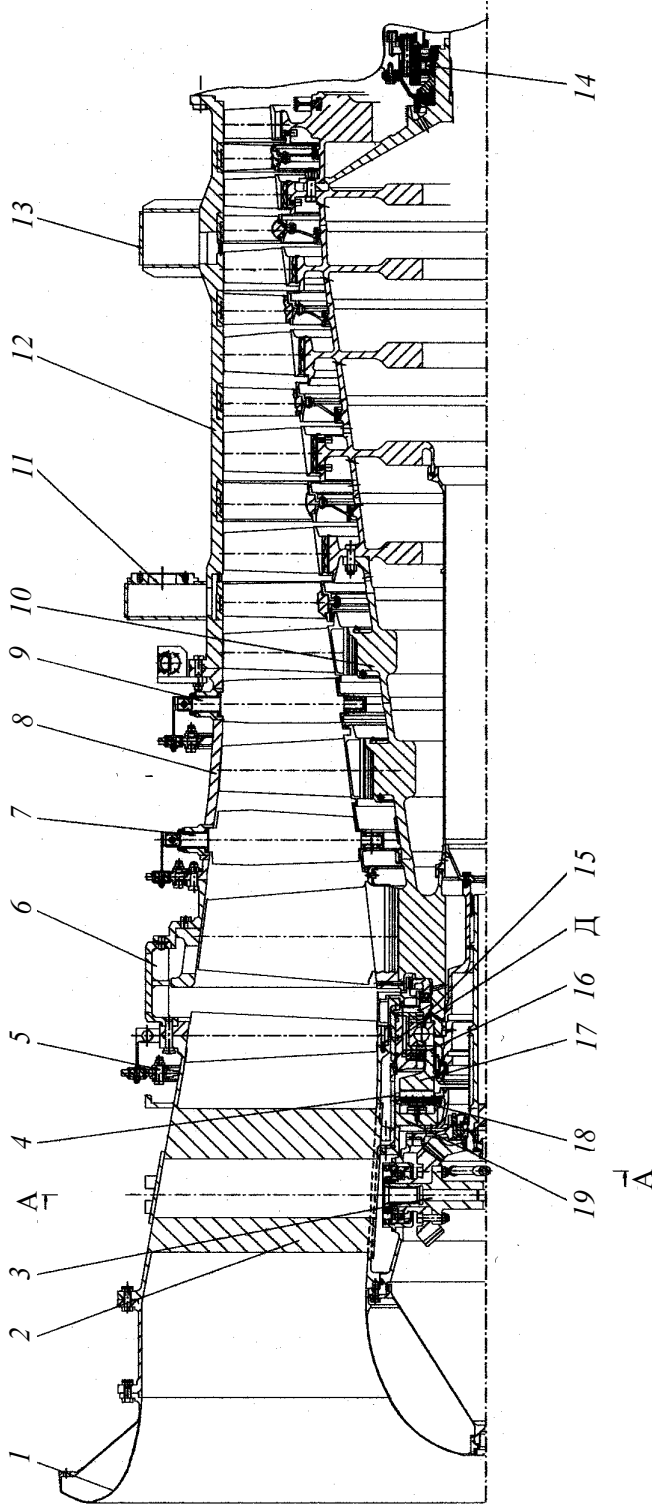


Рис. 5. Компрессор низького тиску:

Д – демпфер масляний; 1, 6 – пристрої вхідний і антизривний відповідно; 2 – корпус передній; 3 – привід; 4, 19 – упорні підшипники ковзання; 5 – апарат поворотний вхідний напрямний; 7, 9 – апарати поворотні спрямляльні нульового і 1-го ступенів відповідно; 8, 12 – корпуси поворотних апаратів і КНТ відповідно; 10 – ротор КНТ; 11 – повітрозбірник (відбір повітря на охолодження турбіни); 13 – повітрозбірник; 14 – підшипник кочення шариковий; 15 – підшипник роликовий; 16 – пакет пружин; 17 – диск упорний; 18 – колодка

Пристрій вхідний призначений для забезпечення плавного підведення повітря у компресор і складається із зовнішнього, внутрішнього обтічників і проставки. Кільцевий канал, утворений обтічниками, є початком протоочної частини двигуна.

Корпус передній призначений для розміщення поворотного вхідного напрямного апарата, опори передньої КНТ і приводу.

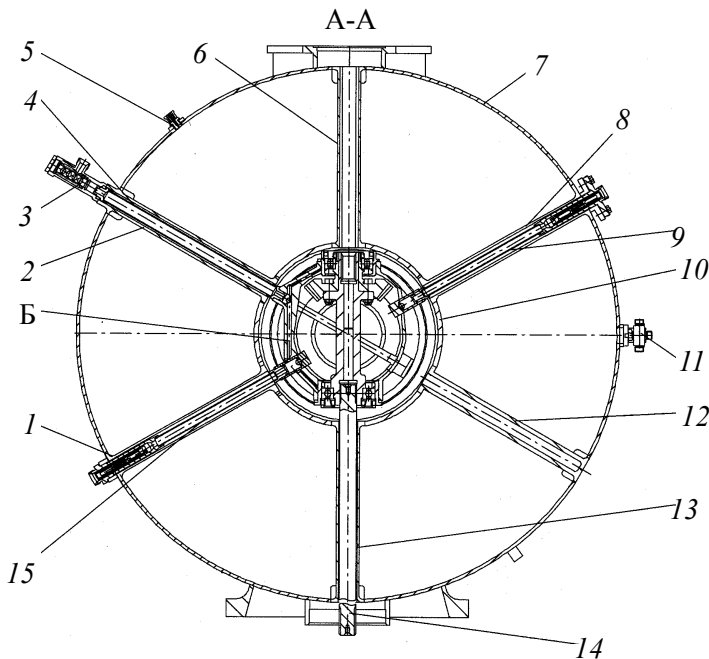


Рис. 6. Корпус передній:

Б – канал підведення масла; 1, 2, 6, 8, 12, 13 – стояки; 3 – фільтр; 4, 9, 15 – труби підведення масла; 5 – штуцер; 7, 10 – стінки зовнішня і внутрішня відповідно; 11 – форсунка промивна; 14 – ресора

Корпус передній (рис. 6) складається з конічної зовнішньої стінки 7 і внутрішньої конічної стінки 10, жорстко з'єднаних між собою профільованими порожнистими стояками 1, 2, 6, 8, 2, 3.

Через стояк 2, розташовану в ньому трубу підведення масла 4 і масляний фільтр 3 масло підводиться на змащення приводу передньої опори. Через нижній стояк 13 проходить ресора 14 нижньої коробки приводів, і зливається масло з переднього корпусу через нижню коробку приводів у піддон маслоагрегату. Через внутрішню порожнину стояка 8 виконується суфлювання масляної порожнини переднього корпусу.

На зовнішній стінці переднього корпусу встановлені два штуцери 5 для заміру статичного тиску в протоочній частині, на цій же стінці встановлені шість форсунок для промивання протоочної частини компресора, а в районі нижнього стояка є фланці для кріплення коробки приводів.

Передня опора ротора КНТ – комбінована, складається з радіально-упорного шарикового підшипника кочення 15 (див. рис. 5) і упорного підшипника ковзання 19.

Шариковий радіально-упорний підшипник кочення 15 призначений для сприйняття радіальних навантажень від ваги ротора КНТ, радіальних навантажень, виникаючих при обертанні ротора КНТ і, частково, осьових навантажень, виникаючих при роботі турбокомпресора низького тиску (ТКНТ) та спрямованих проти руху повітря.

Для поглинання енергії коливань, виникаючих при обертанні ротора, і обмеження величини радіального переміщення шариковий підшипник установлюється в масляний демпфер Д.

Величина осьового навантаження, сприйманої шариковим підшипником 15, може змінюватися в залежності від режиму двигуна. При зростанні осьового навантаження понад визначену величину вступає в роботу упорний підшипник ковзання (УПК), що розрахований на прийняття більшого осьового навантаження.

Упорний підшипник складається з корпусу, в якому рівномірно по колу розташовані вісім самоустановних колодок. Кожна колодка 18 опорною сферою спирається на свій пакет пружин 16, що складається з двох плоских пружин. Між колодками розташовуються форсунки, через які подається масло для створення масляного клина й охолодження елементів УПК.

Принцип дії комбінованої опори наступний: зовнішня обойма упорного підшипника 15 упирається в пакет із двох попередньо стиснутих плоских пружинних кілець; при зростанні осьового навантаження (спрямованого проти ходу повітря) ротор ТКНТ починає переміщатися, передаючи навантаження на колодки 18 і упорний диск 17 УПК.

Підведення масла до шарикового підшипника і на УПК здійснюється роздільними масляними трубами. При цьому для більш рівномірної роздачі масла на колодки підведення масла здійснюється через дві діаметрально розташовані труби підведення масла 9 і 15 (див. рис. 6).

Змащення й охолодження шарикового підшипника здійснюється (по трубі 4) струминним підведенням масла з торця підшипника, зверненого у бік входу в компресор. Масло подається в зазор між внутрішньою обоймою і сепаратором підшипника в трьох точках рівними порціями.

Привід 3 (див. рис. 5) призначений для передачі крутячого моменту від електростартерів до ротора КНТ при запуску двигуна і для приводу всіх навішаних агрегатів під час роботи двигуна. Привід виконаний із двох конічних шестерень, установлених у корпус на підшипниках кочення. Вертикальна шестірня приводу за допомогою ресори 14 (див. рис. 6) зв'язана з нижньою коробкою приводів, а горизонтальна шестірня з'єднана з передньою цапфою ротора КНТ своїм шліцьовим кінцем.

Вхідний поворотний напрямний апарат 5 (див. рис. 5) працює синхронно з поворотними спрямляльними апаратами нульового 7 і 1-го ступеня 9 компресора.

Вхідні поворотні напрямні лопатки апарата мають циліндричні цапфи, на які одягнені втулки. Цапфи з втулками встановлені в радіальні отвори, виконані в зовнішній і внутрішній стінках переднього корпусу. В отворах внутрішньої стінки разом із втулками встановлені пружні кільця, що демпфують коливання лопаток. На зовнішніх цапфах лопаток установлені важелі, сполучені сферичним з'єднанням із синхронізуючим кільцем, що сполучено з механізмом повороту – загальним для всіх поворотних апаратів.

Механізм повороту спрямляльних апаратів (рис. 7) синхронно повертає лопатки вхідного напрямного апарата, спрямляльного апарата нульового і 1-го ступеня за заданим алгоритмом в залежності від статичного тиску повітря за КВТ, забезпечуючи усталену роботу компресора на запуску ГТД і на заданих режимах роботи. Синхронність повороту лопаток забезпечується їхнім кінематичним зв'язком із загальним механізмом повороту.

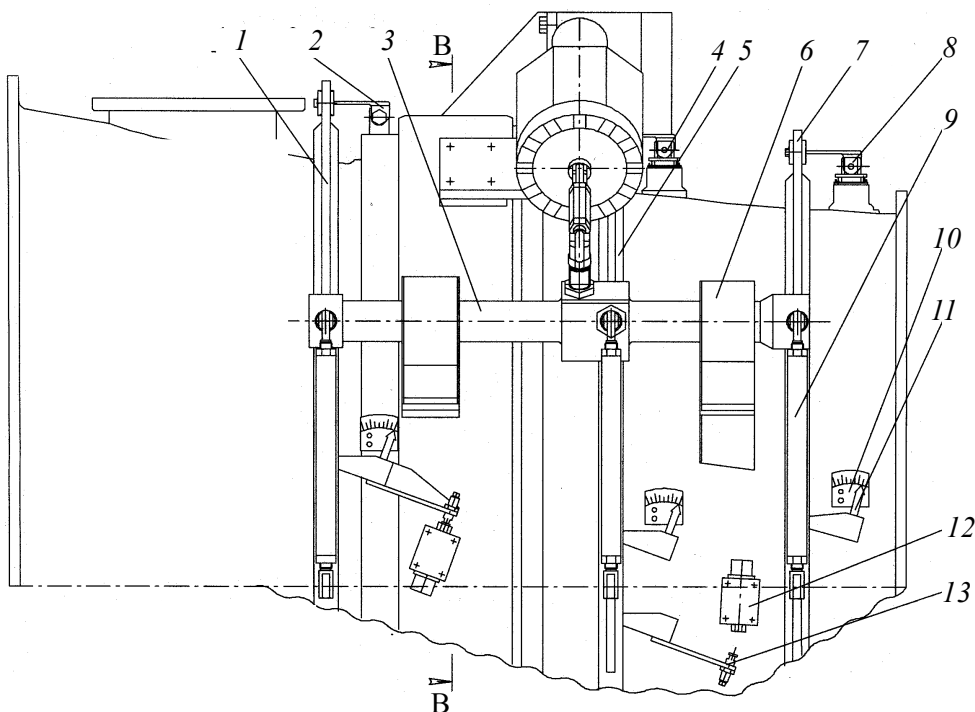


Рис. 7. Механізм повороту спрямляльних апаратів:

- 1 – кільце синхронізуюче; 2 – важіль лопатки вхідного спрямляльного апарата; 3 – вал;
4, 8 – важелі лопаток нульового і 1-го ступенів відповідно; 5, 7 – кільця синхронізуючі
нульового і 1-го ступенів відповідно; 6 – опора вала; 9 – талреп; 10 – шкала;
11 – стрілка; 12 – сигналізатор; 13 – штовхач

Механізм повороту складається з вала 3, встановленого на двох опорах 6 зі сферичними шариковими підшипниками, синхронізуючих кілець 1, 5, 7, зв'язаних важелями 2, 4, 8 з лопатками, талрепів 5 (рис. 8), що сполучають синхронізуючі кільця з різьбовими тягами 4, вкрученими у вал, талрепів 2, що з'єднують різьбові тяги 3, вкручені у вал, із силовими циліндрами 1.

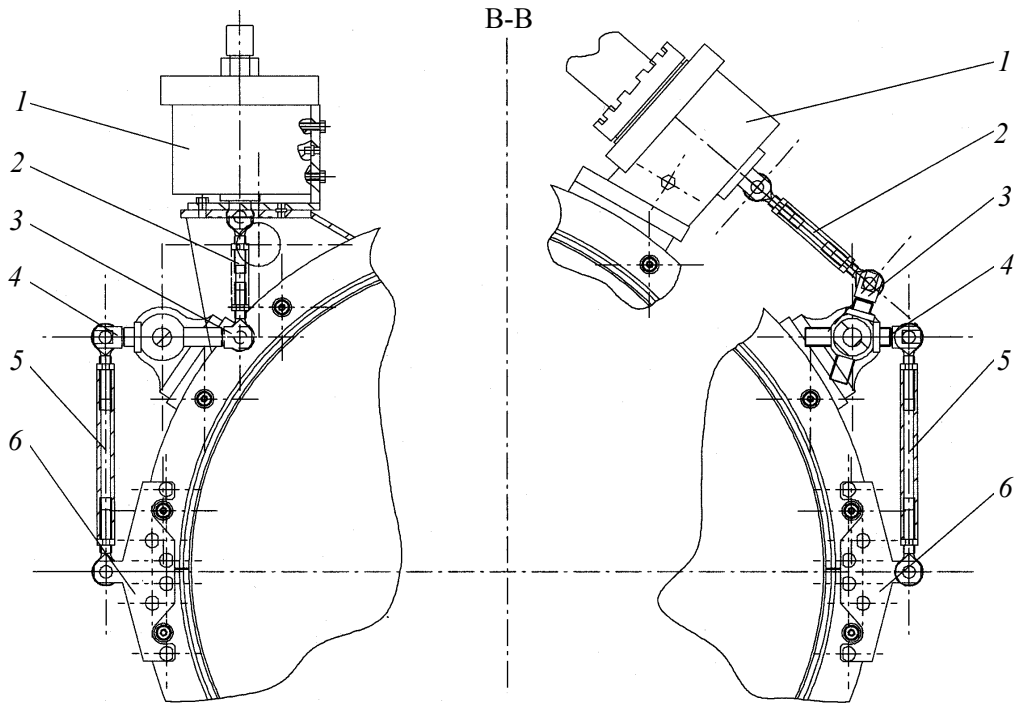


Рис. 8. Механізм повороту спрямляльних апаратів:

1 – циліндр; 2, 5 – талрепи; 3, 4 – тяга; 6 – вушко

Кутове положення лопаток фіксується на шкалі 10 (див. рис. 7) стрілкою 11. Початкове і кінцеве положення механізму сигналізується дистанційно світловими сигналами на пульті керування двигуна сигналізаторами положення 12, що спрацьовують від руху штовхачів 13, зв'язаних з важелями лопаток.

Укручуванням у вал або вивертанням з вала різьбової тяги 3 (див. рис. 8) регулюється кутовий діапазон повороту для лопаток усіх трьох ступенів одночасно. Укручуванням у вал або вивертанням з вала різьбової тяги 4 регулюється кутовий діапазон повороту лопаток кожного ступеня індивідуально.

Змінюючи довжину талрепа 5, можна змінювати встановлений кутовий діапазон повороту лопаток у потрібний бік індивідуально для кожного ступеня, змінюючи довжину талрепа 2 – для всіх ступенів одночасно.

З метою підвищення надійності роботи всі синхронізуючі кільця апарата повертаються під дією зусиль, прикладених на кожному кільці в двох діаметрально протилежних точках за допомогою двох симетрично встановлених механізмів, працюючих від двох силових пневматичних циліндрів *I*. При цьому пневмоциліндр *I*, установлений вертикально, не має вбудованого блока керування, а другий циліндр має такий блок.

При підвищенні тиску повітря за КВТ починається поворот лопаток, а при досягненні визначеного значення тиску – закінчується. В інтервалі цих тисків стрілки *II* (див. рис. 7) на шкалах займають проміжне положення між зазначеними крайніми.

Як силовий привід механізму повороту використовуються два пневмоциліндра: основний і допоміжний.

Повітря до пневмоциліндрів підводиться через блок очищення й охолодження.

Пристрій антизривний з корпусом поворотних апаратів нульового і 1-го ступенів КНТ розміщений над робочими лопатками нульового ступеня ротора та призначений для збільшення запасу стійкості КНТ на низьких режимах роботи. При постійній частоті обертання та зниженні витрати повітря через компресор кількість повітря, що перетікає через антизривний пристрій, збільшується, що призводить до зниження кута атаки на периферії робочого колеса і підвищення запасу стійкості.

Блок очищення й охолодження призначений для очищення й охолодження повітря, що надходить через КВТ у циліндр механізму повороту напрямних апаратів.

Корпус КНТ виконаний у вигляді порожнього циліндра з фланцями вертикального і горизонтального роз'єму. На зовнішній поверхні оболонки розташовані два повітрозбірники симетрично на верхній і нижній половинах. Через один повітрозбірник відбирається повітря з 2-го ступеня компресора на охолодження турбіни, а через другий повітрозбірник повітря з 6-го ступеня КНТ через два клапани стравлювання випускається в атмосферу за визначеним алгоритмом для підвищення запасів стійкості КНТ.

У циліндричних проточках корпусу компресора встановлені спрямляльні апарати, що перетворюють кінетичну енергію повітря в потенційну енергію тиску, направляючи потік на робочі лопатки ротора.

Спрямляльний апарат складається з кільця зовнішнього з пазами типу "ластівчин хвіст", у які вставлені лопатки. Протилежні кінці лопаток мають круглі цапфи, що переходять у плоскі хвостовики, які входять у пази внутрішнього кільця. У внутрішньому кільці встановлені вставки, які утворюють разом із гребінцями ротора лабіринтові ущільнення, що перешкоджають перетіканню повітря між ступенями компресора.

Ротор КНТ призначений для перетворення механічної енергії, отриманої від ТНТ, в енергію повітряного потоку, що проходить через компресор. Ротор компресора барабанно-дискової конструкції складається з барабана нульового—другого ступенів, барабана 3–7-го ступенів, жорстко з'єднаних між собою цапфою задньою, навішаним диском 8-го ступеня.

Робочі лопатки нульового, 1-го, 2-го ступенів закріплені в дисках за допомогою "ялинкового" замка і зафіксовані в пазах стопором. Робочі лопатки з 3-го по 8-й ступінь встановлені в пази дисків замковою частиною типу "ластівчин хвіст". Осьова фіксація лопаток здійснюється пластинчастими замками, кінці яких відгинаються на торці дисків і хвостовиків лопаток.

На диску 8-го ступеня із сегментів набраний лабіринтовий пояс, що перешкоджає надходженню повітря в розвантажувальну порожнину КНТ.

Для поділу масляних і повітряних порожнин передбачені комбіновані контактні-лабіринтові ущільнення.

Компресор високого тиску (рис. 9) дев'ятиступінчатий складається з перехідника 1, корпусу КВТ 2, корпусу силового 3, корпусу заднього 4, апарата спрямляльного 5, ротора турбокомпресора високого тиску 6 (ТКВТ) та призначений для стиску повітря, що надходить із КНТ, і подачі його через задній корпус у камеру згоряння.

Перехідник призначений для плавного підведення повітря з КНТ у КВТ.

У перехіднику (рис. 10Д) розміщені корпус задньої опори КНТ 2 з роликовим підшипником 26, корпус передньої опори КВТ 18 з шариковим підшипником 22, апарат напрямний на вході у КВТ 14, два датчики частоти обертання 15, апарат спрямляльний 7 на виході з КНТ.

Перехідник складається із зовнішньої 8 і внутрішньої 6 стінок, з'єднаних між собою рядом лопаток спрямляльного апарата 7. До внутрішньої стінки перехідника кріпиться корпус силовий 3, внутрішня порожнина якого – масляна порожнина.

Між рядом спрямляльних лопаток і лопаток вхідного напрямного апарата встановлено п'ять патрубків, з яких чотири з'єднані з масляною порожниною, а один – з розвантажувальною порожниною КНТ, що обмежена з боку перехідника лабіринтовою кришкою 5, стінкою силового корпусу 3 і лабіринтовою кришкою 1.

Труба 4 служить для організації підведення масла до підшипників і для установки датчика 15 заміру частоти обертання КВТ, зафіксованого в кронштейні 16.

Кільце регульовальне 11 передбачене для забезпечення заданого зазору між датчиком і шестернею-індуктором 24.

Фланець 13 призначений для фіксації верхніх кінців маслопідвідної труби 9, датчика 15, масляного фільтра 10.

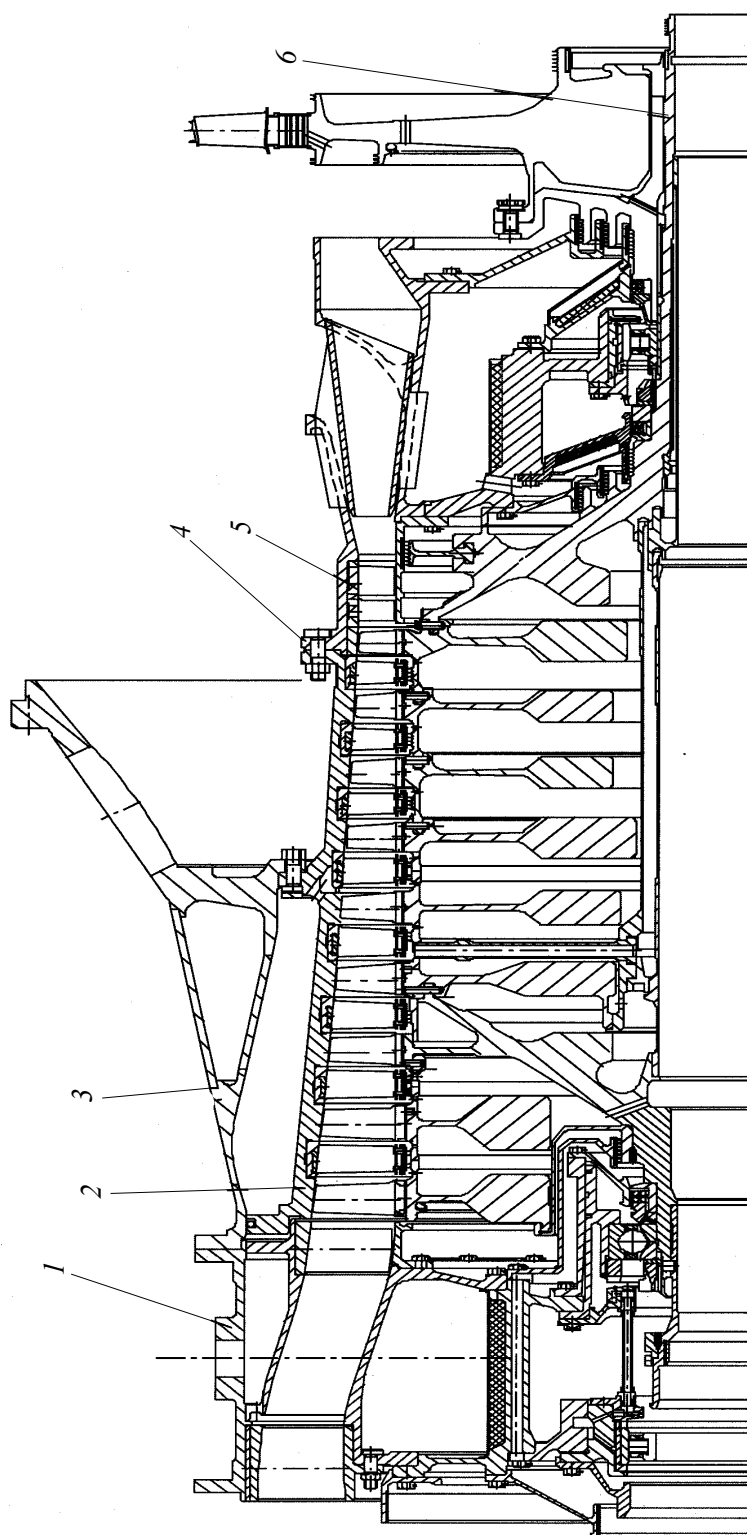


Рис. 9. Компрессор высокого тиску

Масло через фільтр 10 по маслопідвідній трубі 9 надходить у канал Б, з'єднаний з каналом А кільцевої роздачі масла, з якого здійснюється підведення масла через маслопідвідне кільце 25 на змащення задньої опори КНТ. Для демпфірування задньої опори КНТ між втулкою 27 і корпусом 2 організований кільцевий зазор В.

Для ущільнення масляної порожнини з боку КНТ установлена кришка лабіринтова 1, що у парі з лабіринтом задньої цапфи ротора КНТ утворює лабіринтове ущільнення, і кришка 29, що у парі з ущільнювальним кільцем 28 утворює контактне ущільнення.

До силового корпусу 3 (див. рис. 10Д) кріпиться корпус 18 передньої опори КВТ. Для забезпечення радіальної піддатливості зовнішня частина корпусу виконана у вигляді обода типу "біляче колесо". Передача коливань від передньої цапфи ротора демпфірується маслом, що нагнітається з каналу Б по каналу Г у зазор між корпусом 18 опори і обмежувальною кришкою 31.

Ущільнення масляної порожнини з боку КВТ здійснюється за допомогою контактного ущільнення, утвореного кришкою 20 і ущільнювальним кільцем 21, та лабіринтового ущільнення, утвореного лабіринтовою кришкою 19 і лабіринтом екрана ротора КВТ. Лабіринтова кришка 19 виконує роль теплоізолюючого кожуха для зменшення температури в масляній порожнині.

Змазка шарикового підшипника 22 передньої опори КВТ здійснюється через маслопідвідну трубу 9, маслопідвідне кільце 23. Для забезпечення внутрішнього підведення масла призначена форсунка 30, що подає по каналах Д масло до підшипника.

У перехіднику (рис. 11) знаходяться:

патрубок 1 – для датчика заміру частоти обертання ТКВТ;

патрубок 3 – для здійснення підведення масла і датчика заміру частоти обертання ТКВТ;

патрубок 7 – для ключа ручного прокручування ротора ТКВТ;

патрубок 17 – для зливання масла;

патрубок 11 стравлювання з розвантажувальної порожнини КНТ, на якому розміщені кран стравлювання 13 і фланець 12 із трубою заміру тиску в розвантажувальній порожнині.

На зовнішній стінці перехідника розміщені:

форсунки промивні 14;

штуцери 10 – для заміру параметрів;

бобишки відбору повітря на охолодження опорного вінця (ОВ) ТНТ 8, на підпір лабіринтових ущільнень заднього корпусу 9 (ЗК);

штуцер 2 відбору повітря на силовий клапан механізму поворотних апаратів КНТ;

штуцери 5 під термопари системи захисту від зриву факелу;

штуцер 6 відбору повітря в механізм поворотних апаратів КНТ.

Для забезпечення необхідного тиску в розвантажувальній порожнині КНТ призначений кран стравлювання 13.

Корпус КВТ (див. рис. 9) являє собою обичайку, що має горизонтальний роз'єм. До середнього фланця корпусу кріпиться силовий корпус, до заднього – задній корпус.

Спрямляльні апарати призначені для стиску повітря і направлення його на робочі лопатки ротора під визначеним кутом. Спрямляльний апарат КВТ складається із зовнішнього кільця, спрямляльних лопаток і внутрішнього кільця, на якому кріпляться ущільнювальні сектори. У зовнішніх кільцях

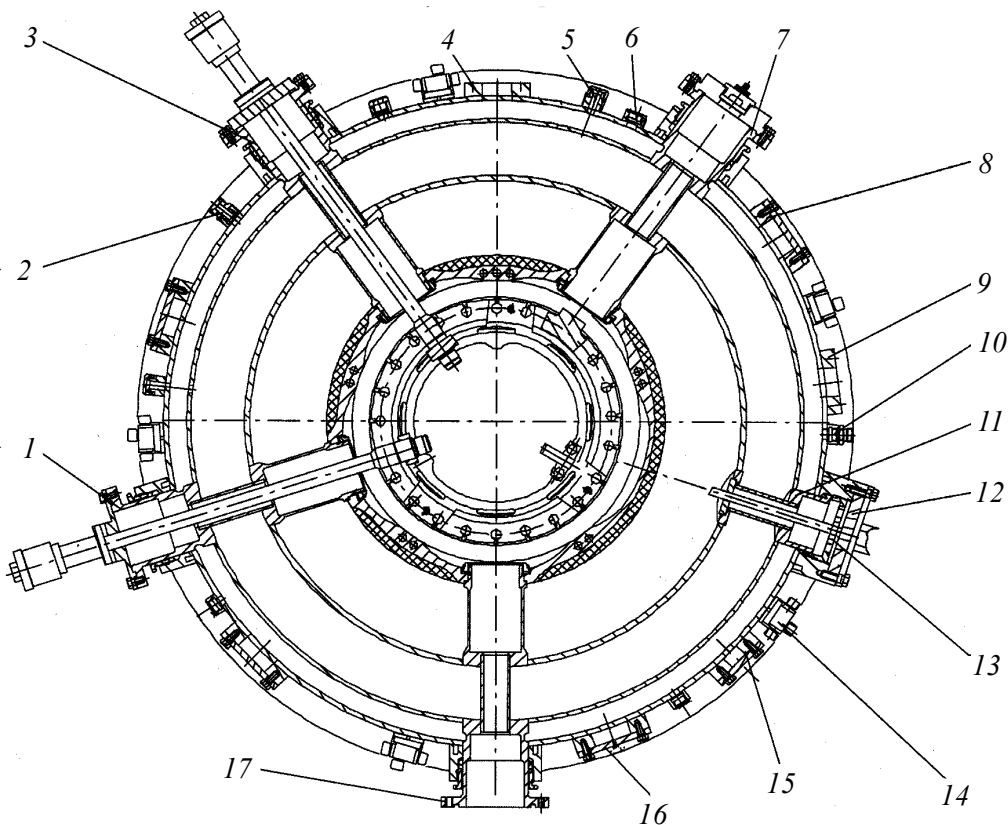


Рис. 11. Перехідник (поперечний переріз):

1 – патрубок безконтактного заміру частоти обертання; 2 – штуцер заміру статичного тиску; 3 – патрубок підведення масла й безконтактного заміру частоти обертання; 4 – відбір повітря в ОВ ТВТ; 5 – штуцер під термопару зриву факела; 6 – штуцер відбору повітря в механізм поворотних апаратів КНТ; 7 – патрубок ручного прокручування; 8 – бобишка відбору повітря на охолодження ОВ ТНТ; 9 – бобишка відбору повітря в ЗК КВТ; 10 – штуцер заміру повних параметрів; 11 – патрубок стравлювання; 12 – фланець заміру тиску; 13 – кран стравлювання; 14 – форсунка промивна; 15 – штуцер; 16 – відбір повітря на потреби об'єкта; 17 – патрубок зливання масла

виконані пази типу "ластівчин хвіст" за кількістю спрямляльних лопаток в апараті, у внутрішніх кільцях виконана та ж кількість профільних просічок.

Ущільнюючі сектори у сполученні з лабіринтами на барабані ротора утворюють ущільнення, що перешкоджають перетіканню повітря між ступеннями компресора.

Перед п'ятим спрямляльним апаратом у корпусі зроблена кільцева проточка, через яку здійснюється відбір повітря по каналу на охолодження ТНТ і кільця, що регулює величину радіального зазору над робочими лопатками ТВТ.

Корпус силовий призначений для посилення конструкції у найбільш гарячому місці двигуна, а також кріплення на ньому жарових труб, паливного колектора і комунікацій заднього корпусу. На силовому корпусі знаходяться:

- труби стравлювання повітря з порожнини глибокого стравлювання заднього корпусу в ТНТ;

- штуцер технологічний заміру статичного тиску за КВТ;

- труба підведення масла до задньої опори КВТ;

- три бобишки відбору повітря після 5-го ступеня КВТ на охолодження ТНТ;

- дві труби зливання масла із заднього корпусу КВТ;

- штуцер відбору повітря на керування відсічним клапаном;

- штуцер відбору повітря в механізм повороту апаратів КНТ;

- штуцер відбору повітря на АР;

- труба підведення повітря з перехідника у задній корпус КВТ.

На трубах відбору повітря після 5-го ступеня КВТ установлені клапани перепуску повітря.

Задній корпус являє собою кільцевий дифузор, у якому відбувається зниження швидкості потоку і підвищення тиску перед входом у камеру згоряння, та призначений для розміщення задньої опори ТКВТ, а також для відбору повітря з входу в дифузор на охолодження соплових і робочих лопаток ТВТ. Відбір повітря відбувається через стояки, розташовані під кожною жаровою трубою камери згоряння.

Ротор ТКВТ призначений для перетворення механічної енергії, отриманої від ТВТ, у кінематичну енергію повітряного потоку, що проходить по тракту компресора. Конструктивно ротор ТКВТ поєднує ротори КВТ і ТВТ.

Передача крутячого моменту від ротора ТВТ до ротора КВТ здійснюється через шліцьове з'єднання. Ротор ТВТ описаний у розділі "Турбіна високого тиску".

Ротор КВТ дев'ястиступінчатий барабано-дискової конструкції складається з двох барабанів: 1–2-го ступенів, 4–6-го ступенів, дисків, цапфи-диска 3-го ступеня, цапфи задньої.

Лопатки робочі встановлені в пази дисків замковою частиною типу "ластівчин хвіст". Осьова фіксація лопаток здійснюється пластинчастими замками, кінці яких відгинаються на торці хвостовиків лопаток.

У внутрішній порожнині ротора трубами організоване перекидання повітря після 4-го ступеня до ступиці диска ТВТ.

На передній цапфі-диску 3-го ступеня встановлена шестірня-індуктор для безконтактного заміру частоти обертання і ручного прокручування ротора. Шестірня виконана разом з кільцетримачем під міжвальне контактне ущільнення, що перешкоджає проникненню в масляну порожнину перехідника гарячих газів з турбін. На задній цапфі встановлений сегментний пояс лабіринту, що обмежує надходження повітря в задню розвантажувальну порожнину КВТ.

Для поділу масляних і повітряних порожнин передбачені комбіновані контактнo-лабіринтові ущільнення. Контактне ущільнення складається з втулки, ущільнювального графітового кільця й обмежувальної втулки.

Камера згоряння призначена для одержання перед турбіною газу необхідної температури за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні в ній безупинно підвідного природного газу в потоці повітря, що надходить із КВТ.

За конструкцією камера згоряння (рис. 12Д) протитечійна, трубчасто-кільцевого типу. Складається з кожуха камери згоряння 10, кожуха 19, шістнадцяти жарових труб 11, розташованих паралельно осі двигуна в кільцевому просторі між кожухом камери згоряння 10 і кожухом 19, двох запальників 21, шістнадцяти двоканальних пальникових пристроїв 20, що кріпляться через прокладку 8 за допомогою гвинтів 7 до корпусу КВТ; колектора першого каналу 3, колектора другого каналу 2, що закріплені на шарнірних підвісках 1 до вертикального роз'єму КВТ, шістнадцяти трубок підвідних 5 першого каналу, шістнадцяти трубок підвідних 4 другого каналу.

Паливні колектори першого і другого каналів складаються з двох половин кожний, що з'єднуються фланцями за допомогою скоб 27, що мають спеціальний клиноподібний паз. Скоби стягуються гвинтами 26 і стопоряться за допомогою шайб-замків. Між фланцями половин колекторів установлюється ущільнювальна прокладка 28.

На кожному з колекторів є по одному фланцю підведення газу і по шістнадцять штуцерів, до яких кріпляться трубки, що підводять газ до каналів пальникового пристрою.

Розпалювання палива в камері згоряння при запуску здійснюється від двох запальників 21. Кожен запальник забезпечує займання паливоповітряної суміші в двох жарових трубах. Перекидання полум'я від однієї жарової труби до іншої здійснюється через полум'яперекидальні патрубки жарових труб. Усі жарові труби 11 своєю хвостовою частиною (обоймою) телескопічно входять у проточки соплового апарата ТВТ.

У головній частині кожна жарова труба двома фіксаторами 9 кріпиться до вертикального фланця корпусу КВТ і спирається на посадкову поверхню пальникового пристрою 20. Така схема кріплення жарової труби забезпечує незмінне взаємоположення торця пальникового пристрою 20 і жарової труби 11. Температурне подовження жарової труби 11 компенсується телескопічним з'єднанням обойми жарової труби і корпусу соплового апарата ТВТ.

Кожух зовнішній виконаний у вигляді циліндра з фланцями на торцях. На кожусі камери згоряння є бобишки для кріплення запальників, у нижній частині кожуха з боку турбіни розташовані бобишки для кріплення дренажного штуцера і чотири бобишки для гребінок повного напору при зніманні повних характеристик двигуна, бобишки для огляду, бобишки для кріплення клапана перепуску повітря і бобишки для кріплення обв'язки, скоба для підйому кожуха.

Кожух 19 (див. рис. 12Д) виконує роль екрана і формує необхідне поле швидкостей повітряного потоку. Складається з тонкостінної оболонки і двох фланців. Переднім фланцем кожух кріпиться до корпусу КВТ, а заднім спирається на зовнішню стінку дифузора. На оболонці виконані кармани для проходу труб комунікацій задньої опори, розташованої під камерою згоряння.

Труби жарові є основним елементом камери згоряння та призначені для забезпечення перемішування палива з повітрям та спалювання паливоповітряної суміші.

Труба жарова (рис. 13) складається з конуса вхідного 1, втулки фіксатора 2, конусів 3, конуса 4, змішувача 5, вставок 6 охолодження верхньої стінки змішувача, обойми 7, патрубкa полум'яперекидального 8, втулок 9, патрубкa полум'япідвідного 10, сферичного кільця 12, штифта 13.

На конусі вхідному 1 зовнішньої поверхні жарової труби приварені втулки фіксаторів 2 зі сферичними кільцями 12, в які вставляються фіксатори для кріплення жарової труби до корпусу КВТ.

Змішувач 5 має складну форму і забезпечує плавний перехід від циліндричного перетину жарової труби до кільцевого перетину соплового апарата ТВТ.

На верхній полиці обойми 7 є зуб, що входить у проріз накладки соплового апарата ТВТ. Зуб фіксує обойму 7 жарової труби від зміщень у коловому напрямку. Іззовні жарова труба охолоджується повітрям, що рухається у міжтрубному просторі.

Внутрішнє охолодження стінок жарових труб – плівкове. Повітря для створення плівки надходить у жарову трубу з міжтрубного простору через ряд отворів на початку кожного конуса. Потрапляючи в порожнину, утворену козирком попереднього конуса і конусом, окремі струминки розмиваються та загальним шаром рухаються вздовж внутрішньої поверхні жарової труби, охолоджуючи стінку.

Горіння відбувається в головній частині жарової труби в потоці паливо-повітряної суміші, що надходить з першого і другого каналів завихрювачів пального пристрою.

Продукти згорання в змішувачі 5 перемішуються з повітрям, що надходить через ряд отворів у змішувачі, до необхідної температури.

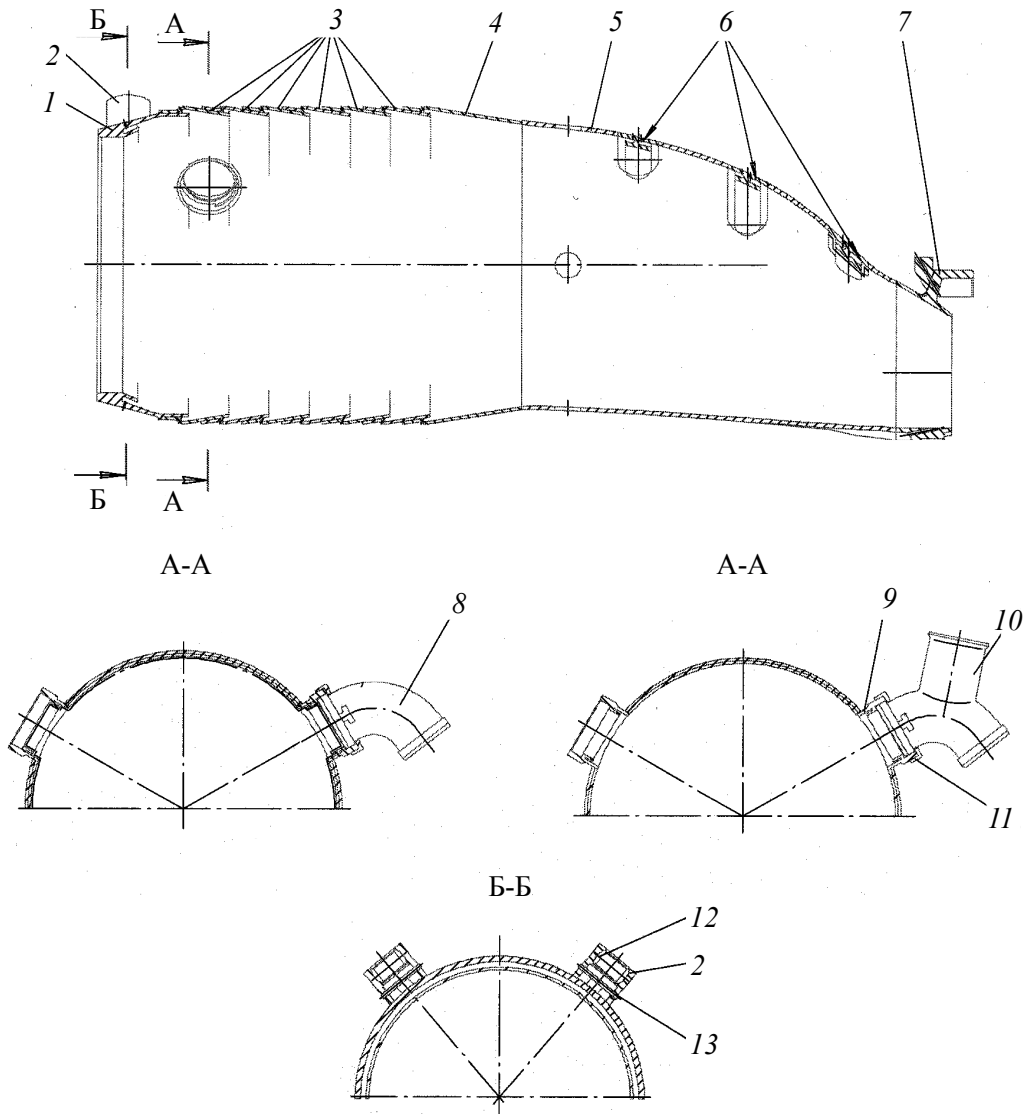


Рис. 13. Труба жарова:

1 – конус вхідний; 2 – втулка фіксатора; 3, 4 – конуси; 5 – змішувач; 6 – вставка;
7 – обойма; 8, 10 – патрубки полум'яперекидальний і полум'япідвідний відповідно;
9 – втулка; 11, 12 – кільця; 13 – штифт

Дві пари жарових труб з'єднані між собою патрубками полум'япідвідними 10, через які від запальників подається полум'я в жарові труби для розпалювання паливоповітряної суміші, що надходить із завихрювача першого каналу пальникового пристрою 20 (див. рис. 12Д).

В інших жарових трубах займання палива здійснюється через патрубки полум'яперекидальні.

Для збільшення ресурсу жарової труби її внутрішня поверхня покрита високотемпературною жаростійкою емаллю.

Для виключення витоків "холодного" повітря з камери згоряння у сопловий апарат ТВТ на бічній поверхні обойми виконана канавка, в яку вставляється пружний елемент 25 (див. рис. 12Д).

Запальник (рис. 14) призначений для утворення первісного факелу, що запалює паливоповітряну суміш у камері згоряння, та складається з корпусу 2, форсунки 3, свічки плазмоструминної 4, втулки 5.

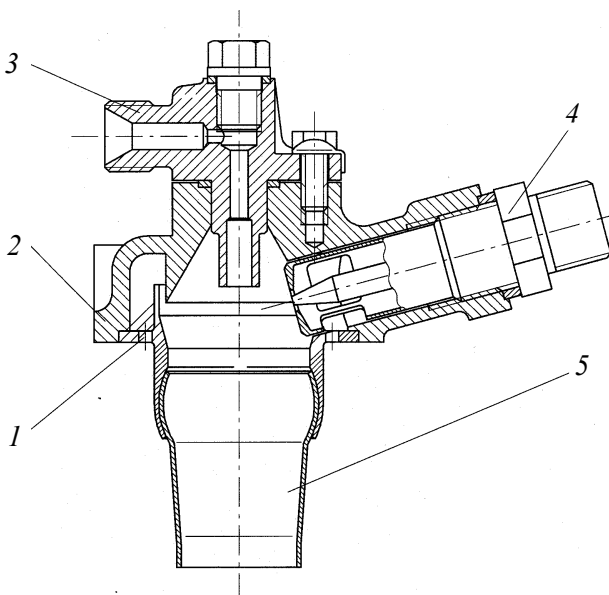


Рис. 14. Запальник

Форсунка 3 розташована в центральній частині запальника і призначена для подачі палива в його порожнину під час запуску.

У корпусі 2 запальника встановлена свічка плазмоструминна 4, що працює від імпульсного блоку постачання. На торці свічки, заглибленому у порожнину запальника, підтримуються періодичні електричні розряди, що викликають утворення плазових струменів, використовуваних для займання пускового палива.

Запальник циліндричною частиною втулки 5 вставляється в полум'япідвідний патрубок жарової труби камери згоряння.

Повітря в порожнину запальника надходить через отвори 1 в нижній частині корпусу 2. При цьому частина повітря підводиться через вікна в зовнішньому електроді свічки на міжелектродний зазор для одержання плазових струменів.

У запальнику паливо, розпилене форсункою 3, змішується з повітрям і запалюється свічкою плазмоструминною 4. Полум'я із запальника викидається у жарову трубу, запалюючи паливо, подане через пальниковий пристрій.

Пристрій пальниковий (рис. 15) призначений для підготовки і подачі гомогенної паливоповітряної суміші в зону горіння труби жарової та складається з корпусу 1, завихрювача першого і другого каналів 6, витискувача 7, скоби 12, фланця 2, штуцера першого каналу 4, штуцера другого каналу 3, гвинтів 5, обойми 8, перетиску 9, 11, стакана 10.

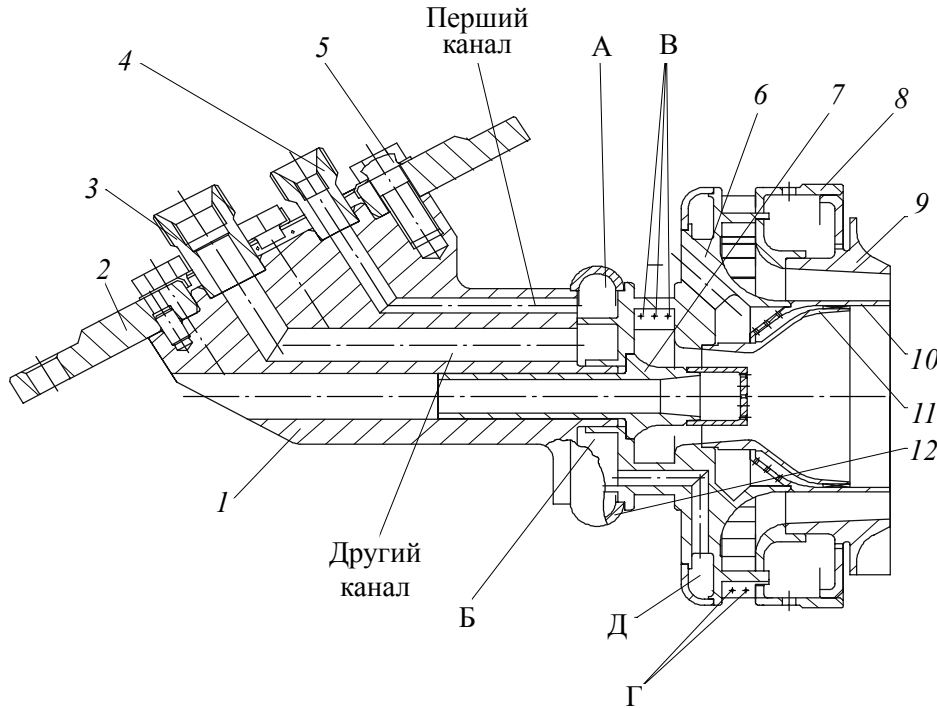


Рис. 15. Пристрій пальниковий:

А, Б, Д – порожнини; В, Г – отвори; 1 – корпус; 2 – фланець; 3, 4 – штуцери другого й першого каналів відповідно; 5 – гвинти; 6 – завихрювач; 7 – витискувач; 8 – обойма; 9, 11 – перетиску; 10 – стакан; 12 – скоба

Паливний газ через штуцер першого каналу подається в порожнину А, виходячи через ряд отворів В на кожній лопатці завихрювача 6, і, змішуючись з повітрям у міжлопаточному каналі, утворює паливоповітряну суміш, що подається в зону горіння труби жарової по радіально-осьовому кільцевому каналу.

Через штуцер другого каналу подається паливний газ у порожнину Б, звідки перетікає в порожнину Д, виходячи через ряд отворів Г на кожній лопатці завихрювача 6, і, змішуючись з повітрям у міжлопаточному каналі, утворює паливоповітряну суміш, яка подається в зону горіння труби жарової по радіально-осьовому кільцевому каналу.

На корпусі 1 є фланець 2 (прикріплений до нього гвинтами 5), яким пальниковий пристрій кріпиться до фланця заднього корпусу КВТ.

Клапан перепуску повітря (рис. 16) призначений для стравлювання повітря з камери згоряння в атмосферу при запуску двигуна і спрацьовуванні датчика обмеження частоти обертання силової турбіни. Він складається

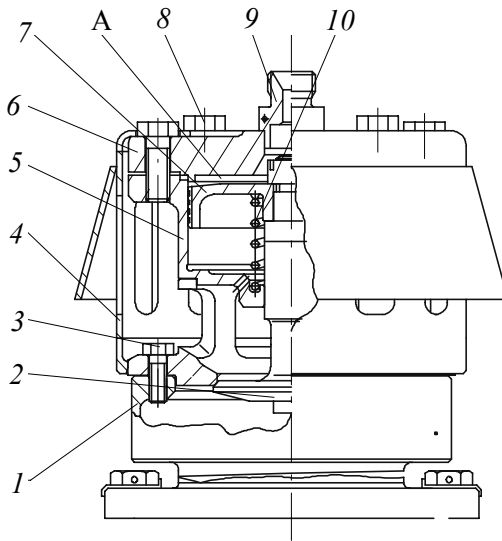


Рис. 16. Клапан перепуску повітря:

A – порожнина повітряна; 1, 4 – стакани; 2 – клапан; 3, 8 – болти; 5 – корпус; 6 – кришка; 7 – поршень; 9 – штуцер підведення повітря; 10 – пружина

з кришки 6, до якої гвинтами кріпиться "захисний" стакан 4, поршня 7, пружини 10, корпусу 5, клапана 2, деталей кріплення.

На двигуні встановлено чотири клапани перепуску за допомогою стаканів 1. При непрацюючому двигуні та при його роботі клапани перепуску повітря закриті. Пружиною 10 і тиском повітря в камері згоряння клапан 2 притискається до корпусу 5, забезпечуючи герметичність.

При спрацьовуванні датчика обмеження частоти обертання СТ через штуцер у кришці 6 у повітряну порожнину над поршнем подається повітря з повітряного балона. Під дією сили тиску повітря поршень 7 переміщається в крайнє нижнє положення. Відбувається

відкриття клапанів перепуску, і порожнина камери згоряння з'єднується з атмосферою.

Турбіна високого тиску осьова "консольного" типу складається із соплового апарата і ротора та призначена для приводу КВТ.

Сопловий апарат ТВТ складається з корпусу силового 1 (рис. 17Д), соплових лопаток 43, апарата напрямного 40, стільникових вставок 2, встановлених у кільці 3 та екрана розподільного 4.

Стільникові вставки 2, кільце 3 та екран розподільний 4 є частиною системи регулювання радіального зазору над робочими лопатками ТВТ. Соплові лопатки – охолоджувані, одиночні, двохопорні, верхні і нижні бурти яких ущільнені сойферитовими ущільненнями 42, 44 для зменшення втрат охолоджуючого повітря, підвідного до лопаток. Охолодження вхідної кромки соплових лопаток – плівкове, охолодження середньої частини лопаток і вихідної кромки має вихрову матрицю. Охолоджуюче повітря до лопаток підводиться знизу. Напрямний апарат 40 підводить охолоджуюче повітря до робочих лопаток ТВТ.

Ротор ТВТ складається з диска 36, з'єданого болтами 38 з цапфою 35. Цапфа з диском установлюється на цапфу КВТ і затягується гайкою 34.

У пази диска встановлені робочі лопатки 45, що кріпляться сегментами 41. На виступах диска, цапфи і робочих лопаток виконані гребінці, що разом з ущільненнями сполучених деталей забезпечують мінімальні витоки газу.

Турбіна низького тиску осьова складається із соплового апарата, ротора ТНТ і опорного вінця та призначена для приводу КНТ.

Сопловий апарат ТНТ складається з корпусу 6 (див. рис. 17Д), блоків лопаток 5, діафрагми 39 і кільця 8. Діафрагма 39 і кільце 8 утворюють напрямний апарат для підведення охолоджуючого повітря до робочих лопаток ТНТ. Блоки лопаток – охолоджувані. Система охолодження профільної частини блоків лопаток формується вихровою матрицею. Охолоджуюче повітря до блоків лопаток підводиться зверху. Частина охолоджуючого повітря проходить через лопатки і надходить у напрямний апарат для підведення до робочих лопаток ТНТ.

На блоках лопаток 5, діафрагмі 39 і кільці 8 у місцях сполучення з гребінцями ротора встановлені стільникові ущільнення, що забезпечують мінімальні перетоки газу.

Ротор ТНТ складається з диска 37, з'єднаного з валом 29 штифтами. У пази диска встановлюються робочі лопатки 7, що кріпляться сегментами 41. На виступах диска, вала і робочих лопаток виконані гребінці, що забезпечують мінімальні перетоки газу.

Вінець опорний ТНТ складається з корпусу ОВ 9, шести силових стоек 13, зв'язаних із зовнішнім корпусом за допомогою компенсаторів 11 теплових розширень, корпусу опори 16, зв'язаного із силовими стояками 13 за допомогою пальців 17 та в нижній частині з корпусу підшипника 21 і конусом 22 болтами 20. До корпусу підшипника 21 гвинтами кріпиться корпус 23, в якому розташовується задня опора ротора ТНТ.

Проточна частина в ОВ організована кожухами зовнішніми 10, 12 і стінкою-кожухом 19. Для зменшення температур і розширень корпусу ОВ 9 порожнина між зовнішнім конусом та зовнішнім кожухом 10, 12 заповнена теплоізолюючим базальтовим волокном. Між зовнішнім і внутрішнім кожухами розташовані три обтічники, через які проходять труба підведення повітря, труба підведення масла та труба зливання масла.

З метою зменшення порожнини між ОВ і диском вала СТ на конусі 22 розташовується стінка 18, верхнім кінцем вхідна в зачеплення із сопловим апаратом СТ.

У передній частині ОВ кріпляться ущільнювальні кришки 31, 32 і 33, що утворюють масляну та повітряну порожнини ОВ для підпору контактного ущільнення задньої опори ротора ТНТ і подачі повітря на охолодження вала СТ. Повітря на підпір масляної порожнини ОВ й охолодження вала СТ підводиться з перехідника по двох трубах, що кріпляться до фланця, розташованого на зовнішньому корпусі опорного вінця ТНТ.

Між корпусом зовнішнім 9 і корпусом підшипника 21 розташована тру-

ба підведення повітря, що проходить через обтічник та фіксується в корпусі підшипників штифтом. Частина повітря, що підводиться до ОВ по внутрішній малій трубі через систему отворів, подається в порожнину між ущільнювальними кришками 32 і 33 для підпору контактного ущільнення ротора ТНТ. Друга (основна) частина повітря через порожнину між трубами подається у внутрішню порожнину конуса 22 для охолодження вала СТ.

Задньою опорою ротора ТНТ служить роликотпідшипник. На зовнішню обойму роликотпідшипника з натягом насаджений демпфер, призначений для зміщення критичного числа обертів ротора (резонансних коливань ротора) у більш низькі їхні значення і для гасіння енергії коливань ротора. Для підвищення тиску в масляному клині, з боку виходу масла з демпфера, поставлене ущільнювальне кільце. Для регулювання витрати масла через демпфер призначене регулювальне кільце.

Колектор підведення масла, кільце регулювальне та зовнішня обойма роликотпідшипника затиснуті ущільнювальною кришкою, за якою працює графітове ущільнювальне кільце, що розділяє повітряну і масляну порожнини ОВ.

Для подачі масла на змащення й охолодження роликотпідшипника та у масляний демпфер служить труба підведення масла, що проходить через обтічник, у середині якої розташований фільтр очищення масла. Нижня частина труби вкручена в корпус підшипників і ущільнена кільцем ущільнювальним.

У верхній частині труба підведення масла підтримується фланцем і ущільнюється пакетом кілець ущільнювальних, стягнутих гайкою. Від вивертання труба фіксується замком. Для безпосередньої подачі масла в зазор між корпусом та демпфером і в колектор підведення масла служить перекидка. Ущільнення в з'єднанні перекидки з трубою підведення масла і корпусом здійснюється за допомогою кілець ущільнювальних.

Зливання масла з ОВ здійснюється через трубу зливання масла, що проходить через обтічник і вкручену в корпус підшипника. Стик труби з корпусом підшипника ущільнюється кільцем ущільнювальним. На виході з ОВ труба підтримується фланцем і ущільнюється пакетом кілець ущільнювальних, стягнутих гайкою. Від вивертання труба фіксується замком.

Турбіна силова (рис. 18) осьового типу призначена для приводу в обертання вала споживача потужності (генератора). Чотириступінчаста СТ складається із соплових апаратів, ротора й опорного вінця.

Сопловий апарат 5 кріпиться до корпусу 4. До нижньої частини соплового апарата 5 кріпиться кожух внутрішній 3, що разом з корпусом 4 утворюють проточну частину від ТНТ до СТ. Соплові апарати 7, 10, 12 кріпляться в корпусі 9. На нижній частині соплових апаратів розташовані діафрагми з ущільнювальними вставками для радіального лабіринтового ущільнення порожнин, що забезпечують мінімальні перетікання газу з порожнини в порожнину.

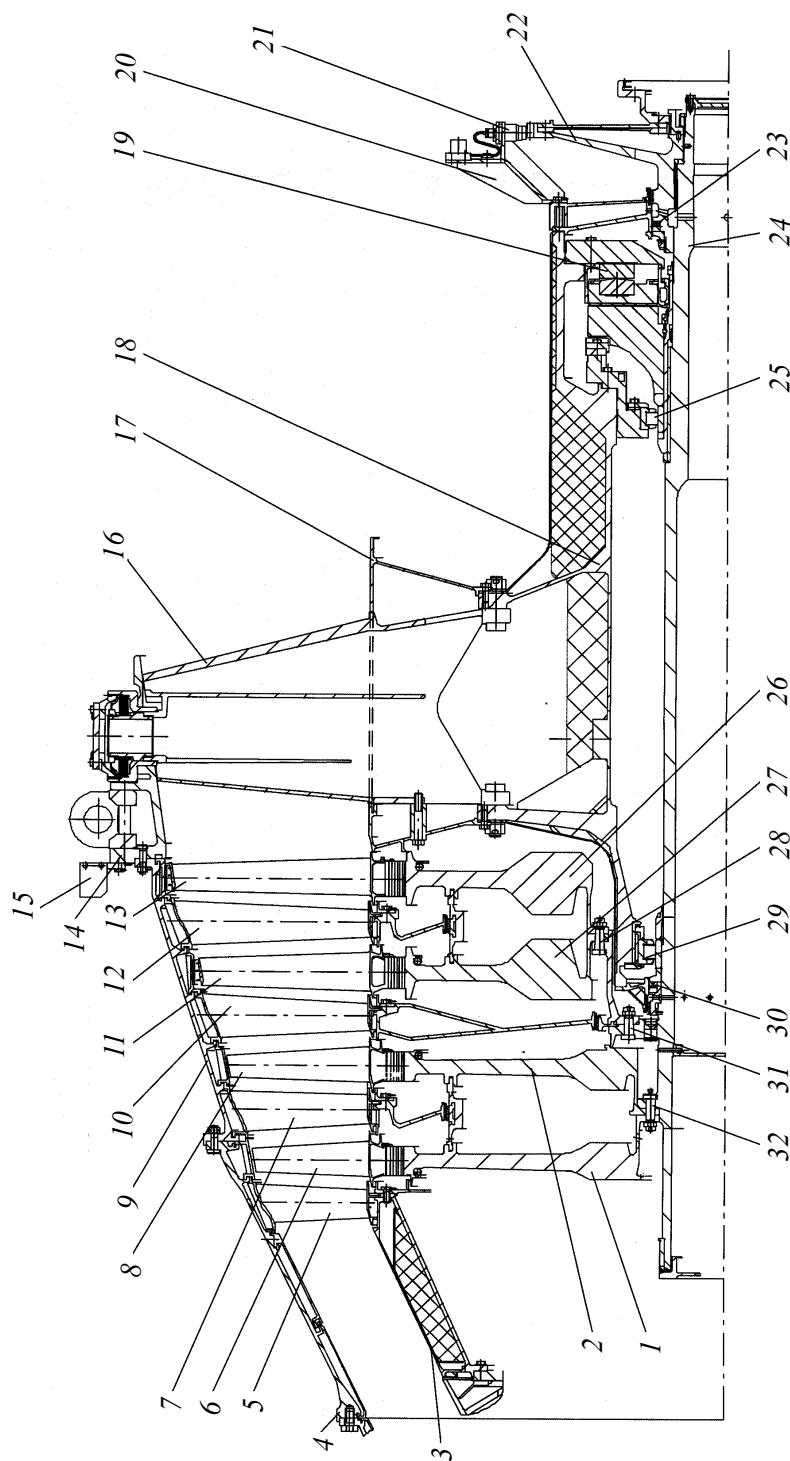


Рис. 18. Турбіна силова:

1, 2, 26, 27 – диски; 3, 17 – кожухи внутрішні; 4, 9 – корпус апарата соплового; 5, 7, 10, 12 – апарати соплові; 6, 8, 11, 13 – лопатки робочі; 14 – корпус ОВ; 15 – кронштейн вібродатчика; 16 – стояк-обтічник; 18 – корпус підшипників; 19 – підшипник ковзання упорний; 20 – кронштейн датчиків ОРТ; 21 – датчик ОРТ; 22 – муфта пружна; 23, 30 – кільця ущільнювальні; 24 – вал; 25, 29 – підшипники роликові; 28, 31, 32 – болти

Ротор СТ складається з вала 24, до якого болтами 28, 31, 32 кріпляться попарно диски 1 і 2, 26 і 27. В "ялинкові" пази дисків уставлені робочі лопатки 6, 8, 11, 13. Ротор СТ "консольного" типу, опорами якого служать роликові підшипники 25 і 29. На кінці ротора розташована пружна муфта 22.

Опорний вінець СТ складається з корпусу ОВ 14, дев'яти стояків-обтічників 16, кожуха внутрішнього 17, корпусу підшипників 18, в якому розташовані опори ротора СТ: роликпідшипники 25, 29 і упорний підшипник ковзання 19, що сприймає осьове зусилля. Масляна порожнина ОВ обмежена з двох боків ущільнювальними кільцями 23 і 30.

Підпір маслоущільнювальних кілець здійснюється повітрям, що подається в ОВ по трубах підведення повітря. Повітря подається у задню ущільнювальну порожнину на підпір ущільнювального кільця 23. Частина повітря через отвори в пружній муфті 22 та у валу 24 йде на підпір ущільнювального кільця 30.

Для визначення вібраційних характеристик СТ на кронштейні 15 встановлений вібродатчик.

Для підведення змащення й охолодження підшипників ротора СТ служить труба підведення масла, в яку вставлений фільтр для очищення масла від різних домішок. Труба вкручена в корпусі підшипників. Від вивертання в процесі роботи труба стопориться замком. Верхня частина труби підведення масла підтримується фланцем.

Через телескоп масло попадає в трубу-роздавальник масла. З'єднання телескопа з трубою підведення масла і трубою-роздавальником масла ущільнюється гумовими ущільнювальними кільцями. Масло через трубу-роздавальник масла підводиться до колектора підведення масла для змащення й охолодження передньої опори ротора турбіни – роликового підшипника. Інша частина масла через перекидку підводиться до трійника, де відбувається поділ потоку масла на дві частини.

Перша частина йде на змащення й охолодження задньої опори – роликового підшипника 25. Друга частина масла через телескоп подається на упорний підшипник ковзання 19. З'єднання по маслопідвідному тракту ущільнені ущільнювальними кільцями.

Зливання масла з порожнини корпусу підшипників здійснюється через трубу зливання масла, вкручену в корпус підшипників. Верхня частина труби зливання масла підтримується фланцем і стопориться від вивертання замком.

Для запобігання поломки СТ при перевищенні максимально припустимих обертів ротора і для подачі сигналу в систему керування двигуном призначені датчики обмеження розкручування турбіни 21 (ОРТ).

Муфта 22 призначена для передачі крутячого моменту від вала СТ до вала споживача потужності, а також для компенсації зламів і неспіввісності валів за рахунок деформації двох тонкостінних щік. Муфта складається

з корпусу, двох щік, з'єднаних між собою болтами по верхньому діаметру. По нижньому діаметру щоки муфти з'єднані з фланцем, що має шліци для з'єднання з ресорою передачі обертання від двигуна.

Корпус муфти з'єднаний шліцями з валом турбіни. На корпусі встановлений лабіринт, що у сполученні із задньою кришкою ОВ силової турбіни утворює ущільнення масляної порожнини, та розташований індуктор датчиків обмеження частоти обертання.

Коробки приводів двигуна призначені для розкручування ротора КНТ при запуску, при холодних прокручуваннях і для приводу агрегатів, що обслуговують роботу двигуна.

На двигуні розташовані нижня і виносна коробки приводів, зв'язані між собою ресорою. Нижня коробка приводів закріплена на передньому корпусі компресора, а виносна коробка приводів – на рамі двигуна.

На коробці приводів *нижній* розміщені: основний маслоагрегат двигуна, датчик частоти обертання, два магнітних сигналізатори стружки, привід від виносної коробки приводів з відцентрово-храповою муфтою, гніздо для ручного прокручування ротора КНТ.

У нижню коробку зливається масло з переднього корпусу компресора і зі статичного масловіддільника. Злите масло відкачується з корпусу нижньої коробки секціями навішеного маслоагрегату чи електронасосом.

Приводи агрегатів, навішених на нижню коробку приводів, кінематично зв'язані з ротором КНТ та обертаються як при запуску двигуна, так і при його роботі, крім ведучої ланки відцентрово-храпової муфти, що відключається після запуску двигуна.

При запуску двигуна обертання від трьох електростартерів через циліндричні шестерні 7, 8, 9, (рис. 19) виносної коробки приводів і ресору одержує ведуча ланка відцентрово-храпової муфти. Ведений елемент відцентрово-храпової муфти передає обертання конічній шестерні 5. Через конічні шестерні 2 і 5, ресору, конічні шестерні 3 і 4 відбувається розкручування ротора КНТ.

Привід датчика частоти обертання здійснюється від ротора КНТ через шестерні 1, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13. Від вала, на якому закріплені шестерні 11, 12, одержує обертання маслоагрегат двигуна.

Нижня коробка приводів складається з корпусу і змонтованих у ньому пускового приводу, приводу маслоагрегату і приводу датчика частоти обертання. У верхній частині корпусу нижньої коробки приводів є лапи для закріплення її на передньому корпусі компресора. Для центрування й ущільнення масляних порожнин переднього корпусу на перехіднику є циліндричний виступ з гумовими кільцями. У корпусі нижньої коробки приводів установлені два магнітних сигналізатори стружки. Сигналізатор стружки, встановлений у верхній частині корпусу, контролює масло, що зливається, тільки з переднього корпусу компресора, нижній сигналізатор стружки кон-

трюное все масло, що зливається в коробку, яке потім подається на відкатну секцію маслоагрегату.

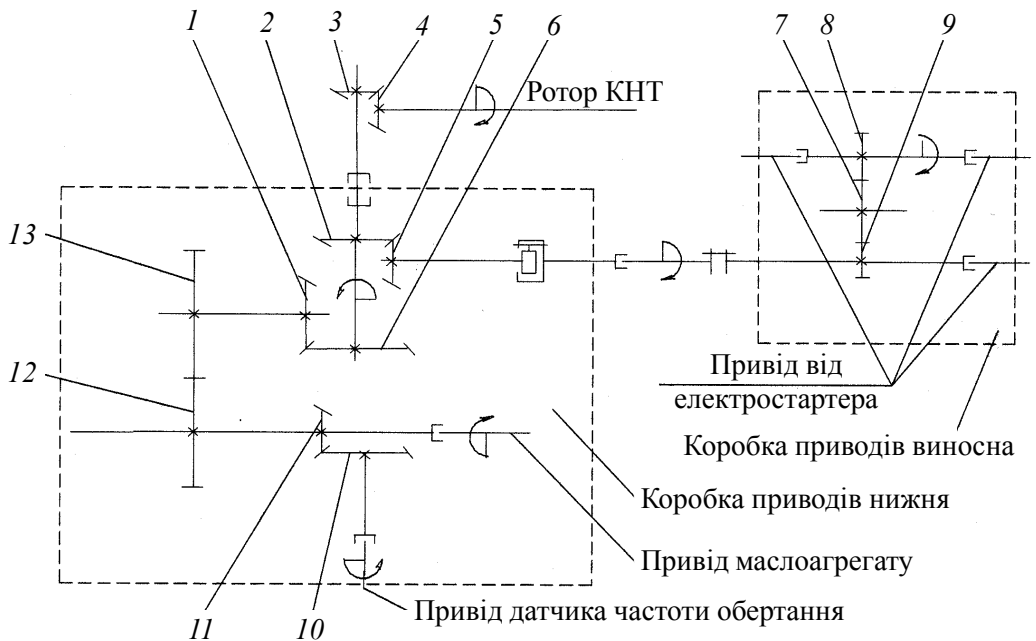


Рис. 19. Схема кінематична коробок приводів

Шестерні 2 і 6 установлені на валу, що обертається в роликовому та шарикувому підшипниках.

На корпусі нижньої коробки приводів, по осі двигуна, є приплив для кріплення перехідника із встановленої в ньому горизонтальної конічної шестерні 5 і відцентрово-храпової муфти приводу виносної коробки приводів. Горизонтальна конічна шестірня 5 пускового приводу встановлена в роликовому і шариковому підшипниках. У середині ступиці шестерні розміщений хвостовик вала шліцьового, на якому закріплена напівмуфта ведена, що є однією з ланок роз'єднувальної відцентрово-храпової муфти. Інша ланка – напівмуфта ведуча – встановлена співвісно з веденою і обертається у двох шарикових підшипниках. Шарикопідшипники розміщені в стакані, що кріпиться до перехідника.

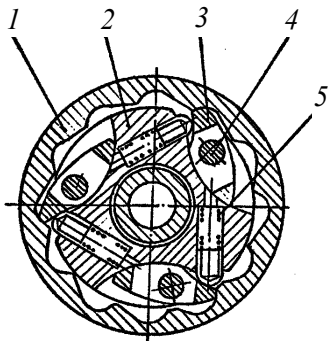


Рис. 20. Коробка приводів
нижня (муфта відцентрово-
храпова)

Ведена напівмуфта складається з внутрішньої обойми 2 (рис. 20) з рухомими в радіальному напрямку храповиками 3. Храповики встановлені на пальцях 4 та пружинами 5 через поршень

притискаються до зовнішньої обойми 1 ведучої напівмуфти і, таким чином, входять у зачеплення з її виступами.

Крутячий момент передається від зовнішньої обойми через храповик на палець і на обойму внутрішню. Центр обертання храповиків не збігається з центром їхньої ваги. Тому при досягненні муфтою частоти обертання 1000...1200 об/хв момент від відцентрових сил, діючих на храповики, перевершує момент від дії пружин і храповики виходять із зачеплення – муфта відключається.

Муфта відключена на всіх режимах роботи двигуна. При зупинці двигуна і зниженні частоти обертання нижче 1000...1200 об/хв момент від дії відцентрових сил, діючих на храповики, стає менше за момент дії пружин і муфта переходить у режим проклацування, коли храповики торкаються нерухомої зовнішньої обойми своєю потиличною частиною. І так до повної зупинки КНТ. При зупинці двигуна муфта завжди готова до чергового запуску.

Коробка приводів *виносна* працює при запуску двигуна і при холодних прокручуваннях та служить для розміщення приводів від трьох електростартерів і передачі обертання від них до нижньої коробки приводів.

Змащення зачіпок шестерень і підшипників виносної коробки приводів здійснюється розбризкуванням за допомогою масляної ванни. Рівень масла в масляній ванні контролюється маслопоказчиком. Заливання масла в коробку здійснюється через гніздо маслопоказчика до рівня між верхньою і нижньою рисками, що нанесені на маслопоказчику. Масло з виносної коробки приводів зливається через зливальний кран після відвернення гайки на два-три оберти.

Нижня коробка приводів закріплена на передньому корпусі двигуна, а виносна коробка кріпиться на рамі двигуна.

Рама й опори двигуна. Рама (рис. 21Д) призначена для кріплення двигуна й агрегатів, що забезпечують роботу двигуна, та являє собою конструкцію, що складається з подовжніх 1 і поперечних 2 двотаврових балок. У нижній частині рами розташовані опорні площадки 3, якими вона кріпиться до рами блока двигуна, у верхній частині – площадки 4 і 5 для кріплення тумб 12 і 13 під передні гнучкі опори; у передній частині – площадки 6 для кріплення виносної коробки приводів, у задній – опорні площадки 7 і 9 для кріплення задніх опор двигуна та площадка 8 під фіксатор 24 двигуна.

Двигун кріпиться до рами за допомогою чотирьох гнучких опор 11, 14, 17 і 18.

Передні опори 11 і 14 фіксують двигун у поперечному та вертикальному напрямках. Опори складаються з двох гнучких пластин 15, закріплених до верхнього та нижнього опорних фланців за допомогою притисних планок і призонних болтів. Передні опори 11 і 14 верхньою частиною кріпля-

ться до корпусу компресора гвинтами, нижньою – до тумб 12 і 13 через регулювальні прокладки 16. Тумби 12 і 13 установлюються на раму через регулювальні прокладки 19, що служать для забезпечення взаємозамінюваності двигуна на рамі.

Задні опори 17 і 18 фіксують двигун у подовжньому та вертикальному напрямках. Опори складаються з двох гнучких пластин 20, закріплених до верхнього та нижнього опорних фланців за допомогою притисних планок і призонних болтів. Вони кріпляться до цапф опорного вінця СТ та встановлюються через регулювальні прокладки 21 і проміжну плиту 22 на раму. Проміжна плита 22 служить для забезпечення взаємозамінюваності двигуна на рамі, а регулювальні прокладки 21 – для регулювання положення двигуна за висотою.

У поперечному напрямку фіксація двигуна здійснюється фіксатором 24. Планки 23, закріплені гвинтами, служать для регулювання зазорів у фіксаторі в поперечному напрямку.

На бічних сторонах рами передбачені чотири плати 10 для кріплення технологічних ковзанок викачування двигуна.

Газовихлопний тракт складається з газовідводу (рис. 22), насадка і проставки, дифузора 5, глушника 6 (див. рис. 1).

Газовідвід (див. рис. 22) призначений для відводу відпрацьованих у силовій турбіні газів у вихлопну систему установки ГТЕ-25НГ80. Газовідвід має коліноподібну форму, визначальну корпусом 4.

Кожух внутрішній 2 сполучений з корпусом телескопічно. Гвинти 6 (елемент В) виконують роль фіксаторів телескопічного з'єднання. Гвинти стопоряться шайбою-замком.

Стикування двигуна з газовідводом здійснюється по зовнішньому діаметру за допомогою плаваючого кільця 7 (елемент Е), що утримується на фланці корпусу притисним кільцем 8, закріпленим гвинтами. Гвинти стопоряться дротом. Використання плаваючого кільця компенсує монтажні відхилення і температурне розширення в з'єднанні двигун–газовідвід. По внутрішньому діаметру двигун стикується телескопічно з кожухом внутрішнім 2.

Для збільшення жорсткості корпус газовідводу має ребра. Для установки газовідводу в контейнер передбачені опори 1, 3, 5. У нижній частині газовідводу є дренажний штуцер 9 для відводу масла, що може потрапити з двигуна в газовідвід. Для зменшення тепловипромінювання в навколишній простір газовідвід покритий ізоляцією, не показаною на рисунку. Теплоізоляція аналогічна теплоізоляції насадка. Газовідвід у блоці двигуна розташований горизонтально і в залежності від виконання газотурбінної установки ГТЕ-25НГ80 може виходити на правий чи лівий борт.

Насадок і проставка. Насадок призначений для плавного повороту вихлопних газів, що виходять з газовідводу, розташованого в контейнері двигуна, і подачі їх через проставку у станційний дифузор. Для зменшення тепловипромінювання в навколишній простір насадок покритий теплоізоляцією.

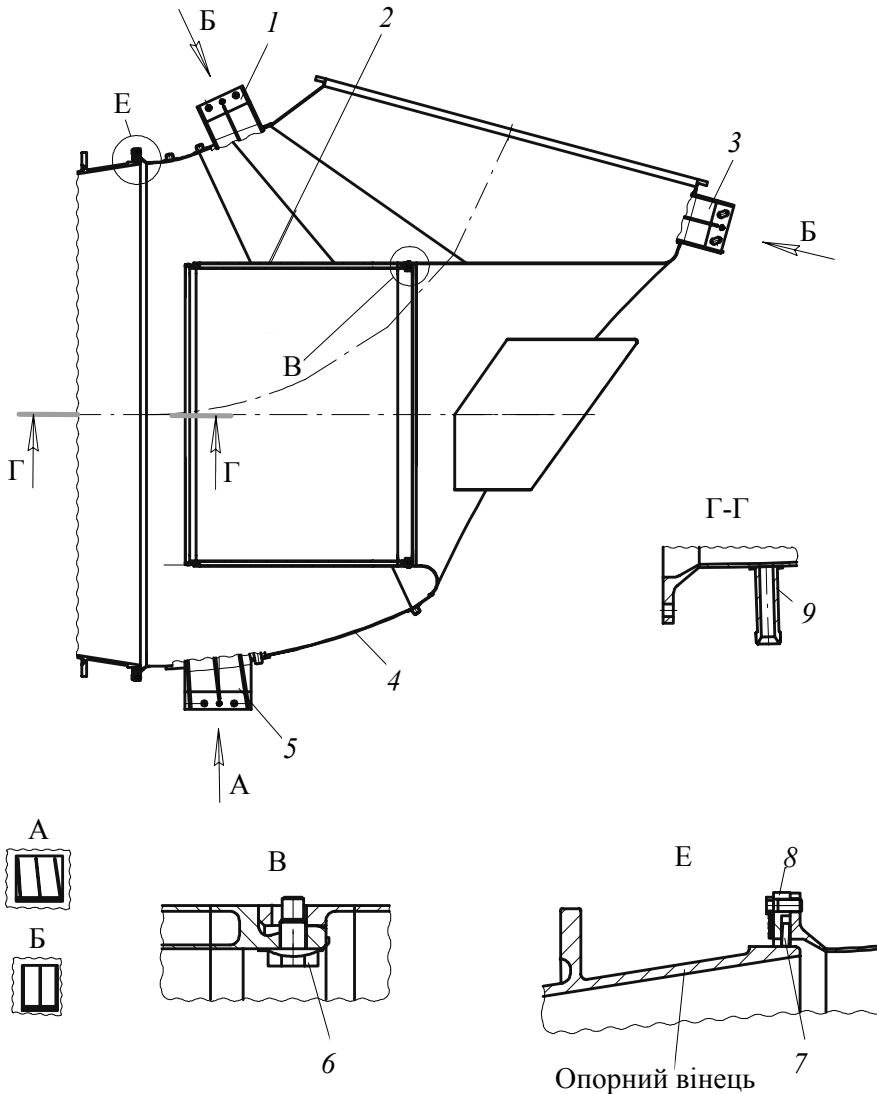


Рис. 22. Газовідвід

Проставка призначена для з'єднання насадка газовідводу з дифузором та складається з циліндричного корпусу, до входного фланця якого кріпиться кільце, і плаваючого кільця, що забезпечує компенсацію монтажних відхилень та температурних переміщень.

Дифузор 5 (див. рис. 1) розташований між контейнером блока ГТД і глу-

шником вихлопу та забезпечує необхідний ступінь дифузорності, що приводить до мінімальних втрат.

Глушник вихлопу (рис. 23) призначений для зниження шуму вихлопних газів до вимог санітарних норм та складається з корпусу глушника 2 і восьми панелей глушника 1.

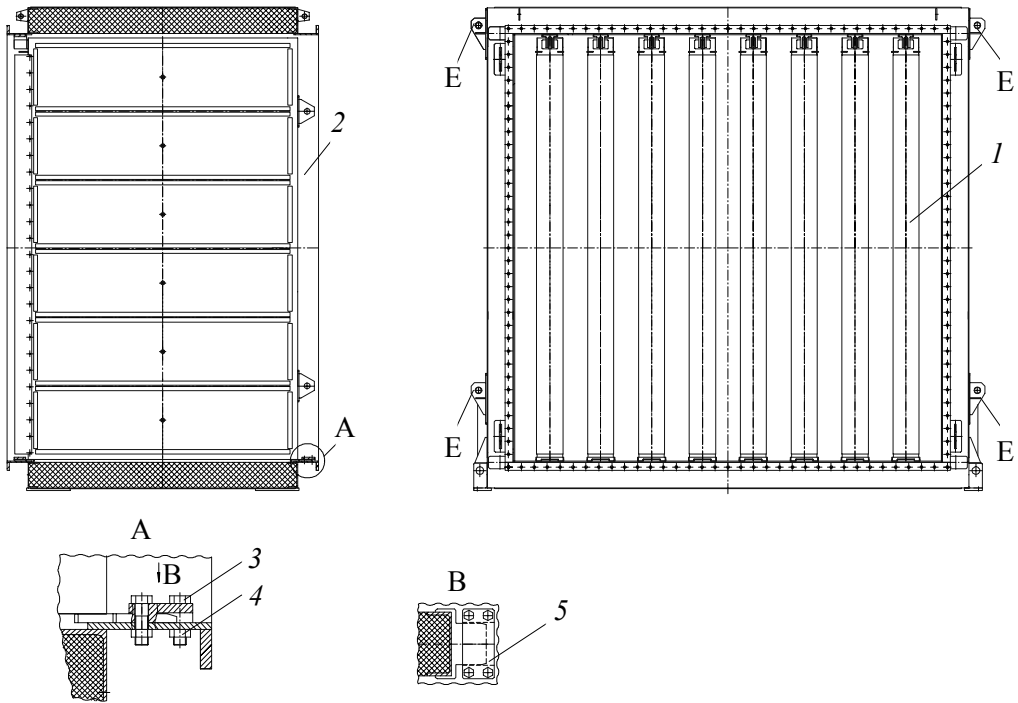


Рис. 23. Глушник вихлопу:

Е – рим; 1 – панель глушника; 2 – корпус; 3 – болт; 4 – гайка; 5 – фіксатор

Корпус глушника являє собою каркас зі швелера, що зовні обшитий листами, усередині – перфорованими листами, між якими знаходиться звукоізоляційний матеріал – звукопоглинаючі мати.

Розташування панелей глушника 1 у корпусі визначається нероз'ємними фіксаторами по входній кромці та фіксуються знімними фіксаторами 5 по вхідній кромці. Панелі глушника, що представляють собою каркас зі швелера, обшитий перфорованими листами з двох боків і закріплений на каркасі накладками.

Ресора (рис. 24) призначена для передачі крутячого моменту від СТ двигуна до генератора та складається з труби 1, фланців 2, 3, 5 і двох щок 4. Труба 1 з'єднана з фланцем 2 за допомогою зварювання. Інші елементи ресори з'єднуються болтовими з'єднаннями, законтреними шплінтами. Фла-

нець 3 кріпиться до фланця 5 муфти задньої болтами, законтреним від провертання пластинчастими замками.

Муфта фрикційна (рис. 25) призначена для передачі крутячого моменту від ГТД до генератора і є муфтою граничного моменту при виникненні короткого замикання генератора. Вона розрахована на спрацювання при досягненні граничного значення крутячого моменту 13,5 кНм. Муфта фрикційна складається з корпусу 1, дисків з накладками 2, дисків 3, двох дисків упорних 4, кільця пружинних 5 і опори 8.

Корпус 1 з'єднаний з опорою 8 за допомогою фланця 6 і гвинтів 7. У порожнину між корпусом 1 і опорою 8 установлений пакет дисків, що складається з дисків з накладками 2, що знаходяться в шліцьовому зачепленні з корпусом 1, і дисків 3, що знаходяться в шліцьовому зачепленні з опорою 8. Пакет дисків розташований між дисками упорними 4, що знаходяться в шліцьовому зачепленні з опорою 8, і піджатими кільцями пружинними 5.

Передача крутячого моменту муфтою фрикційною здійснюється за рахунок сил тертя, створюваних на контактних поверхнях дисків 2, 3, і 4 під впливом кільця пружинних 5. Сила тертя на контактних поверхнях дисків регулюється кільцем регулювальним 9 і визначається необхідним крутячим моментом.

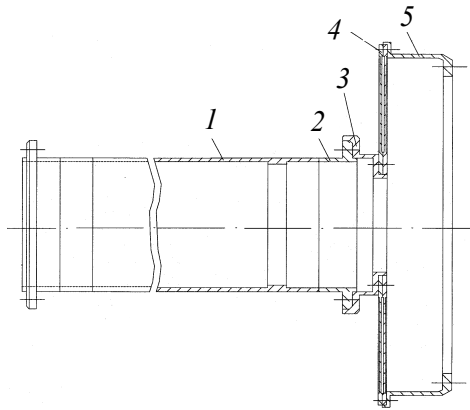


Рис. 24. Ресора

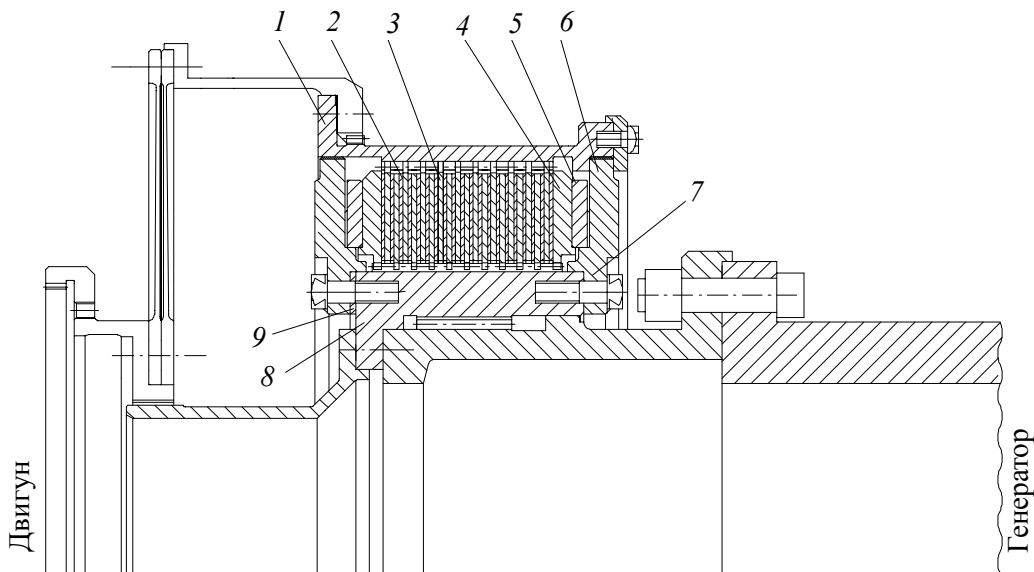


Рис. 25. Муфта фрикційна

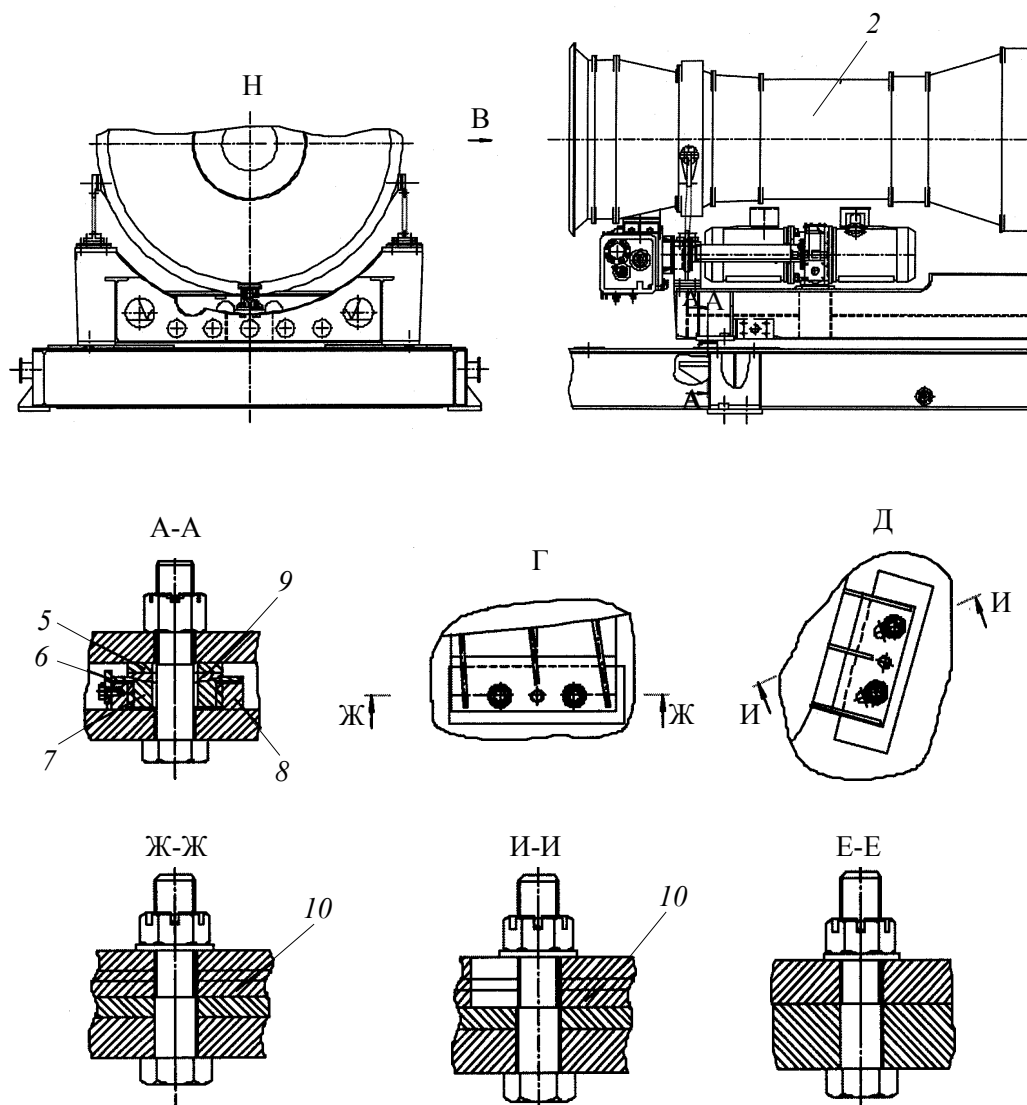
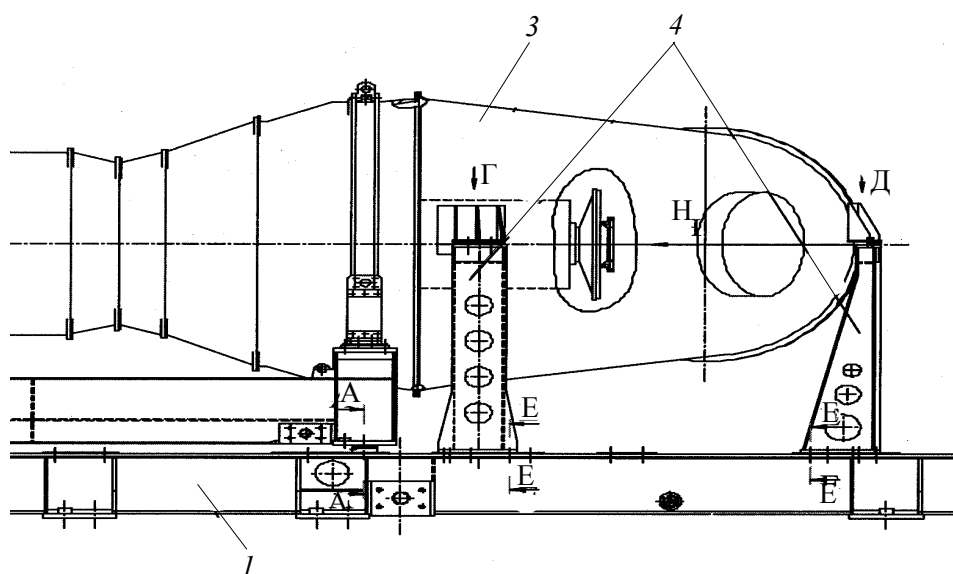
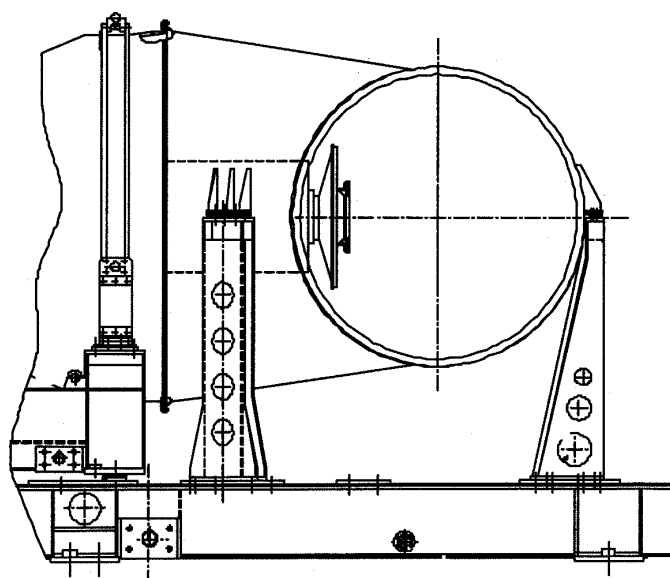


Рис. 3Д. Установка двигуна
 1 – рама блока двигуна; 2 – двигун; 3 – газовідвід; 4 – опора;



Розташування газовідводу на лівий бік



ДГ80Л на рамі блока:

5, 9, 10 – прокладки; 6 – фіксатор; 7 – гвинт; 8 – гайка

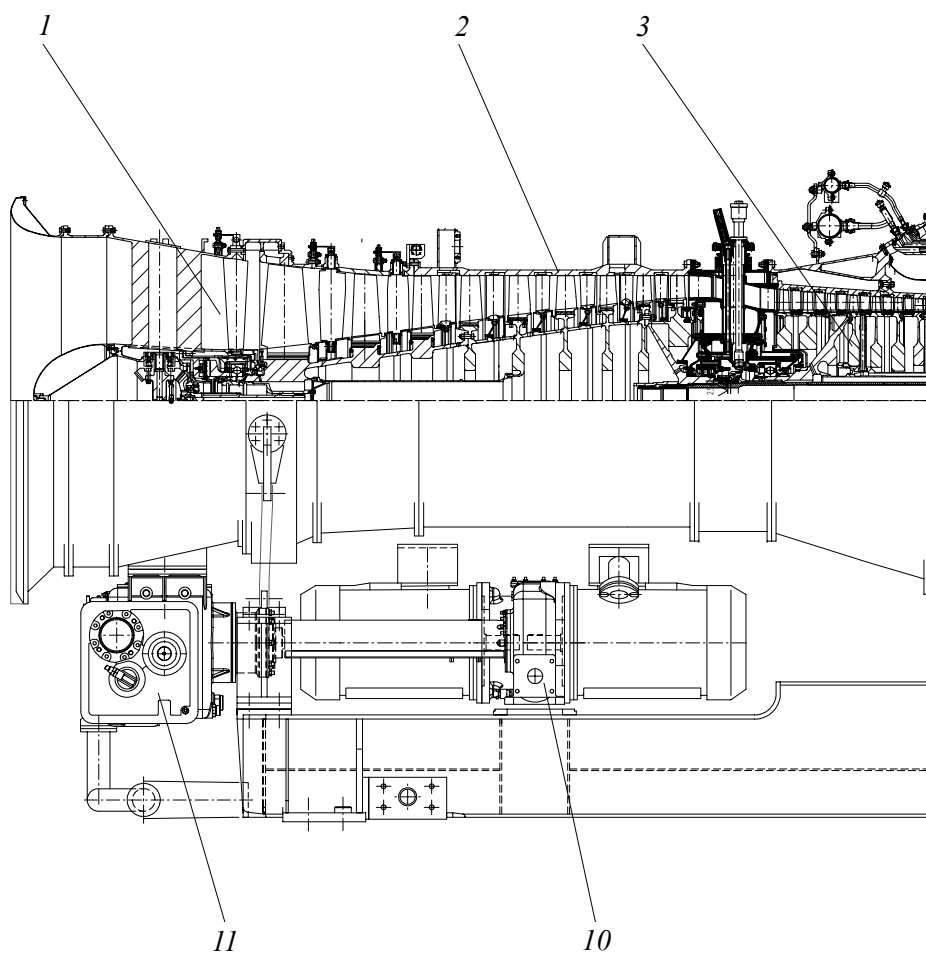
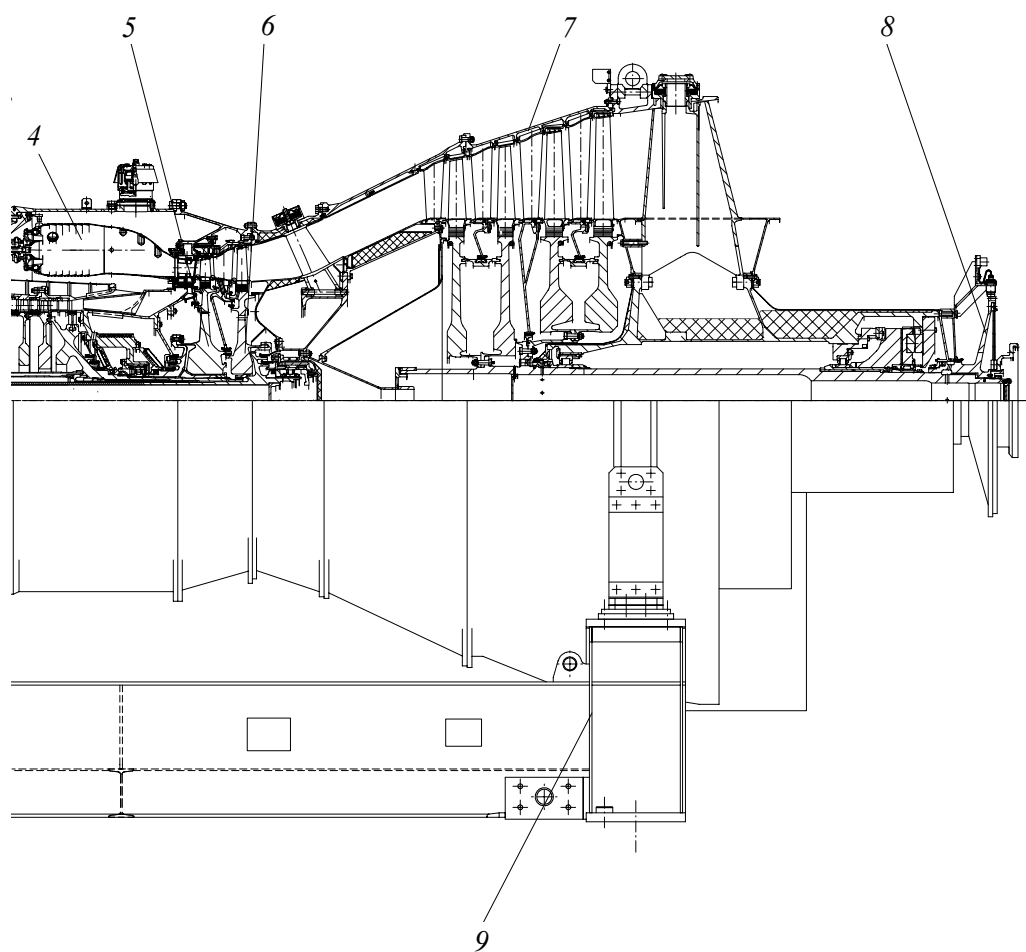
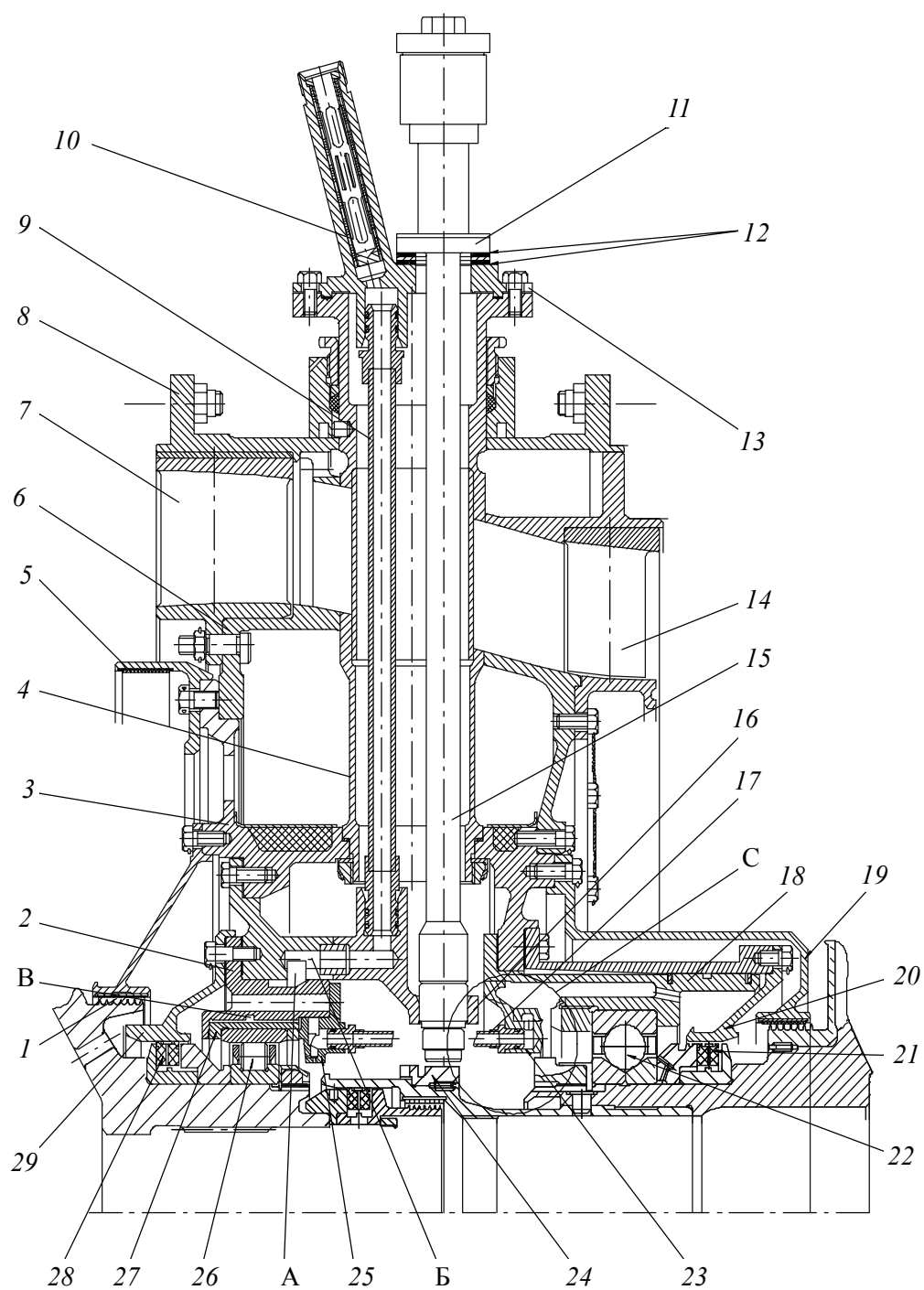


Рис. 4Д. Двигун



ДГ80Л на рамі



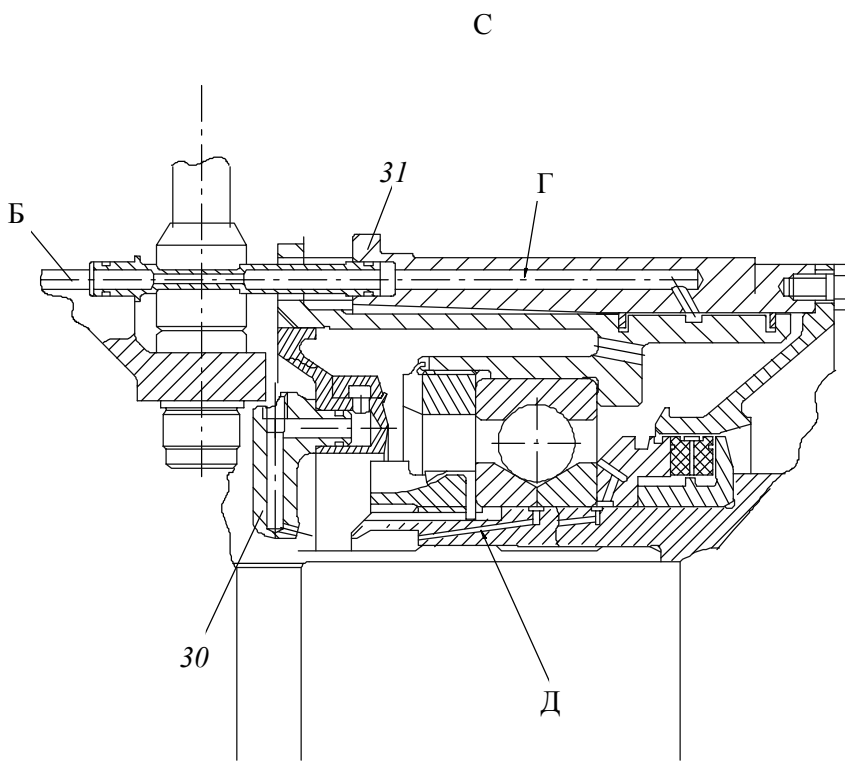
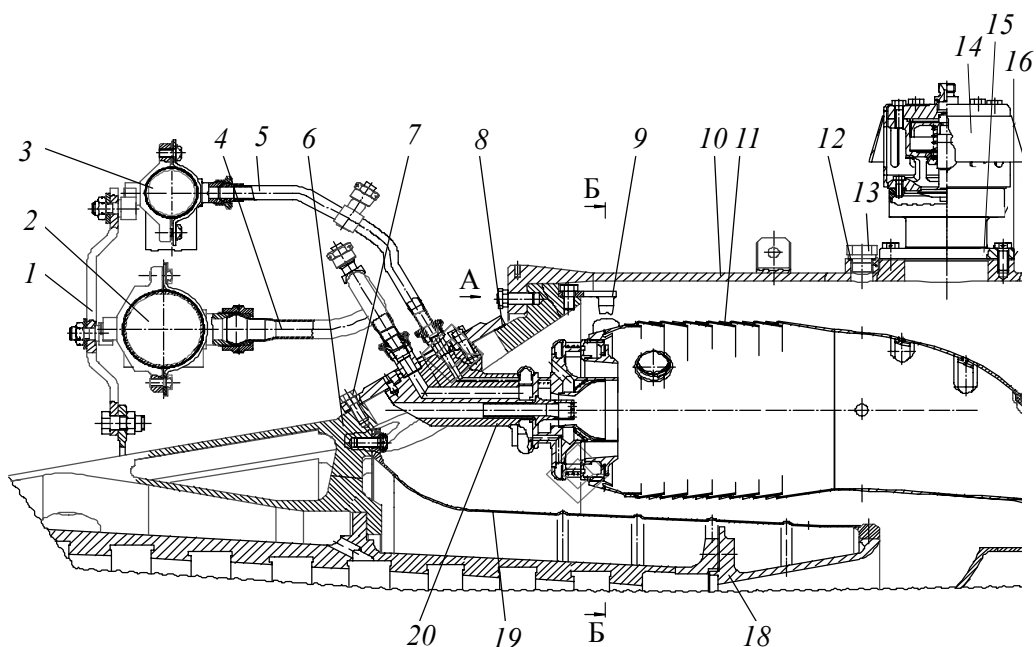


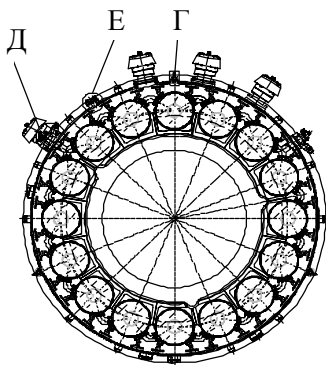
Рис. 10Д. Перехідник (розріз по підведенню масла й датчику):

А – канал кільцевий роздачі масла; Б – канал масляний; В – зазор кільцевий; Г, Д – канали підведення масла; 1, 5, 19 – кришки лабіринтові; 2, 18 – корпуси задньої опори КНТ і КВТ відповідно; 3 – корпус силовий; 4 – труба; 6, 8 – стінки внутрішня і зовнішня відповідно; 7 – апарат спрямляльний; 9 – труба маслопідвідна; 10 – фільтр; 11 і 21, 28 – кільця регулювальне й ущільнювальні відповідно; 12 – прокладка; 13 – фланець; 14 – апарат напрямний на вході у КВТ; 15 – датчик; 16 – кронштейн; 17 – труба підведення масла; 20, 29 – кришки; 22, 26 – підшипники шарииковий і роликовий відповідно; 23, 25 – кільця маслопідвідні; 24 – шестірня-індуктор; 27 – втулка; 30 – форсунка; 31 – кришка обмежувальна



Б-Б

Схема розташування жарових труб, клапанів перепуску повітря, запальників, заглушок, датчиків пульсації



Д

Е

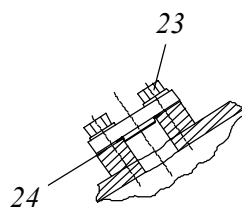
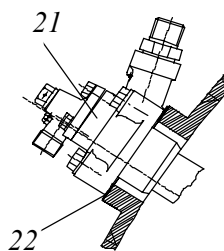
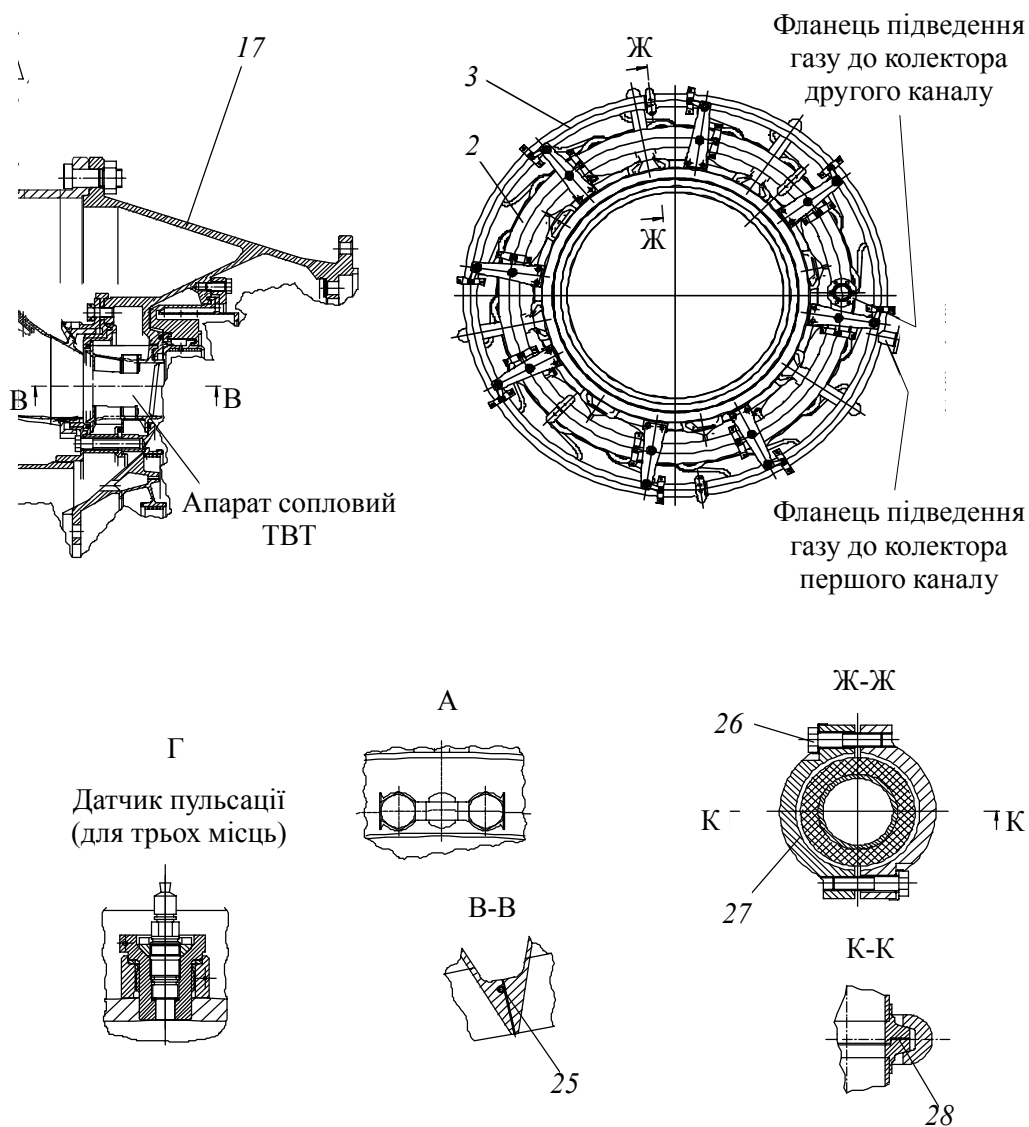


Рис. 12Д. Камера

1 – підвіска; 2, 3 – колектор другого й першого каналів відповідно; 4, 5 – трубки підвідні прокладки; 9 – фіксатор; 10 – кожух камери згоряння; 11 – труба жарова; 13, 23 – заглушки; 20 – пристрій палинниковий; 21 – запальник;

Схема розташування паливних колекторів
(вид за ходом газу)



згоряння:

другого й першого каналів відповідно; 6 – корпус КВТ; 7, 26 – гвинти; 8, 12, 16, 22, 24, 28 – 14 – клапан перепуску повітря; 15 – стакан; 17 – корпус силовий; 18 – дифузор; 19 – кожух; 25 – елемент пружний; 27 – скоба

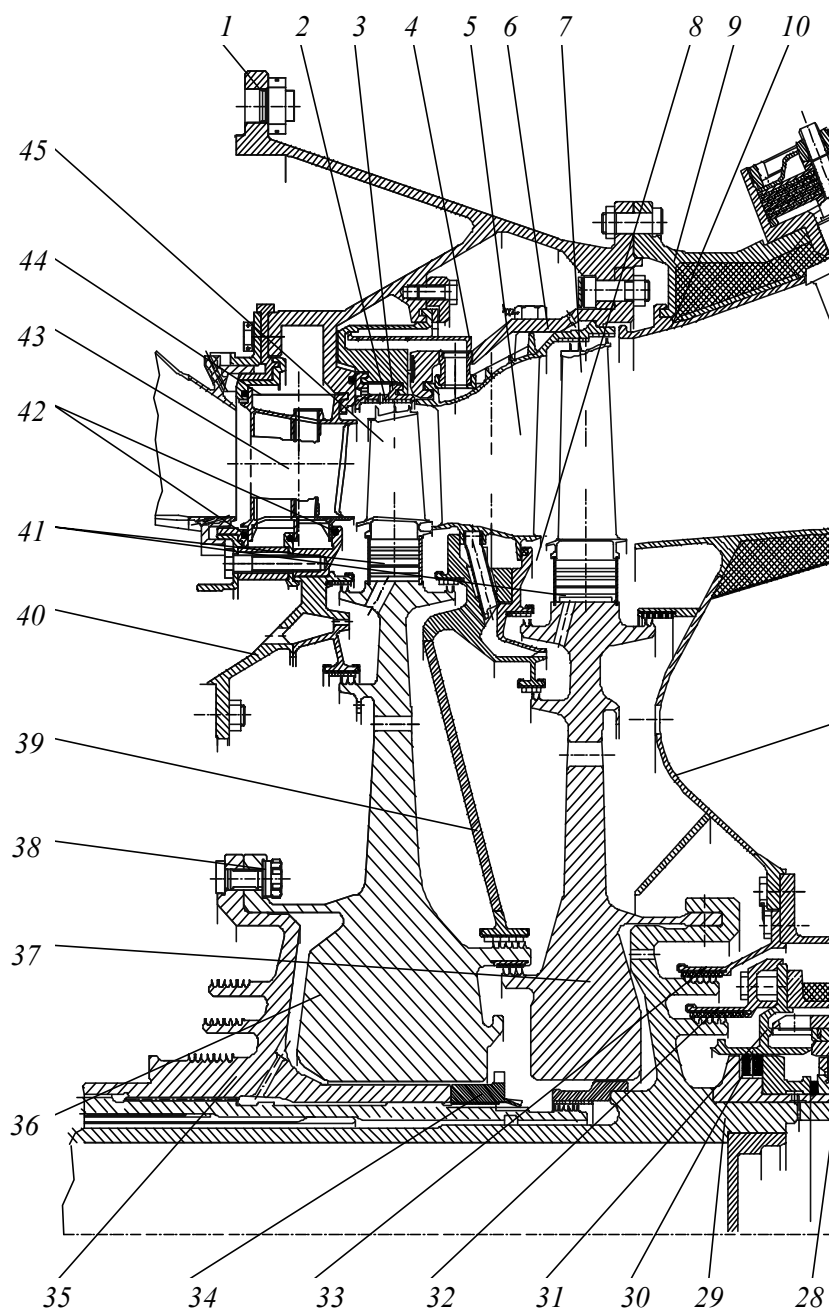
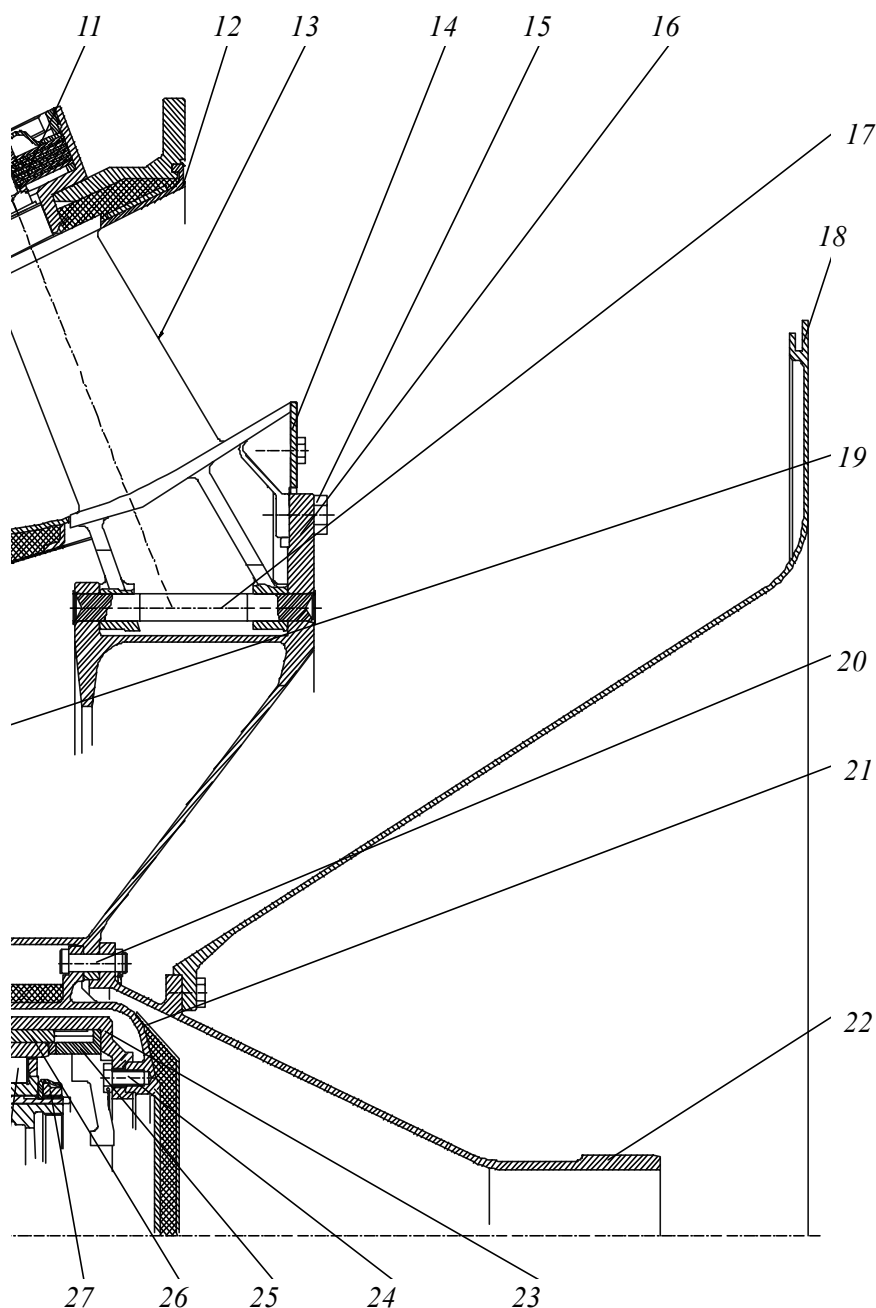


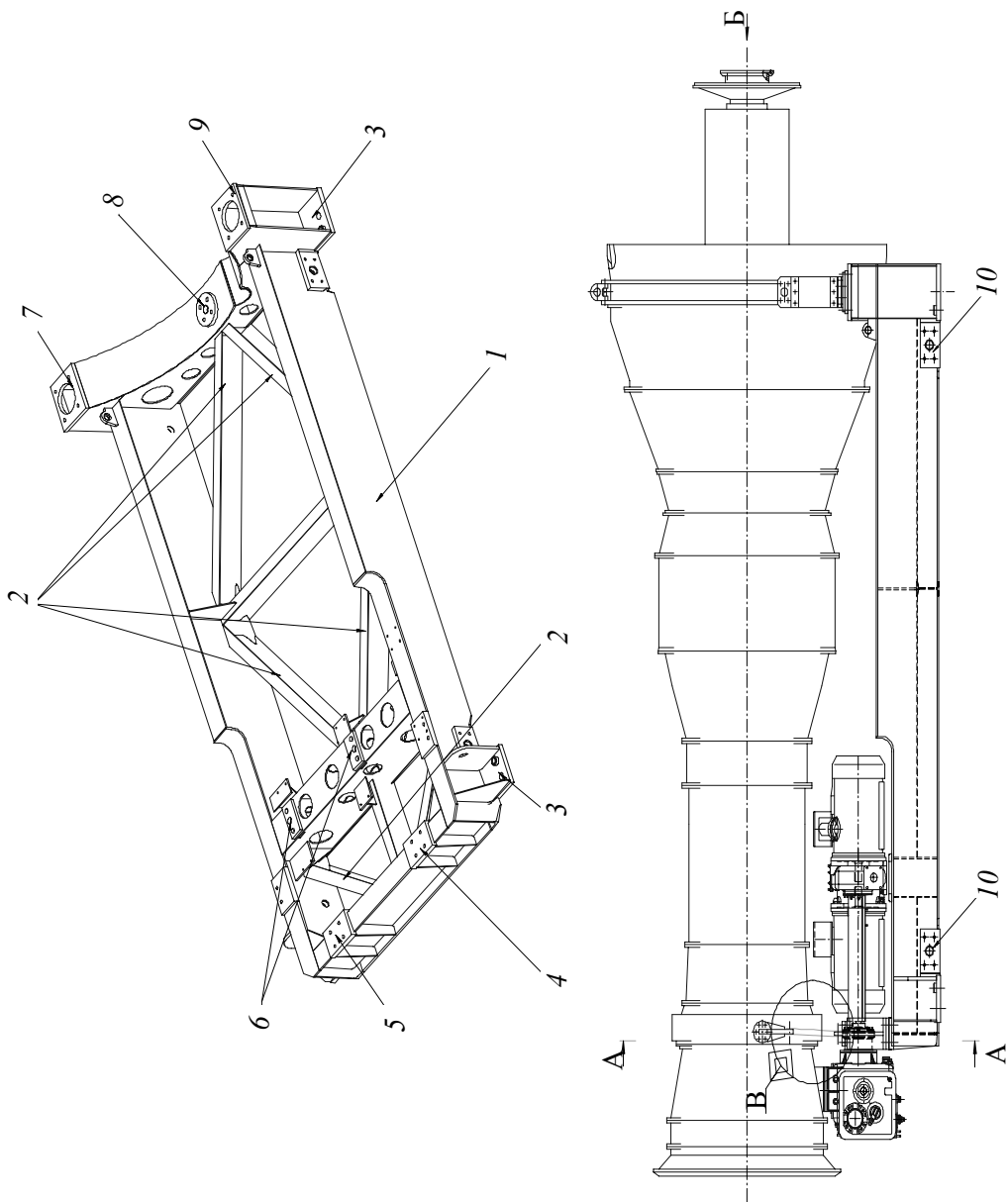
Рис. 17Д. Турбіна високого тиску

1 – корпус силовий; 2 – вставка стільникова; 3, 8 – кільця; 4 – екран розподільний; 5 – блок 7 – лопатка робоча ТНТ; 10, 12 – кожухи зовнішні; 11 – компенсатор; 13 – стояк; 14 – екран; 18 – стінка; 19 – стінка-кожух; 22 – конус; 23 – корпус; 25 – колектор підведення масла; роликів; 29 – вал ТНТ; 31, 32, 33 – кришки ущільнювальні; 35 – цапфа ТВТ; 36, 37 – 42, 44 – ущільнення сайферитові; 43, 45 – лопатки



і турбіна низького тиску:

лопаток ТНТ; 6, 9 – корпуси соплового апарата й опорного вінця ТНТ відповідно; 15, 20, 24, 38 – болти; 16, 21 – корпуси опори і підшипника відповідно; 17 – палець; 26, 30 – кільця регулювальне та ущільнювальне відповідно; 27, 34 – гайки; 28 – підшипник диски ТВТ і ТНТ відповідно; 39 – діафрагма; 40 – апарат напрямний; 41 – сегмент; соплова і робоча ТВТ відповідно



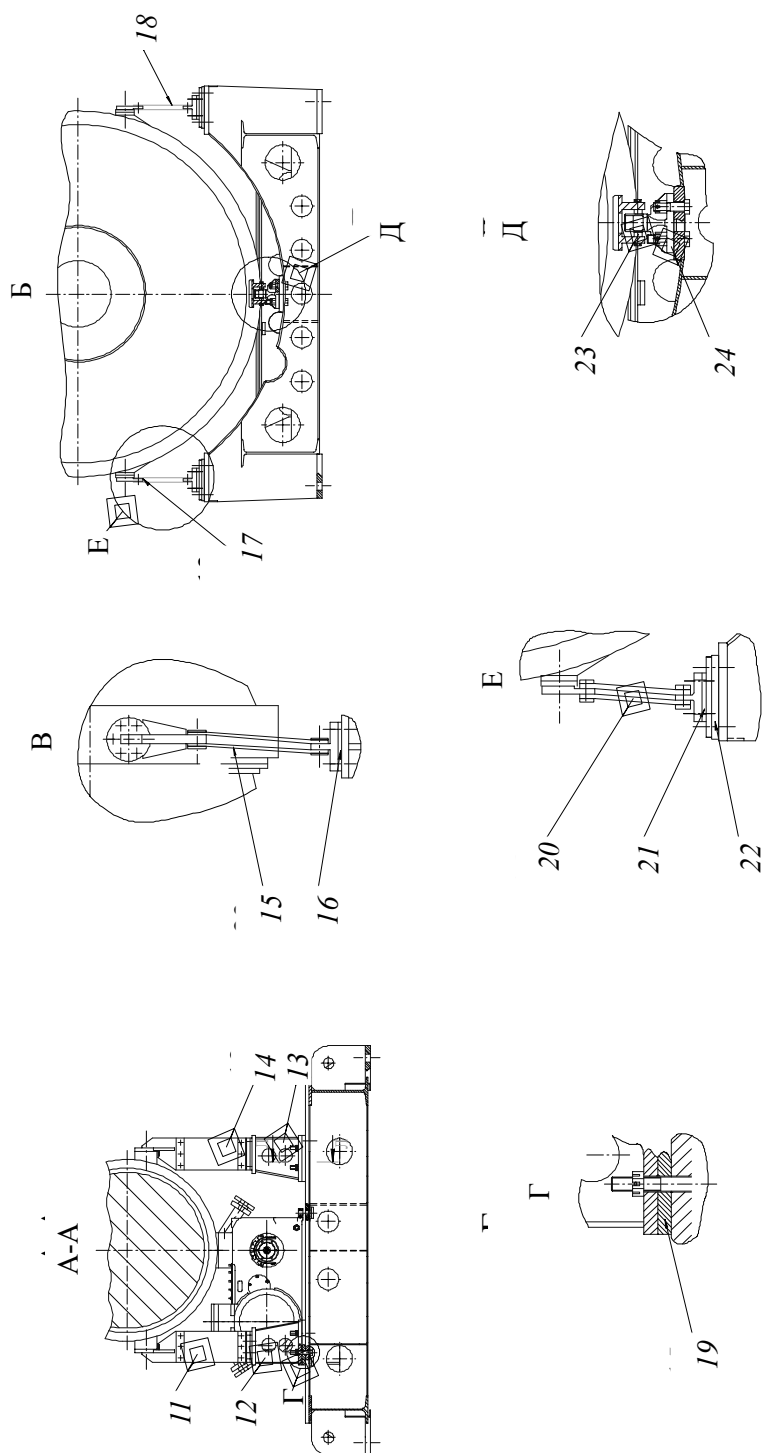


Рис. 21Д. Рама й опори двигуна

ЗМІСТ

1. Опис і робота газотурбінного двигуна типу UGT 25000E	3
1.1. Призначення двигуна	3
1.2. Основні технічні характеристики	3
1.3. Склад ГТЕ-25НГ80	5
1.4. Робота ГТЕ-25НГ80	6
2. Опис і робота складових частин ГТЕ-25НГ80	6
2.1. Комплексний повітроочисний пристрій	6
2.2. Проставка	8
2.3. Блок двигуна. Устаткування	8
ДОДАТОК	38

Навчальне видання

**Спіцин Володимир Євгенович
Харченко Валерій Іванович**

**БУДОВА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА
ТИПУ UGT 25000E**

У двох частинах

Частина 1

Конструкція газотурбінного двигуна

(українською мовою)

Редактор Т.Б. Забабуріна
Комп'ютерна правка та верстка В.Г. Мазанко
Коректор М.О. Паненко

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 24.10.07. Папір офсетний. Формат 70×100/16.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 4,0. Обл.-вид. арк. 3,1. Тираж 200 прим.
Вид. № 5. Зам. № 235. Ціна договірна.

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

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.