

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**Г. Ф. РОМАНОВСЬКИЙ, Ю. О. СУЛТАНСЬКИЙ,
В. І. ХАРЧЕНКО**

**БУДОВА, ПРАВИЛА ТЕХНІЧНОЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник*

Миколаїв 2011

УДК 621.438
ББК 31.363
Р 69

Авторський колектив:

Г. Ф. Романовський, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри турбін Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

Ю. О. Султанський, директор з маркетингу та впровадження газотурбінних проектів ДП НВКГ "Зоря"–"Машпроект";

В. І. Харченко, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Рецензенти:

С. К. Чернов, доктор технічних наук, професор, директор ДП НВКГ "Зоря"–"Машпроект";

Б. Г. Тимошевський, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

В. Є. Спіцин, кандидат технічних наук, головний конструктор ДП НВКГ "Зоря"–"Машпроект"

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник
(лист № 1/II-7608 від 10 серпня 2010 р.)*

Романовський Г. Ф.

Р 69 Будова, правила технічної експлуатації та обслуговування газотурбінних двигунів : навч. посіб. / Г. Ф. Романовський, Ю. О. Султанський, В. І. Харченко. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. – 156 с.

ISBN 978–966–321–189–3

Призначено для первинного ознайомлення з газотурбінним двигуном типу UGT 25000E. Наведено опис конструкції основних елементів, систем, правила експлуатації та обслуговування газотурбінного двигуна.

Призначено для студентів спеціальностей 7.090506 "Турбіни" та 7.090509 "Суднові енергетичні установки".

УДК 621.438
ББК 31.363

© Романовський Г. Ф., Султанський Ю. О.,
Харченко В. І., 2011
ISBN 978–966–321–189–3 © Видавництво НУК, 2011

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник призначено для первинного ознайомлення з принципом дії, основними експлуатаційними характеристиками, конструкцією та умовами застосування газотурбінних двигунів (ГТД), які входять у газотурбінну енергетичну установку (ГЕУ).

У посібнику наведені загальні відомості про керування енергетичними ГТД, а також принципи технічного обслуговування цих двигунів в експлуатації та при тимчасовому бездіянні. Конструкція енергетичного ГТД розглядається на прикладі двигуна UGT 25000E.

Стислість змісту та обмеженість обсягу викладеного матеріалу не дозволяють використовувати даний навчальний посібник як повноцінне керівництво з експлуатації ГТД UGT 25000E.

Для поглибленої підготовки персоналу, а також для керівництва при монтажі, введенні в дію, експлуатації і технічному обслуговуванні ГТД UGT 25000E слід максимально повно використовувати наступну експлуатаційну документацію:

формуляр ГТД;

інструкцію з експлуатації ГТД;

комплект технологічних карт;

технічний опис ГТД;

технічні вимоги на монтаж ГТД, а також експлуатаційну документацію на прилади й агрегати, що входять у комплект постачання ГТД.

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

АЗ	– аварійна зупинка
АСПіКЗ	– автоматична система пожежогасіння і контролю загазованості
БЕТУ	– блок електротехнічного устаткування
БПА	– блок паливних агрегатів
ВНА	– вхідний напрямний апарат
ВОД	– вентилятор охолодження двигуна
ВТК	– відділ технічного контролю
ГВС	– газовий вогнегасний склад
ГЕУ	– газотурбінна енергетична установка
ГТД	– газотурбінний двигун
ЕМНВ	– електромаслонасос відкачування
ЕМНГ	– електромаслонасос генератора
ЕМНН	– електромаслонасос нагнітання
ЗІП	– запасний інструмент і прилади
ЗК	– задній корпус
КВ	– клапан відсічний
КВП	– контрольно-вимірвальні прилади
КВТ	– компресор високого тиску
КНТ	– компресор низького тиску
КЗ	– камера згоряння
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КПГ	– клапан пускового газу
КПОП	– комплексний повітроочисний пристрій
КР	– клапан регулюючий
МВБ	– масловіддільний бак
МЦГ	– маслоцистерна циркуляційна генератора
МЦД	– маслоцистерна циркуляційна двигуна
МФ	– масляний фільтр
НЗ	– нормальна зупинка
НТД	– нормативно-технічна документація
ОВ	– опорний вінець
ОРТ	– обмежувач розкручування турбіни
ПК	– пульт керування
РПТ	– регулятор перепаду тиску
САК	– система автоматичного керування
САР	– система автоматичного регулювання
СК	– стоп-кран
СПЗ	– система плазмового запалювання

ССМ	– сигналізатор стружки магнітний
ТВТ	– турбіна високого тиску
ТНТ	– турбіна низького тиску
ТГ	– турбіна генератора
ТКВТ	– турбокомпресор високого тиску
ТКНТ	– турбокомпресор низького тиску
ТО	– технічне обслуговування
ТПО	– термоперетворювач опору
ТС	– турбіна силова
УПК	– упорний підшипник ковзання
ХП	– холодне прокручування
ХХ	– холостий хід
N_e	– номінальна потужність двигуна
$t_{04\text{сер}}$	– середня температура газів за ТНТ
$t_{\text{КНТ сер}}$	– середня температура повітря за КНТ

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 ГТД забезпечує його роботу в складі агрегату на всіх режимах без постійної присутності обслуговуючого персоналу. Двигун пристосований для роботи із системою автоматичного керування (САК), захисту й контролю, для чого має місця для приєднання необхідних датчиків, які разом із САК 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 виробу	ГТЕ-25НГ80
ГТД	ДГ80Л
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 воздухозабірної системи до входу в компресор ГТД не більше 981 Па (0,010 кгс/см ²), опорі вихлопних пристроїв не більше 2451 Па (0,025 кгс/см ²), коефіцієнті корисної дії (ККД) 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 (°С).....	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 із виходом на холостий хід (ХХ) двигуна, не більше, хв.....	3
Час нормального пуску ГТЕ-25НГ80 і прийняття повного навантаження (при прогріві ГТД протягом 15 хв), хв.....	25
Час пуску і прискореного прийняття повного навантаження (при прогріві ГТД протягом 10 хв), хв.....	15

Мінімальний час зміни навантаження в діапазоні 0...50 % і 50...0 % номінальної потужності (10 МВт/хв), с.....	80
Мінімальний час зміни навантаження в діапазоні 50...100 % і 100...50 % номінальної потужності (15 МВт/хв), с.....	50
Розрахункова кількість скидань-накидів навантаження величиною більше 30 % від номінальної за весь термін служби установки.....	390
<i>Показники надійності</i>	
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 кількості пусків не більше 400, год.....	25000
Повний середній ресурс ГТЕ-25НГ80 при кількості пусків не більше 1500, год.....	75000
Термін служби турбогенератора між капітальними ремонтами (перший ремонт із виїмкою ротора проводиться через 1 рік після введення турбогенератора в експлуатацію), років.....	8
Повний призначений термін служби ГТЕ-25НГ80, років.....	12
Середній термін служби турбогенератора, років.....	40
<i>Показники експериментальні</i>	
(при температурі зовнішнього повітря + 15 °С та барометричному тиску 760 мм рт. ст. з урахуванням стендових втрат на вході й виході)	
Витрати повітря на вході в компресор, кг/с.....	86,7
Частота обертання турбокомпресора низького тиску (ТКНТ), об/хв.....	7330
Тиск повітря за компресором низького тиску (КНТ), кг/см ²	5,33
Ступінь підвищення тиску КНТ.....	5,16
Температура повітря за КНТ, °С.....	210
Коефіцієнт корисної дії КНТ.....	0,882
Частота обертання турбокомпресора високого тиску (ТКВТ), об/хв.....	9580
Тиск повітря за компресором високого тиску (КВТ), кг/см ²	21,1
Ступінь підвищення тиску КВТ.....	4
Ступінь підвищення тиску КНТ та КВТ.....	20,64
Температура повітря за КВТ, °С.....	463
Коефіцієнт корисної дії КВТ.....	0,869
Температура газу перед турбіною високого тиску (ТВТ), °С.....	1245
Тиск газу перед ТВТ, кг/см ²	20
Температура газу за ТВТ, °С.....	927
Тиск газу за ТВТ, кг/см ²	8,23
Коефіцієнт корисної дії ТВТ.....	0,858
Температура газу за турбіною низького тиску (ТНТ), °С.....	742
Тиск газу за ТНТ, кг/см ²	3,98
Коефіцієнт корисної дії ТНТ.....	0,89
Температура газу за турбіною силовою (ТС), °С.....	484
Тиск газу за ТС, кг/см ²	1,093

Кофіцієнт корисної дії ТС.....	0,92
Частота обертання ТС, об/хв.....	3300
Годинна витрата палива ($Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 50032$ кДж/кг), кг/год.....	5092
Питома витрата палива, кг/(кВт·год).....	0,191
Потужність на фланці ТС, кВт.....	26700

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 (БПА) 4 на рамі; газовихлопний тракт ГТЕ-25НГ80, що складається

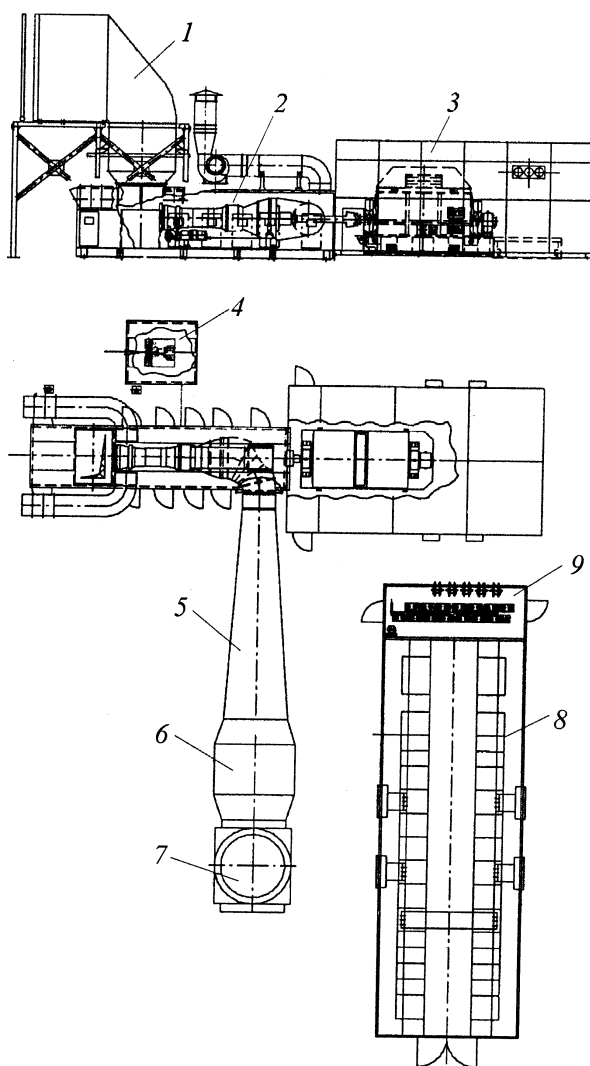


Рис. 1. Газотурбінна установка ГТЕ-25НГ80

з газовідводу, насадка, проставки (розташовані в блоці двигуна), дифузора 5 і глушника вихлопу 6; швидкодіючий пускозахисний клапан 7; блок електро-технічного устаткування (БЕТУ) 8 із насиченням (один на дві ГЕУ); станція пожежогасіння 9 (одна на дві установки, входить до складу БЕТУ); пересувна установка для промивання проточної частини компресорів ГТД (одна на чотири установки); мікропроцесорна САК.

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 (див. рис. 1).

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 призначено для очищення повітря, що надходить на вхід у ГТД, та зниження шуму при роботі ГТД.

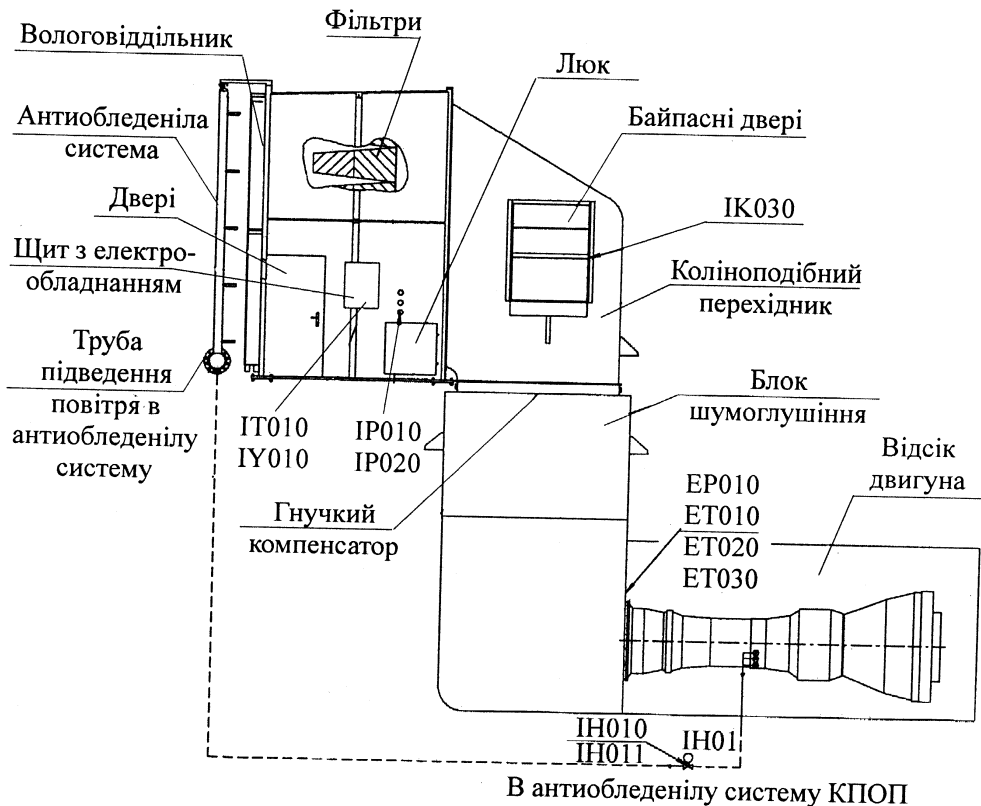


Рис. 2. Комплексний повітроочисний пристрій:

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

Складається КПОП з трьох ступенів очищення повітря та блока шумоглушіння:

- перший ступінь (вологовіддільник і антиобледеніла система);
- другий ступінь (фільтри попереднього очищення);
- третій ступінь (фільтри тонкого очищення).

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

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 подає гаряче стиснене повітря від компресора ГТД у повітря, яке надходить на вхід у КПОП, піднімаючи температуру повітря на вході та знижуючи його відносну вологість. Система включається в роботу при температурі +5...–10 °С і відносній вологості $\geq 80\%$.

Фільтри попереднього очищення натягаються 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 та обслуговування КПОП. Блок шумоглушіння складається з набору шумоглушительних пластин, між якими проходить очищене повітря на вхід у ГТД. Він знижує рівень шуму ГТД до 85 дБ на відстані 1 м від площини повітрязабору КПОП при опорі 30 мм вод. ст.

Повітря в антиобледенілу систему КПОП подається від двигуна ДГ80Л.

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 зменшенні тиску на вході в ГТД 150 мм вод. ст. (1,5 кПа) – сигнал від ЕР010;

аварійну сигналізацію при зменшенні тиску на вході в ГТД 200 мм вод. ст. (2,0 кПа) – сигнал від ЕР010 із зупинкою ГТД;

відкриття клапана ІН01 при роботі ГТД, температурі повітря на вході у КПОП –10...+5 °С і 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 °С;
температура повітря на вході у КПОП нижче -11 °С;
відносна вологість повітря на вході у КПОП менше 78 %;
нормальна зупинка ГТД;
аварійна зупинка ГТД;
подача команди оператора.

Проставка з'єднується з глушником КПОП та зовнішнім і внутрішнім кожухами контейнера ГТД. Вона конструктивно складається з каркаса із зовнішніми і внутрішніми панелями обшивки, між якими розташований звукоізолюючий матеріал.

2.2. Блок двигуна. Устаткування

Двигун на рамі. Будова і робота двигуна. Двигун газотурбінний конвертований судновий ДГ80Л, установлення на рамі блока якого показано на рис. 3Д*, призначений для приводу генератора та складається з газогенератора 2 (рис. 4Д) і турбіни силової 7.

Газогенератор складається з двох осьових компресорів низького 1 і високого 3 тисків, що приводяться в обертання двома незалежними турбінами відповідно низького 6 та високого 5 тисків, а також трубчасто-кільцевої камери згоряння (КЗ) 4.

Компресори і турбіни, що приводять їх в обертання, утворюють два кинематично між собою незв'язаних контури: контур низького тиску й контур високого тиску, що мають різні частоти обертання на кожному режимі роботи ГТД.

Від ТС 7 через еластичну муфту 8 обертання передається до генератора. Двигун розташований на рамі 9.

Розкрутку ротора КНТ при запуску виконують через нижню коробку приводів 11 електростартерами перемінного струму, розміщеними на вивносній коробці приводів 10.

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

Із КВТ повітря надходить у камеру згоряння 4, в якій спалюється паливний газ. Запалення паливного газу при пуску здійснюється за допомогою запальників. Подальше горіння в КЗ забезпечується безупинною подачею палива і повітря.

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

* Рисунки з індексом "Д" подано у додатку.

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

Газ, що виходить із ТНТ 6, надходить у турбіну силовою 7, яка розвиває потужність, що передається споживачу.

З турбіни силової 7 відпрацьований газ через газовідвід ГТД надходить у газовихлопний тракт.

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

Компресор низького тиску (рис. 5) осьовий, дев'ястиступінчатий, кожний ступінь утворений одним рядом робочих лопаток ротора і розташованим за ним рядом спрямляючих 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 (ВНА), пристрою антизривного 6, апарата поворотного спрямляючого нульового ступеня 7, апарата поворотного спрямляючого 1-го ступеня 9, ротора 10, корпусу КНТ 12, передньої опори КНТ із шариковим підшипником кочення 15 та упорним підшипником ковзання (УПК) 4, задньої опори КНТ із роликівим підшипником 14.

Для забезпечення стійкої роботи компресора у заданому діапазоні режимів і на запуску двигуна 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.

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

Корпус передній призначений для розміщення поворотного ВНА, опори передньої КНТ і приводу.

Корпус передній (рис. 6) складається з конічних зовнішньої 7 та внутрішньої 9 стінок, жорстко з'єднаних між собою профільованими порожніми стояками 1, 2, 6, 8, 12, 13.

Через стояк 2, розташовану в ньому трубу підведення масла 4 і масляний фільтр 3 масло підводиться на змащення приводу передньої опори. Через нижній стояк 11 проходить ресора 12 нижньої коробки приводів. Масло з переднього корпусу зливається 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 вимірювання статичного тиску в проточній частині, на цій же стінці встановлені шість форсунок для промивання проточної частини компресора, а в районі нижнього стояка є фланці для кріплення коробки приводів.

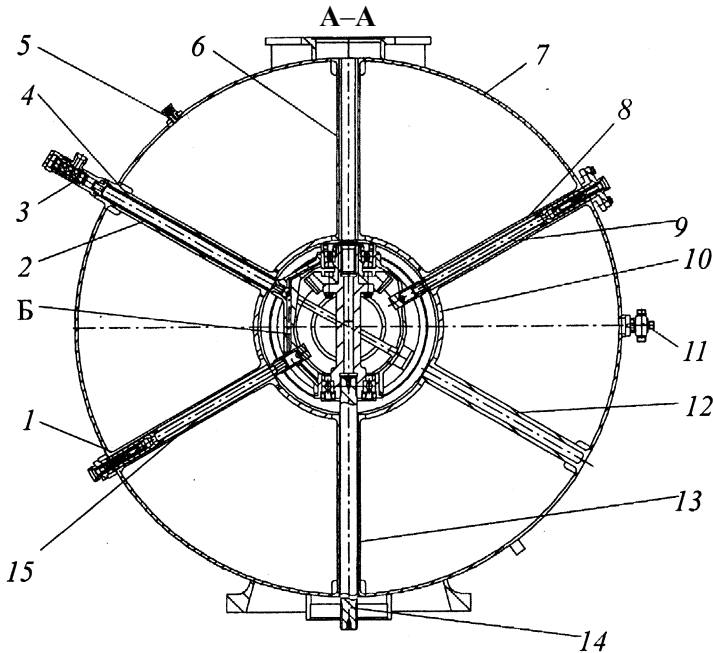


Рис. 6. Корпус передній:

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

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, що виникають при обертанні ротора КНТ, і частково осьових навантажень, виникаючих при роботі ТКНТ та спрямованих проти руху повітря.

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

Величина осьового навантаження, що сприймається шариковим підшипником 15, може змінюватися в залежності від режиму двигуна. При зро-

станні осьового навантаження понад визначену величину вступає в роботу 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 13 і 14 (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 крутного моменту від електростартерів до ротора КНТ при запуску двигуна і для приводу всіх навішаних агрегатів під час роботи двигуна. Привід виконаний із двох кінцевих шестерень, установлених у корпусі на підшипниках кочення. Вертикальна шестірня приводу за допомогою ресори 14 (див. рис. 6) зв'язана з нижньою коробкою приводів, а горизонтальна шестірня – з передньою цапфою ротора КНТ своїм шліцьовим кінцем.

Поворотний ВНА 5 (див. рис. 5) працює синхронно з поворотними спрямляльними апаратами нульового 7 і 1-го 9 ступенів компресора. Вхідні поворотні напрямні лопатки апарата мають циліндричні цапфи, на які одягнені втулки. Цапфи з втулками вставлені в радіальні отвори, виконані в зовнішній і внутрішній стінках переднього корпусу. В отворах внутрішньої стінки разом із втулками вставлені пружні кільця, що демпфірують коливання лопаток. На зовнішніх цапфах лопаток установлені важелі, з'єднані сферичним з'єднанням із синхронізуючим кільцем, що з'єднано з механізмом повороту – загальним для всіх поворотних апаратів.

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

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

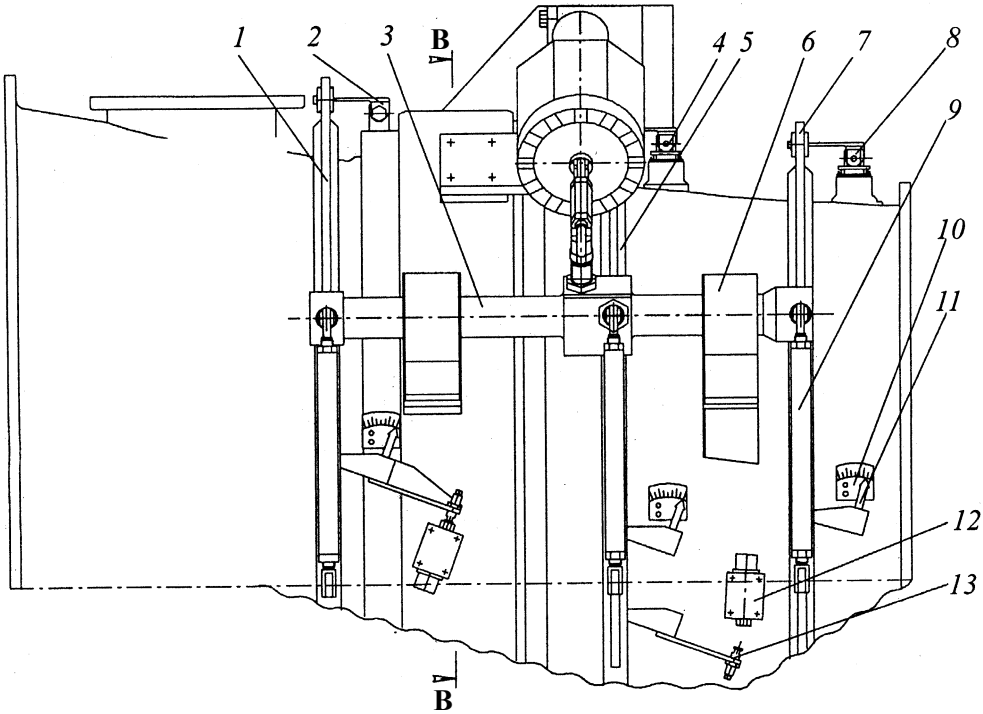


Рис. 7. Механізм повороту спрямляльних апаратів (план):

- 1 – кільце синхронізуюче; 2 – важіль лопатки ВНА; 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

Кутове положення лопаток фіксується на шкалі 10 (див. рис. 7) стрілкою 11. Початкове і кінцеве положення механізму сигналізуються дистанційно світловими сигналами на пульті керування (ПК) 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.

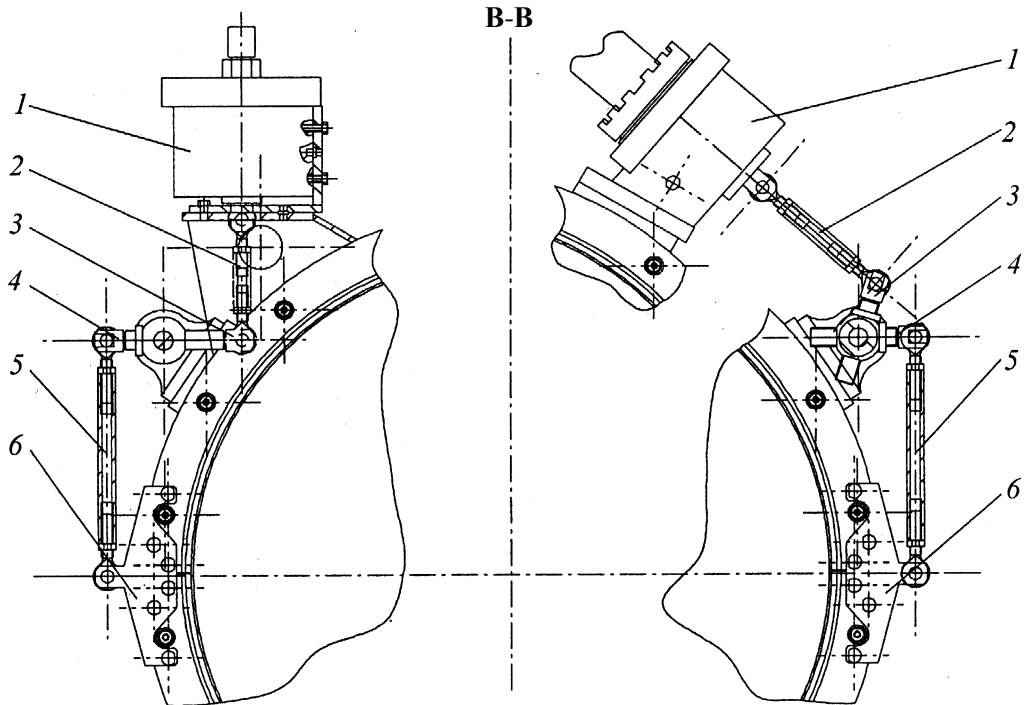


Рис. 8. Механізм повороту спрямляльних апаратів:

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

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, що працюють від двох силових пневматичних циліндрів 1. При цьому пневмоциліндр 1, 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 призначеного 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 пневмоциліндри: основний і допоміжний. Повітря до пневмоциліндрів підводиться через блок очищення й охолодження.

Пристрій антизривний з корпусом поворотних апаратів нульового і першого ступенів КНТ розміщено над робочими лопатками нульового ступеня ротора та призначено для збільшення запасу стійкості КНТ на низьких ре-

жимах роботи. При сталій частоті обертання та зниженні витрати повітря через компресор кількість повітря, яка 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 та 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'ємів. На зовнішній поверхні оболонки розташовані два повітрозбірники симетрично на верхній і нижній половині. Через один повітрозбірник відбирається повітря з другого ступеня компресора на охолодження турбіни, а через другий повітрозбірник повітря із шостого ступеня КНТ через два клапани стравлювання випускається в атмосферу за визначеним алгоритмом для підвищення запасів стійкості КНТ.

У циліндричних проточках корпусу компресора вставлені 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. В останньому вставлені 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 та 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 із 3-го по 8-й ступінь вставлені 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 ТКВТ 6 та призначений для стиску повітря, що надходить з КНТ, і подачі його через задній корпус у камеру згоряння.

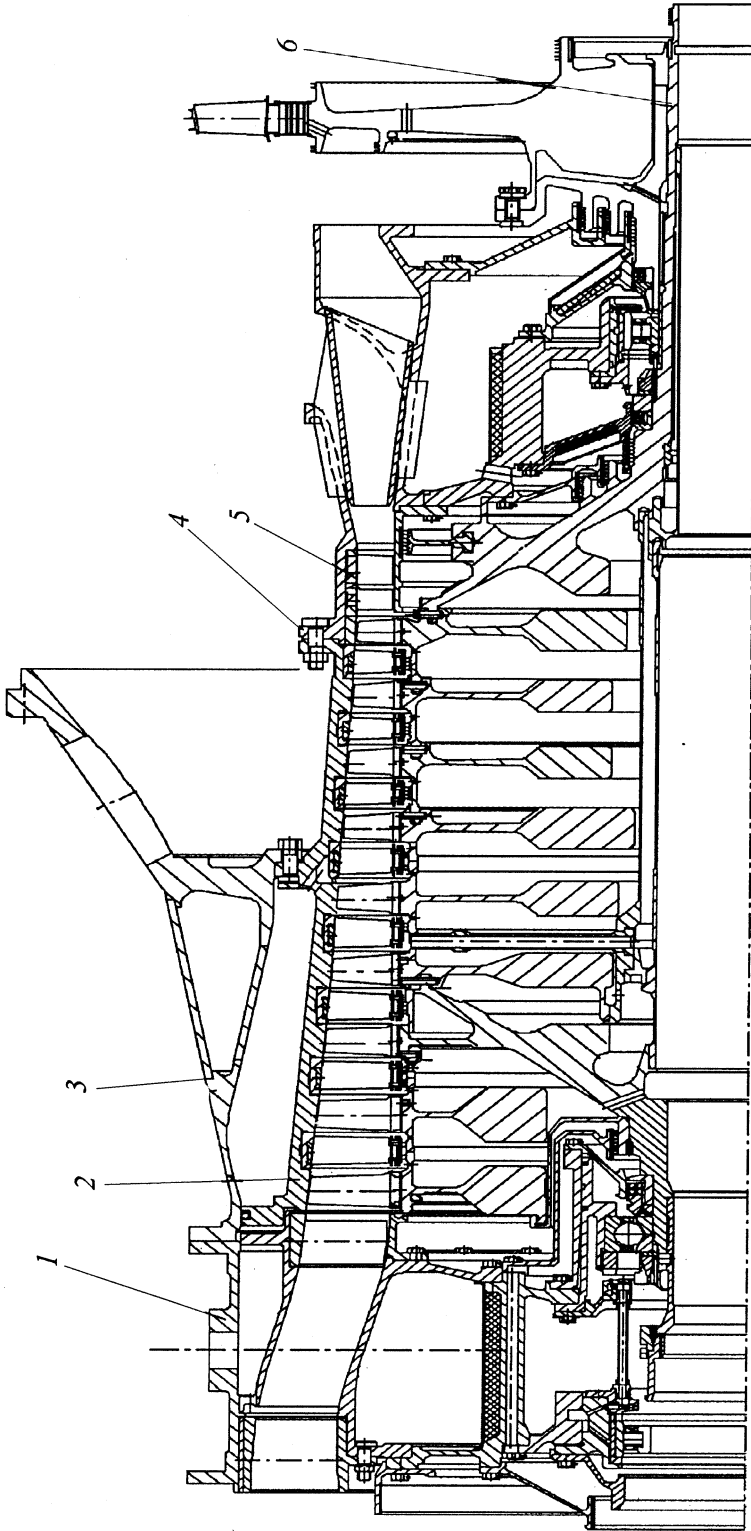


Рис. 9. Компрессор високого тиску

Перехідник призначений для плавного підведення повітря з КНТ у КВТ. У перехіднику (рис. 10Д) розміщені корпус задньої опори КНТ 2 із роликосим підшипником 26, корпус передньої опори КВТ 18 із 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 ВНА 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 та встановлення датчика 15 вимірювання частоти обертання КВТ, зафіксованого в кронштейні 16.

Кільце регулювальне 11 передбачене для забезпечення заданого зазору між датчиком і шестернею-індуктором 25.

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

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 встановлені кришка лабіринтова 1, що у парі з лабіринтом задньої цапфи ротора КНТ утворює лабіринтове ущільнення, і кришка 29, яка 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.

Змащення 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 вимірювання частоти обертання ТКВТ;

патрубок 3 – для здійснення підведення масла і датчика вимірювання 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 трубкою вимірювання тиску в розвантажувальній порожнині.

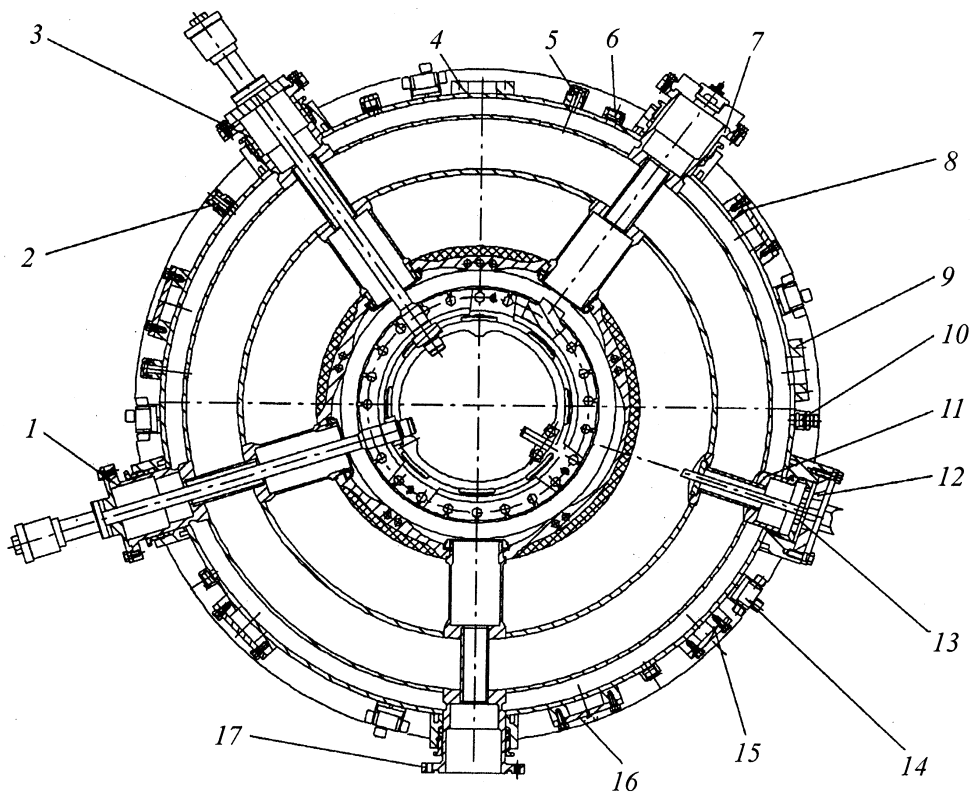


Рис. 11. Перехідник (поперечний переріз):

1 – патрубок безконтактного вимірювання частоти обертання; 2 – штуцер вимірювання статичного тиску; 3 – патрубок підведення масла й безконтактного вимірювання частоти обертання; 4 – відбір повітря в ОВ ТВТ; 5 – штуцер під термопари 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 вимірювання повних параметрів; 11 – патрубок стравлювання; 12 – фланець вимірювання тиску; 13 – кран стравлювання; 14 – форсунка промивна; 15 – штуцер; 16 – відбір повітря на потреби об'єкта; 17 – патрубок зливання масла

На зовнішній стінці перехідника розміщені:

форсунки промивні 14;

штуцери 10 – для вимірювання параметрів;

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

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

штуцери 5 під термопари системи захисту від зриву факела;

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 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 ступенями 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 самому 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 вимірювання 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 автомат регулювання;

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 відбуваються 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 КЗ.

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

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

Лопатки робочі вставлені 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 вимірювання частоти обертання і ручного прокручування ротора. Шестірня виконана разом з кільцетримачем під міжвальне контактне ущільнення, що перешкоджає проникненню в масляну порожнину переходника 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 контактні-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, яке надходить із КВТ.

За конструкцією камера згоряння (рис. 12Д) протитечійна, трубчато-кільцевого типу. Вона 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, які 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, які мають спеціальний клиноподібний паз. Скоби стягаються гвинтами 26 і стопоряться за допомогою шайб-замків. Між фланцями половин колекторів установлюється ущільнювальна прокладка 28.

На кожному з колекторів розміщені 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 запалення 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 своїми хвостовими частинами (обоймами) 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 та 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 та двох фланців. Переднім фланцем кожух кріпиться до корпусу КВТ, а заднім спирається на зовнішню стінку дифузора. На оболонці виконані кармани для проходження труб комунікацій задньої опори, розташованої під камерою згоряння.

Труби жарові є основним елементом камери згоряння та призначені для забезпечення перемішування палива з повітрям і 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, патрубку полум'яперекидального 8, втулок 9, патрубку 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.

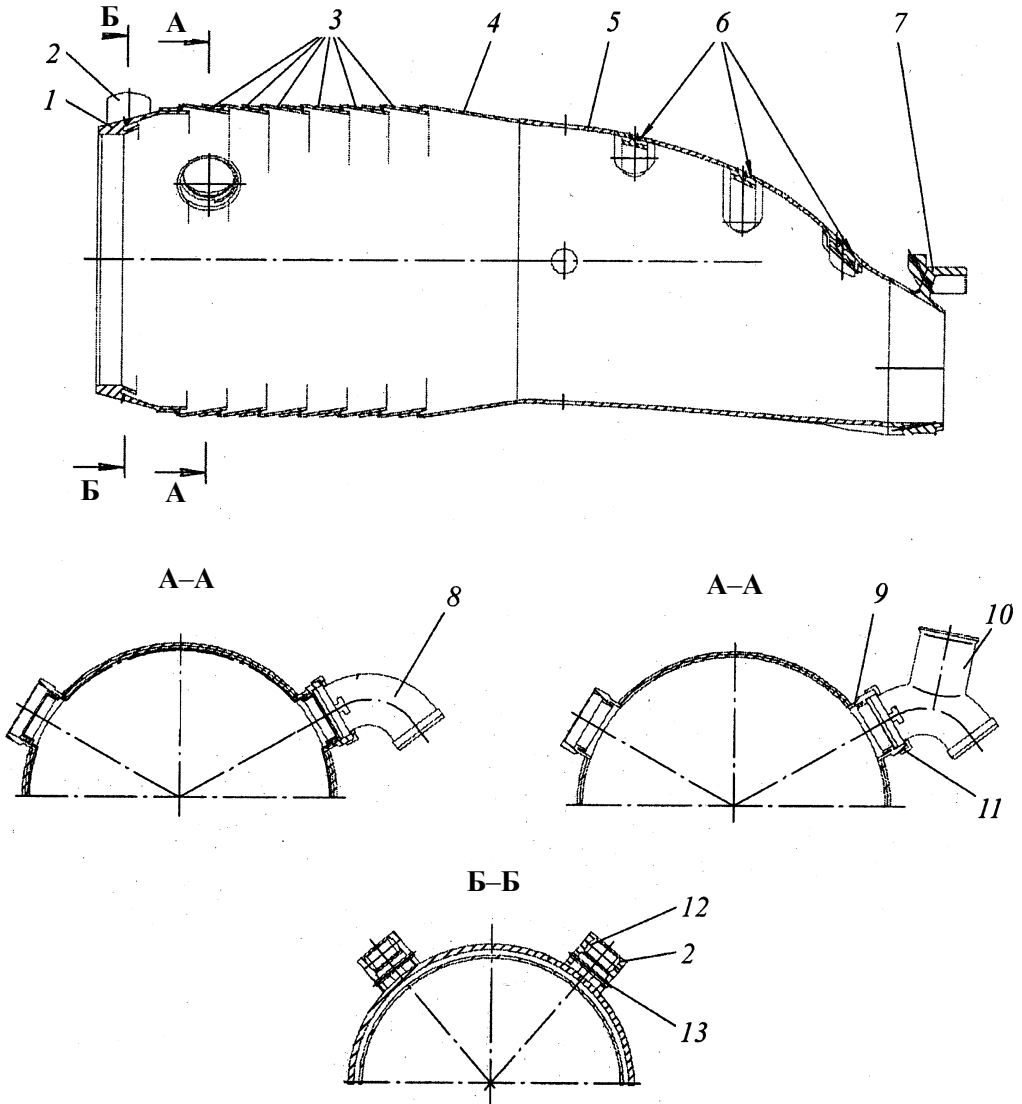


Рис. 13. Труба жарова:

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

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. Зовні 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 струмки розмиваються й загальним шаром рухаються вздовж внутрішньої поверхні жарової труби, охолоджуючи стінку.

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

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

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 пального 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 факела, що запалює паливоповітряну суміш у камері згоряння, та складається з корпусу 2, форсунки 3, свічки плазмострумної 4, втулки 5.

Форсунка 3 розташована в центральній частині запаль-

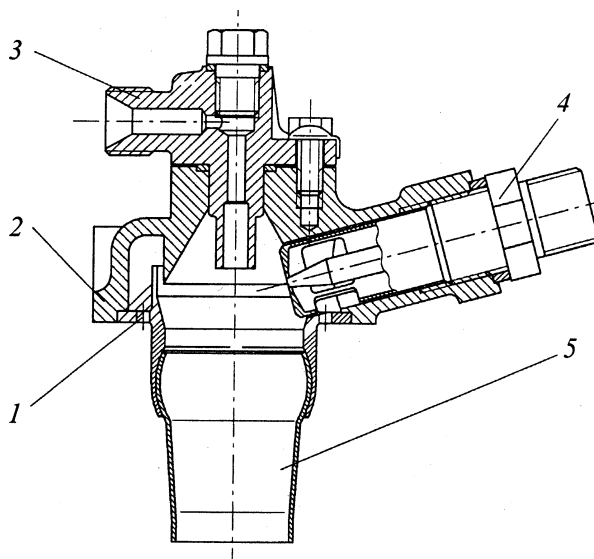


Рис. 14. Запальник

ника і призначена для подачі палива в порожнину запальника під час запуску.

У корпусі 2 запальника встановлена свічка плазмострумінна 4, що працює від імпульсного блока постачання. На торці свічки, заглибленому в порожнину запальника, підтримуються періодичні електричні розряди, що викликають утворення плазмових струменів, використовуваних для займання пускового палива.

Запальник циліндричною частиною втулки 5 вставляється в полум'я-підвідний патрубок жарової труби КЗ. Повітря в порожнину запальника надходить через отвори 1 у нижній частині корпусу 2. При цьому частина повітря підводиться через вікна в зовнішньому електроді свічки на між-електродний зазор для одержання плазмових струменів.

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

Пристрій паливковий (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, перетисків 9, 11, склянки 10.

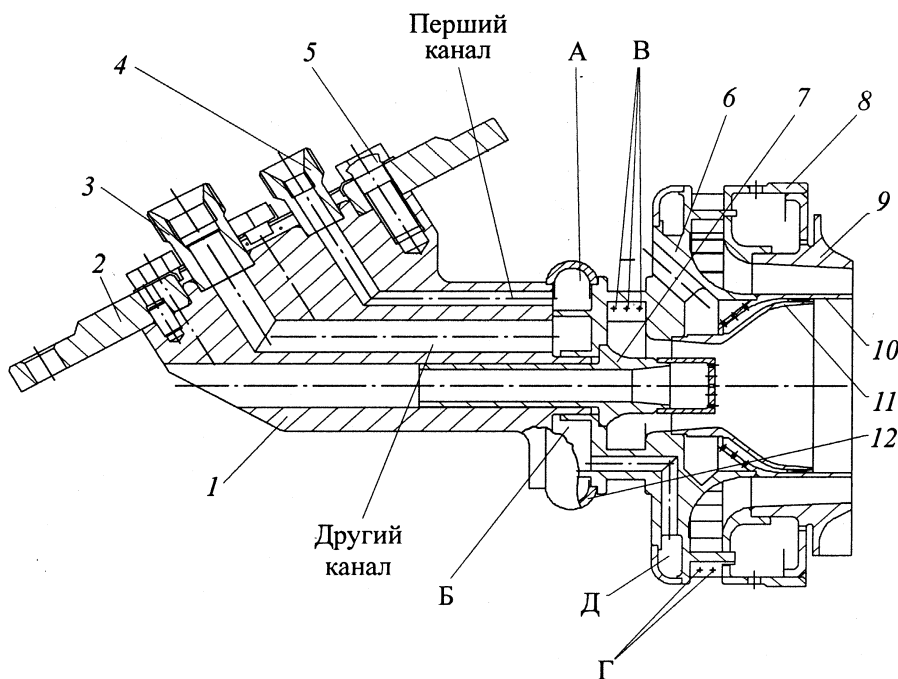


Рис. 15. Пристрій паливковий:

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 – перетиск; 10 – стакан; 12 – скоба

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

Через штуцер другого каналу паливний газ подається у порожнину Б, з якої перетікає в порожнину Д, виходячи через ряд отворів Г на кожній лопатці завихрювача б, і, змішуючись із повітрям у міжлопатковому каналі, утворює паливоповітряну суміш, що 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 з кришки б, 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 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 ТС через штуцер у кришці б 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, вставлених у кільці 3 і екрана розподільного 4.

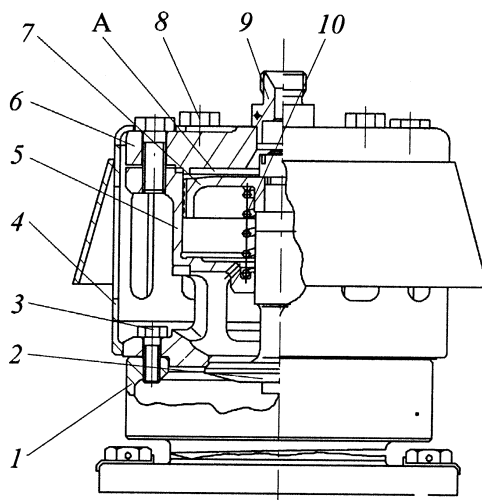


Рис. 16. Клапан перепуску повітря:

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

Стільникові вставки 2, кільце 3 і екран розподільний 4 є частиною системи регулювання радіального зазору над робочими лопатками ТВТ. Соплові лопатки – охолоджувані, одиночні, двохопорні, верхні й 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 із цапфою 35. Цапфа з диском установлюється на цапфу КВТ і затягується гайкою 34. У пази диска вставлені 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 перетікання газу.

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

Вінець опорний ТНТ складається з корпусу ОВ 9, шести силових стояків 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 корпусом 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 й труба зливання масла.

З метою зменшення порожнини між ОВ і диском вала турбіни силової на конусі 22 розташовується стінка 18, яка верхнім кінцем входить у зачеплення із сопловим апаратом ТС.

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 ТС. Повітря на підпір масляної порожнини ОВ й охолодження вала ТС 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 труба підведення повітря, що проходить через обтічник та фіксується в корпусі підшипників штифтом. Частина повітря, що підводиться до ОВ по внутрішній малій трубці 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 ТС.

Задньою опорою ротора ТНТ служить роликпідшипник. На зовнішню обойму роликпідшипника з натягом насаджений демпфер, призначений для зміщення критичної кількості оборотів ротора (резонансних коливань ротора) у більш низькі їхні значення, а також 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 і зовнішня обойма роликпідшипника затиснуті ущільнювальною кришкою, за якою працює графітове ущільнювальне кільце, що розділяє повітряну й масляну порожнини ОВ.

Для подачі масла на змащення й охолодження роликпідшипника та у масляний демпфер служить труба підведення масла, що проходить через обтічник, усередині якого 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 вкручена 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 ТС 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 утворює проточну частину від ТНТ до ТС. 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.

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

Опорний вінець ТС складається з корпусу ОВ 14, дев'яти стояків-обтічників 16, кожуха внутрішнього 17, корпусу підшипників 18, в якому розташовані опори ротора ТС: роликпідшипники 25, 29 і УПК 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 і валу 24 іде на підпір ущільнювального кільця 30. Для визначення вібраційних характеристик ТС на кронштейні 15 установлений вібродатчик.

Для підведення змащення й охолодження підшипників ротора ТС 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. Через трубу-роздавальник масла масло підводиться до колектора підведення масла для змащення й охолодження передньої опори ротора турбіни – роликового підшипника. Інша частина масла через перекидку підводиться до трійника, в якому 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 УПК 19. З'єднання по маслопідвідному тракту ущільнені ущільнювальними кільцями.

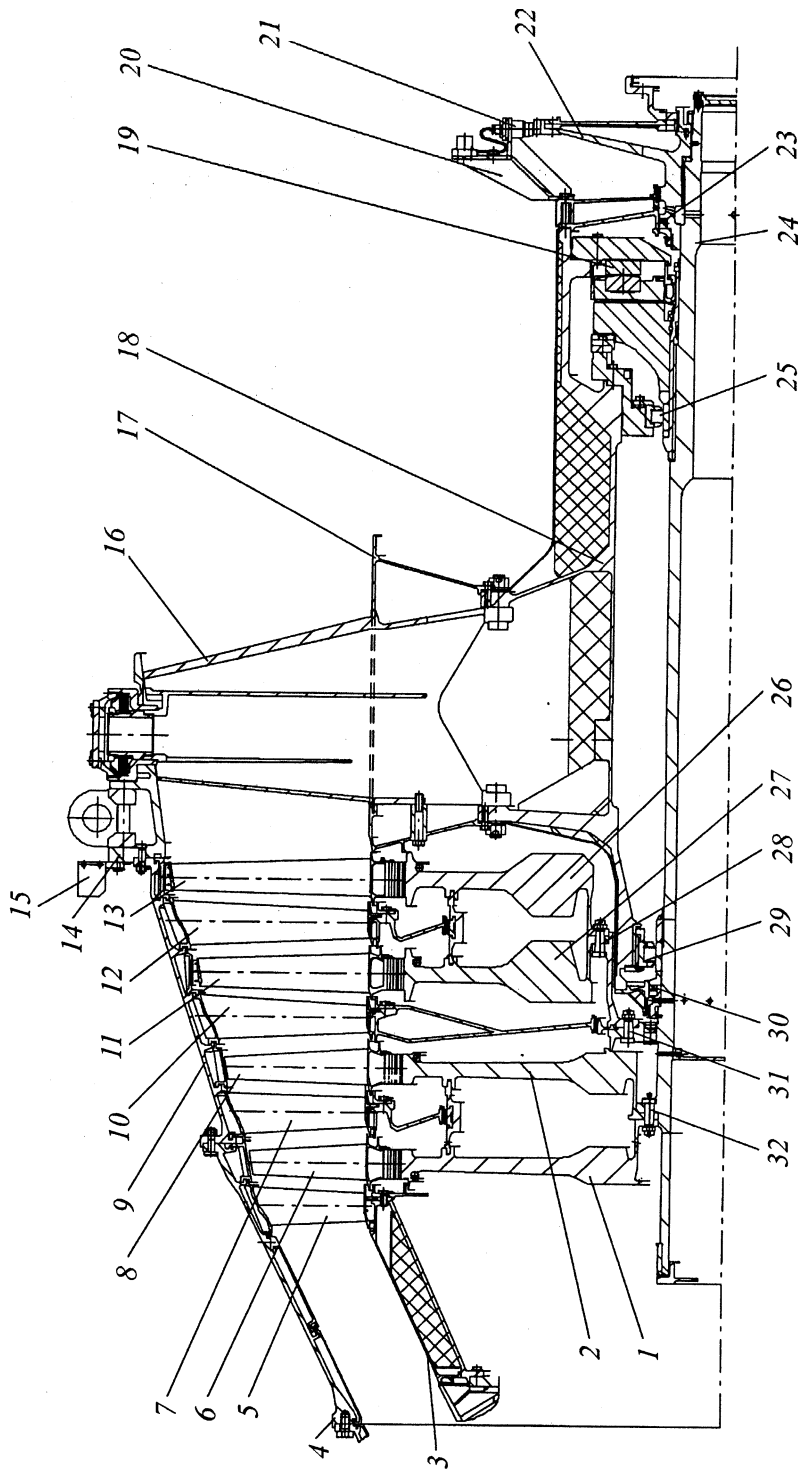


Рис. 18. Турбіна силова:

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 вібродагчика; 16 – стояк-обтічник; 18 – кільця підшипників; 19 – УПК; 20 – кронштейн датчиків ОРТ; 21 – муфта пружна; 22 – муфта пружна; 23, 30 – кільця ущільнювальні; 24 – вал; 25, 29 – підшипники роликові; 28, 31, 32 – болти

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 поломці ТС 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 крутного моменту від вала ТС 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, 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 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 і 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. Введений 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 і 13. Від вала, на якому закріплені шестерні 11, 12, одержує обертання маслоагрегат двигуна.



Рис. 19. Схема кінематична коробок приводів

Нижня коробка приводів складається з корпусу і змонтованих у ньому пускового приводу, приводу маслоагрегату та приводу датчика частоти обертання. На корпусі нижньої коробки приводів у верхній її частині розміщені лапи для закріплення її на передньому корпусі компресора. Для центрування й ущільнення масляних порожнин переднього корпусу на переходнику є циліндричний виступ з гумовими кільцями. У корпусі нижньої коробки приводів установлені два магнітні сигналізатори стружки. Сигналізатор стружки, встановлений у верхній частині корпусу, контролює масло, що зливається тільки з переднього корпусу компресора, нижній сигналізатор стружки контролює все масло, що зливається в коробку, що потім подається на відкатну секцію маслоагрегату.

Шестерні 2 і 6 установлені на валу, що обертається в роликовому й шариковому підшипниках.

На корпусі нижньої коробки приводів по осі двигуна є приплив для кріплення переходника зі встановленою в ньому горизонтальною конічною шестернею 5 і відцентрово-храповою муфтою приводу виносної коробки приводів. Горизонтальна конічна шестерня 5 пускового приводу вставлена в роликовому і шариковому підшипниках. Усередині ступиці шестерні роз-

міщений 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 та обертається у двох шарикових підшипниках. Шарикопідшипники розміщені в стані, що кріпиться до перехідника.

Ведена напівмуфта складається з внутрішньої обойми 2 (рис. 20) з рухомими в радіальному напрямку храповиками 3. Храповики встановлені на пальцях 4 і пружинами 5 через поршень притискаються до зовнішньої обойми 1 ведучої напівмуфти й, таким чином, входять у зачеплення з її виступами. Крутний момент передається від зовнішньої обойми через храповик на палець і обойму внутрішню.

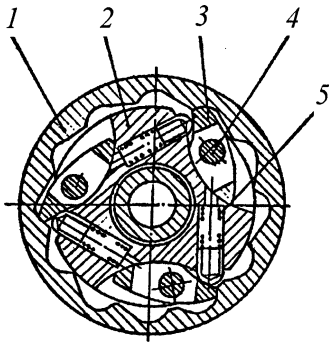


Рис. 20. Коробка приводів нижня (муфта відцентрово-храпова)

Центр обертання храповиків не збігається із центром їхньої ваги. Тому при досягненні муфтою частоти обертання 1000...1200 об/хв момент від відцентрових сил, діючих на храповики, перевищує 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 від моменту 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 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 розбризуванням за допомогою масляної ванни. Рівень масла в масляній ванні контролюється маслопоказчиком. Заливання масла в коробку здійснюється через гніздо маслопоказчика до рівня між верхнім і нижнім 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, яка складається з подовжніх 1 і поперечних 2 двотаврових балок. У нижній частині рами розташовані опорні площадки 3, якими рама кріпиться-

ся 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 й нижнього опорних фланців за допомогою притискних планок і призонних болтів. Передні опори 11 і 14 верхньою частиною кріпляться до корпусу компресора гвинтами, нижньою – до тумб 12 і 13 через регулювальні прокладки 16. Тумби 12 і 13 встановлюються на раму через регулювальні прокладки 19, що служать для забезпечення взаємозамінюваності двигуна на рамі.

Задні опори 17 і 18 фіксують двигун у подовжньому й вертикальному напрямках. Опори складаються з двох гнучких пластин 20, закріплених до верхнього й нижнього опорних фланців за допомогою притискних планок і призонних болтів. Вони кріпляться до цапф ОВ турбіни силової 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 котків викочування двигуна.

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

Газовідвід (див. рис. 22) призначений для відведення відпрацьованих у турбіні силовій газів у вихлопну систему установки ГТЕ-25НГ80. Він 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 притискним кільцем 8, закріпленим гвинтами. Останні 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 установлення газовідводу в контейнер передбачені опори 1, 3, 5. У нижній частині газовідводу є дренажний штуцер 9 для відведення масла, що може потрапити з двигуна в газовідвід. Для зменшення тепловипромінювання в навколишній простір газовідвід покритий ізоляцією, непоказаною 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.

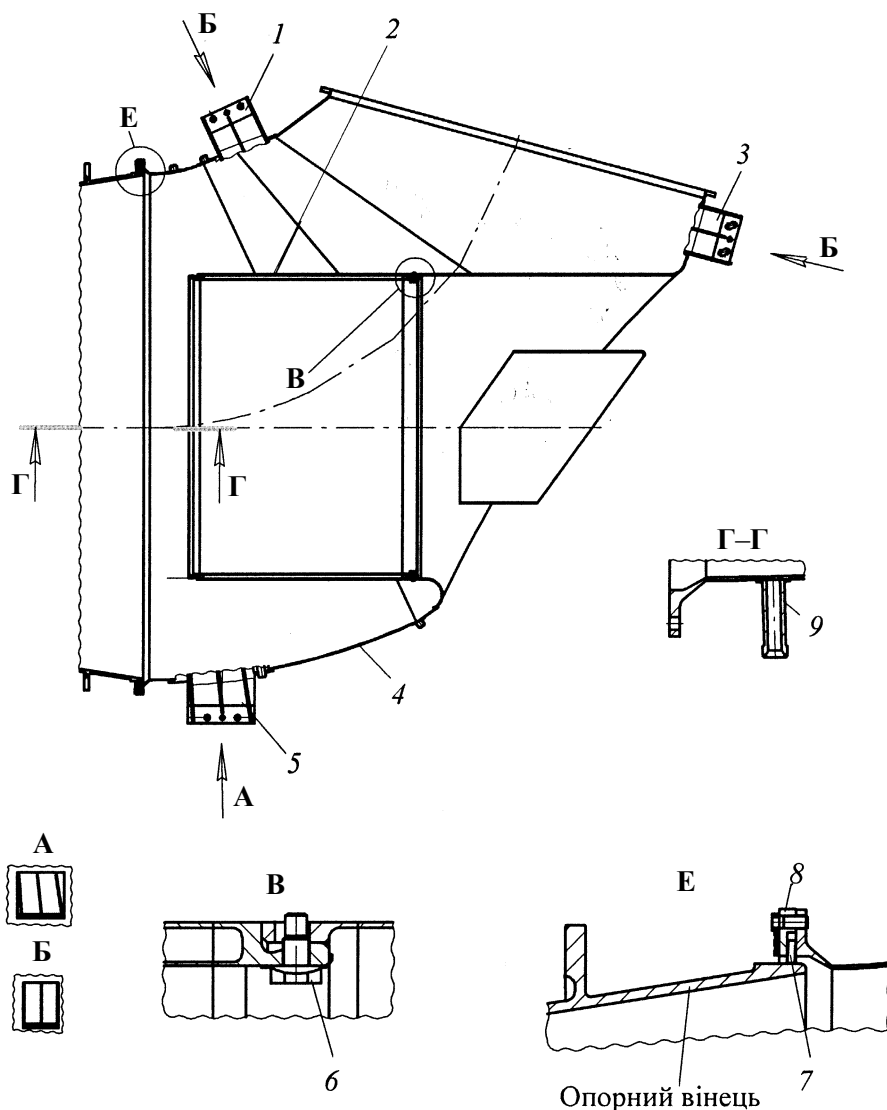


Рис. 22. Газовідвід

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

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

Дифузор 5 (див. рис. 1) розташований між контейнером блока ГТД і глушником вихлопу та забезпечує необхідний ступінь дифузортності, 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.

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

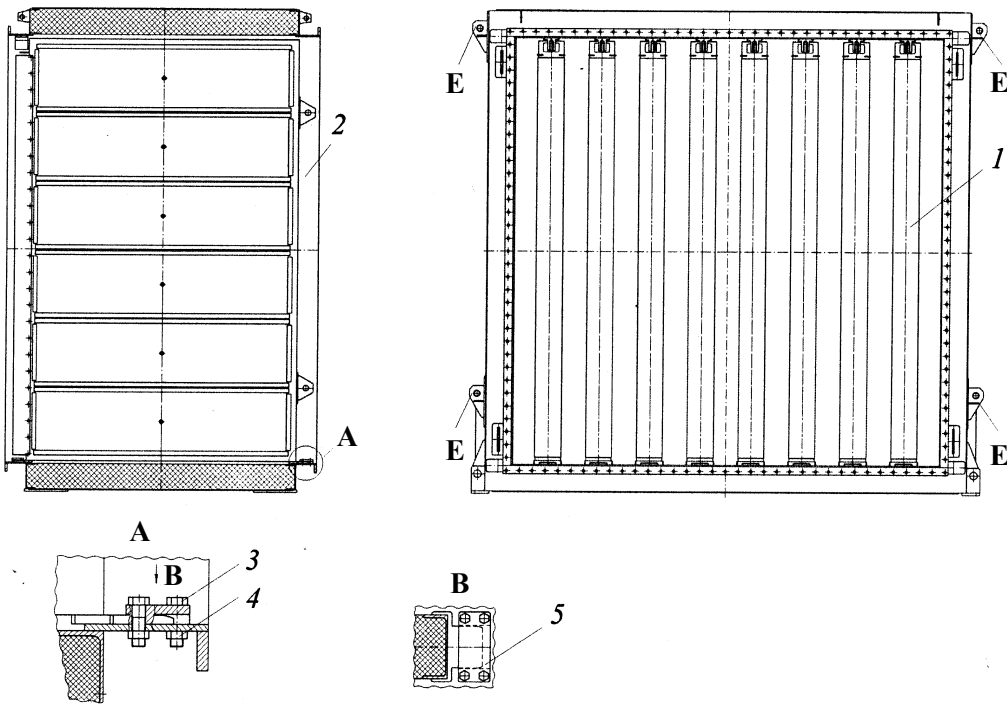


Рис. 23. Глушник вихлопу:

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

Розташування панелей глушника *1* у корпусі визначається нероз'ємними фіксаторами по вхідній кромці та фіксується знімними фіксаторами *5* по вхідній кромці. Панелі глушника, що являють собою каркас зі швелера, обшиті перфорованими листами з двох боків і закріплені на каркасі накладками.

Ресора (рис. 24) призначена для передачі крутного моменту від турбіни силової 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 сполучаються болтовими з'єднаннями, законтреними шплінтами. Фланець *3* кріпиться до фланця *5* муфти задньої болтами, законтреними від провертання пластинчастими замками.

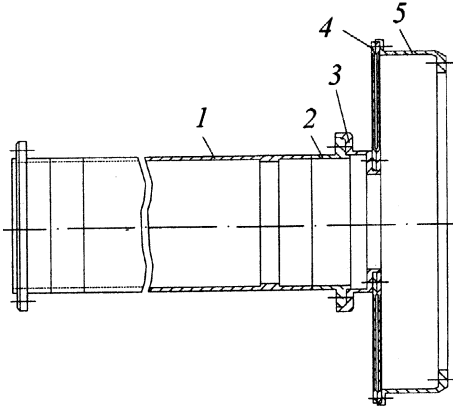


Рис. 24. Ресора

Муфта фрикційна (рис. 25) призначена для передачі крутного моменту від ГТД до генератора та є муфтою граничного моменту при виникненні короткого замикання генератора. Вона розрахована на спрацьовування при досягненні граничного значення крутного 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*.

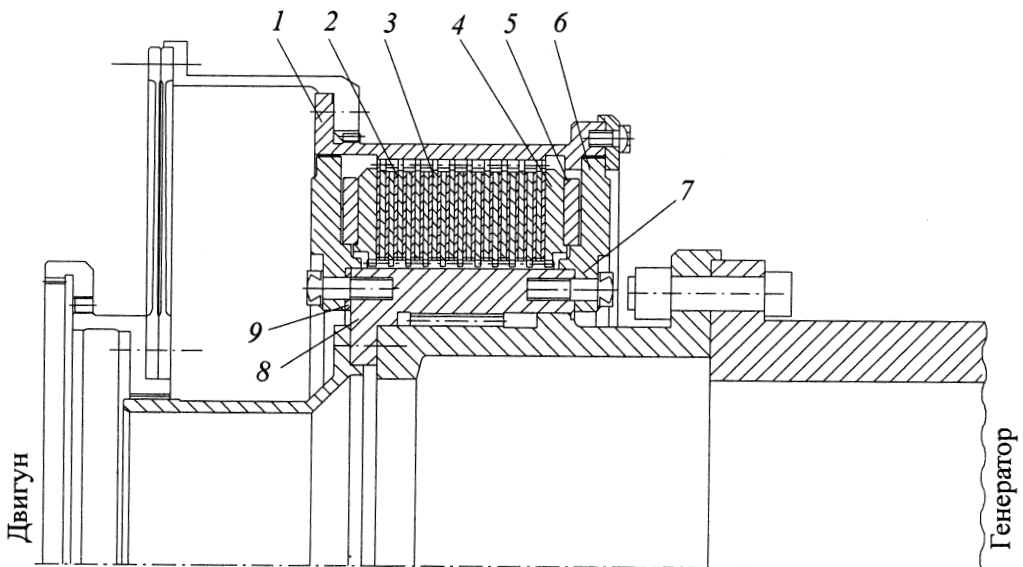


Рис. 25. Муфта фрикційна

Корпус *1* з'єднаний з опорою *8* за допомогою фланця *6* і гвинтів *7*. У порожнину між корпусом *1* та опорою *8* вставлений пакет дисків, що складається з дисків з накладками *2*, які 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 крутного моменту муфтою фрикційною здійснюється за рахунок сил тертя, створюваних на контактних поверхнях дисків *2*, *3* і *4* під впливом кілець пружинних *5*. Сила тертя на контактних поверхнях дисків регулюється кільцем регулювальним *9* і визначається необхідним крутним моментом.

3. СИСТЕМИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

3.1. Паливна система двигуна

Призначення паливної системи. Паливна система призначена для забезпечення за командами САК наступних процесів: подачі паливного газу до запальників (рос. – воспламенителей) при запуску двигуна; дозування паливного газу на стаціонарних і перехідних режимах, у тому числі й при запуску двигуна; припинення подачі паливного газу до форсунок з одночасним дренажем паливного газу з колектора форсунок у свічку.

Паливна система також забезпечує вимірювання для передачі в САК величин тисків паливного газу до та після регулюючих клапанів і величин перепадів тисків на форсунках.

Склад і робота паливної системи. Паливна система (рис. 26Д) складається з блока паливних агрегатів, розташованих в окремому укритті, та приладового щита, розміщеного у блоці двигуна. Очищений та підігрітий у системі об'єкта паливний газ через блок фільтрації підводиться до стоп-крана (СК) 4. За алгоритмом запуску вмикається система плазмового запалювання, після чого подається електроживлення на електромагнітний клапан 3.3. Газ через дросельний пакет, розташований усередині агрегату керування 3, надходить до запальників і запалюється. Електроживлення подається на електромагнітний клапан відкриття стоп-крана 3.1. Стоп-кран 4 відкривається і за сигналом сигналізатора положення 4.1 електроживлення з клапана 3.1 знімається.

Після відкриття стоп-крана 4 подається команда на відкриття на задану величину регулюючого клапана 7. У результаті цього відбувається різке збільшення перепаду тисків на форсунках першого каналу, що забезпечує надійне запалювання паливного газу від запальників та полум'яперекидання по жарових трубах. Після цього система плазмового запалювання та клапан 3.3 вимикаються.

Якщо перший кидок паливного газу перевищив необхідне значення або не відбулося запалювання газу в камері згоряння протягом необхідного проміжку часу з моменту відкриття стоп-крана 4, САК формує сигнал на аварійну зупинку двигуна. Подальше дозування газу при запуску, вихід на холостий хід та режимну роботу двигуна здійснює електронна САК за допомогою керування клапанами 7 і 8. Замір тиску газу до та після регулюючих клапанів здійснюється перетворювачами тиску 6, 9 і 10.

Якщо при запуску температура газів за ТНТ перевищить задану, САК видає сигнал на клапан 7, який знижує подачу газу до форсунок. Після прогріву двигуна на холостому ходу виконується синхронізація та набір навантаження за програмою САК впливом на регулюючі клапани. Подальша зміна режиму відбувається за командами оператора шляхом зміни величини відкриття клапанів 7 і 8. Нормальна або аварійна зупинка двигуна здійснюється закриттям стоп-крана. Для цього необхідно подати електро-

живлення на електромагнітний клапан 3.2. Стоп-кран закривається і за сигналом сигналізатора положення 4.1 електроживлення з клапана 3.2 знімається.

Блок паливних агрегатів поєднує агрегати паливної системи. На рамі розташовані: блок фільтрації паливного газу, перетворювачі тиску 6, 9 і 10, стоп-кран 4, регулюючі клапани 7 і 8, манометричні крани, агрегат керування 3, клемові шафи, трубопроводи та елементи кріплення. Манометричні крани призначені для відсікання підведеного середовища до перетворювачів тиску при необхідності їхньої заміни та для стравлювання газу з імпульсних трубопроводів у свічку.

Приладовий щит являє собою раму із закріпленими на ній перетворювачами тиску 11 і 12, датчиками-реле різниці тисків 13 і 14 та манометричними кранами 15 і 16. Датчики-реле різниці тисків призначені для видачі в САК сигналу про досягнення заданого значення величини перепаду тисків на форсунках.

Агрегати паливної системи. Блок фільтрації паливного газу призначений для очищення від механічних домішок газу, який подається у паливну систему. Блок фільтрації (рис. 27) складається з трьох секцій, змонтованих на загальній рамі 4, і датчика-реле різниці тисків 7.

До складу кожної секції входить газовий фільтр 3, кульові (рос. – шаровые) крани з ручним приводом підведення 8 та відведення 2 газу і клапани 9. Кожен клапан має зрівнювальний і дренажний крани, які використовуються при введенні в дію резервної секції.

Паливний газ із колектора підведення газу 5 через відкриті кульові крани 8 працюючих секцій надходить у порожнину газових фільтрів 3, очищається та через кульові крани 2 надходить у колектор відведення газу 1. З колектора 1 газ відводиться в паливну систему, яка обслуговує двигун. При роботі блока виконується контроль різниці тисків у колекторах 5 і 1. Коли перепад тиску на газовому фільтрі 3 досягне граничного значення, датчик 7 видає сигнал у САК.

Газовий фільтр призначений для очищення паливного газу перед подачею в двигун і входить до складу блока фільтрів. Газовий фільтр (рис. 28) складається з корпусу 1, кришки 2, фільтрувального пакета 5 і патрубку 6. Пакет 5, який складається з фільтроелементів 5.1, каркаса 5.2, кришки 5.3 і винта 5.4, утримується пружиною 3. Заглушка 4 призначена для стравлювання газу і зливу конденсату з внутрішньої порожнини корпусу.

Агрегат керування призначений для подачі паливного газу до запальника та керування стоп-краном. Агрегат керування (рис. 29) складається з двох блоків: пускового газу 1 та маніпулятора 2, які з'єднані каналом а.

У блоці 1 розташовані фільтр 1.1, дросельний пакет 1.2, електромагнітний клапан пускового газу 1.3; у блоці 2 – електромагнітний клапан 2.1 (відкриття стоп-крана), електромагнітний клапан 2.2 (закриття стоп-крана), поршень 2.3, клапани 2.4 і 2.5, пружина 2.6. Газ підводиться до штуцера 7. За відсутності подачі електроживлення на клапан 1.3 подача газу до запальника та СК перекривається.

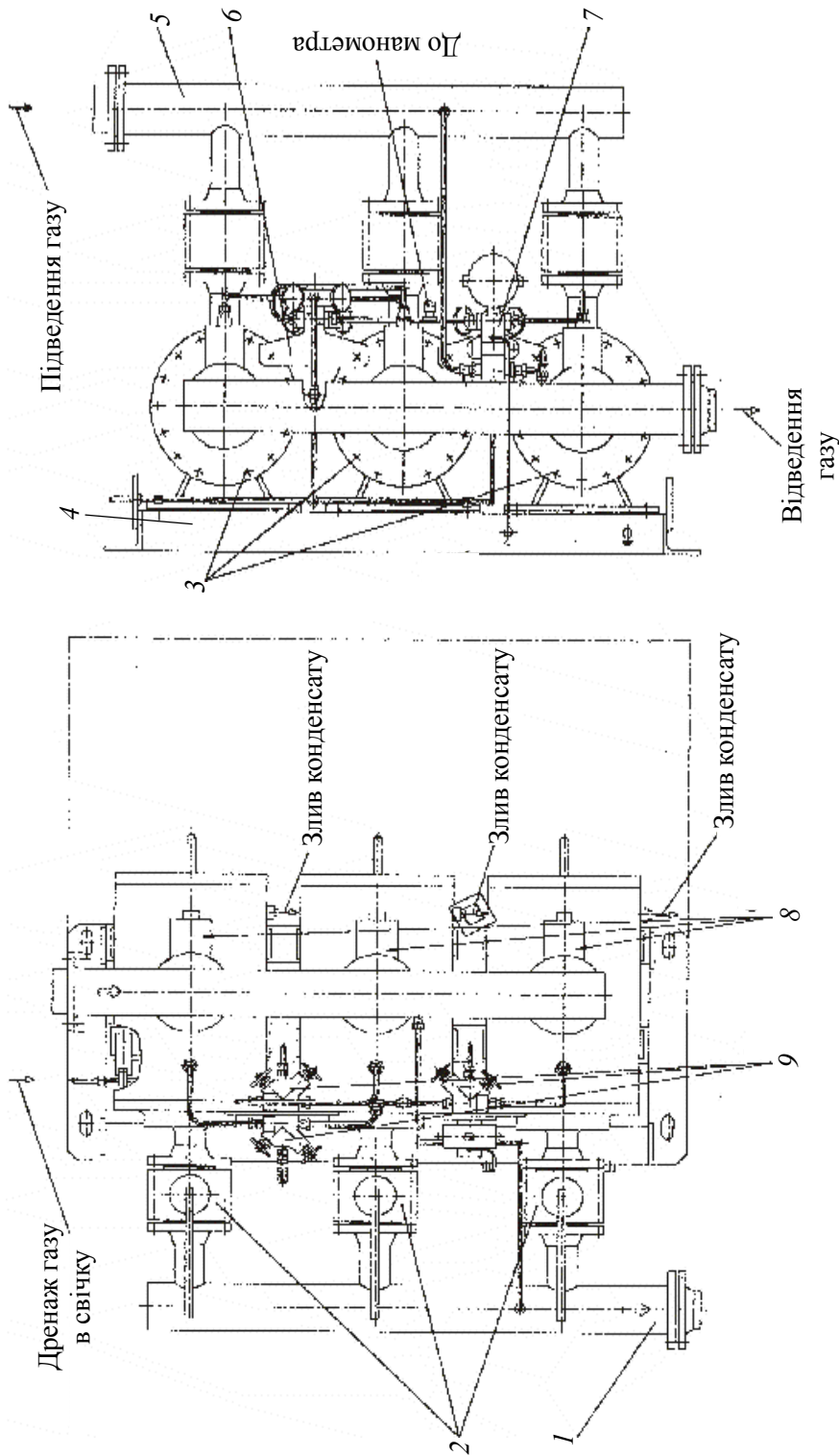


Рис. 27. Блок фільтрації паливного газу:

1 – колектор відведення газу; 2, 8 – кульові крани з ручним приводом відповідно відведення та підведення газу; 3 – газові фільтри; 4 – рама; 5 – колектор підведення газу; 6 – кронштейн; 7 – датчик-реле різниці тисків; 9 – клапани

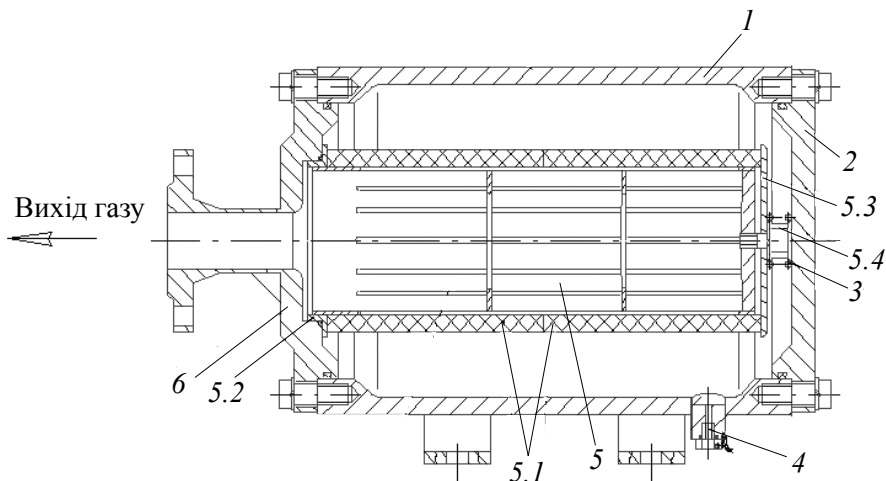


Рис. 28. Газовий фільтр

При подачі електроживлення клапан *1.3* відкривається і газ надходить через дросельний пакет *1.2* та штуцер *б* у колектор запальника.

За відсутності електроживлення на клапані *2.1* клапан *2.5* під дією пружини *2.6* і тиску газу, який підводиться по каналу *а*, знаходиться в закритому положенні, а штуцер відведення газу *5*, відкритий клапаном *2.4*, сполучається з лінією дренажу в свічку.

При подачі електроживлення на клапан *2.1* газ по каналу *с* надходить у праву порожнину поршня *2.3*. Поршень *2.3*, долаючи зусилля пружини *2.6* і зусилля тиску газу в пружинній порожнині клапана *2.5*, переміщається, закриваючи клапан *2.4* і відкриваючи клапан *2.5*. Газ із каналу *а* надходить до штуцера відведення газу *5*.

При зніманні електроживлення з клапана *2.1* клапани *2.4* і *2.5* залишаються у тому самому положенні, оскільки права порожнина поршня *2.3* залишається з'єднаною з порожниною високого тиску каналом *д* з жиклером *3*.

При подачі електроживлення на клапан *2.2* газ із правої порожнини поршня *2.3* через канал *е* скидається у свічку. Під дією пружини *2.6* клапан *2.5* закриває відведення газу до штуцера *5*, а клапан *2.4* відкриває стравлювання газу зі штуцера *5* у свічку.

Стоп-кран призначений для керування подачею паливного газу до регулюючого клапана, а також для стравлювання газу з регулюючого клапана при зупинці ГТД. Стоп-кран – це двопозиційний клапан із сервопоршнем, з'єднаним із сигналізатором кінцевих положень, та зворотними пружинами.

До складу стоп-крана (рис. 30) входять:

корпус *8*, у якому розміщені клапан *6*, сідло стопи *7*, фланці підведення *9* та відведення *3* газу до регулюючого клапана, фланець дренажу в свічку *4*, штуцер відведення газу в агрегат керування *2*;

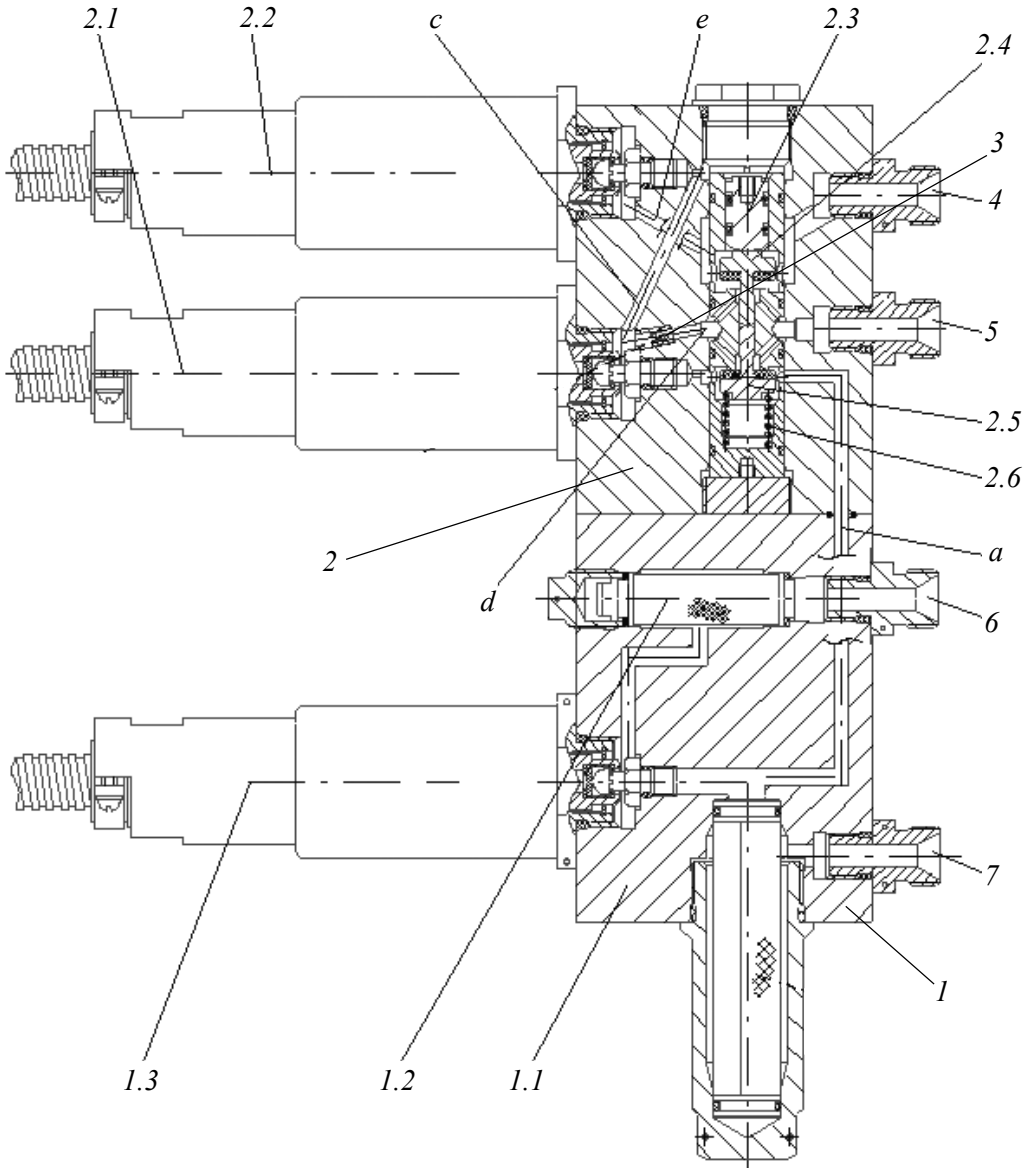


Рис. 29. Агрегат керування:

a, c, d, e – канали; *1* – блок пускового газу; *1.1* – фільтр; *1.2* – дросельний пакет; *1.3* – електромагнітний клапан пускового газу; *2* – блок маніпулятора; *2.1, 2.2* – електромагнітні клапани; *2.3* – поршень; *2.4, 2.5* – клапани; *2.6* – пружина; *3* – жиклер; *4* – штуцер дренажу; *5* – штуцер відведення газу; *6* – штуцер відведення газу до запальника; *7* – штуцер підведення газу

кришка 13, в якій розміщені мікророз'єм 15, сигналізатор положення стоп-крана 14, вказівна стрілка 16 і штуцер підведення газу 1;

пружини 10, 11; сервопоршень 12 та сідло дренажу 5.

Основний елемент стоп-крана – здвоєний плоский клапан 6, один бік якого виконує функції стоп-крана, а другий – дренажного клапана. Для керування СК використовується тиск паливного газу, що надходить від агрегату керування. Оскільки площа сервопоршня 12 дорівнює площі клапана 6, то у закритому положенні клапан урівноважений і притиснутий до сідла стопи 7 під дією пружин 10 і 11. Фланець відведення паливного газу 3 через фланець дренажу 4 сполучений зі свічкою. Газ, що підводиться до фланця 9, через штуцер відведення газу 2 надходить до агрегату керування.

Газ на керування СК підводиться від агрегату керування до штуцера 1. При підвищенні тиску в порожнині *b* сервопоршень 12, долаючи зусилля пружин 10 і 11, відкриває стоп-кран. Паливний газ через фланець 3 відводиться до регулюючого клапана, а сідло дренажу 5 перекривається, запобігаючи витoku газу в дренаж. Зі штоком сервопоршня 12 з'єднаний сигналізатор положення стоп-крана 14, що розмикає мікророз'єм 17 (положення "закрито") і замикає мікророз'єм 18 (положення "відкрито"), сигналізуючи у САК про відкриття стоп-крана. На зовнішньому кінці сигналізатора знаходиться стрілка 16, що вказує крайні положення клапана 6 СК.

При стравлюванні газу з порожнини *b* пружини 10 і 11 переміщують клапан 6 на закриття стоп-крана. Герметизація по сідлу стопи 7 здійснюється ущільненням. Одночасно із закриттям СК відкривається дренаж і газ із системи стравлюється у свічку.

При переміщенні сервопоршня 12 у крайнє положення розмикаються контакти мікророз'єма 18 (положення "відкрито") і замикаються контакти мікророз'єма 17 (положення "закрито"), сигналізуючи у САК про закриття стоп-крана.

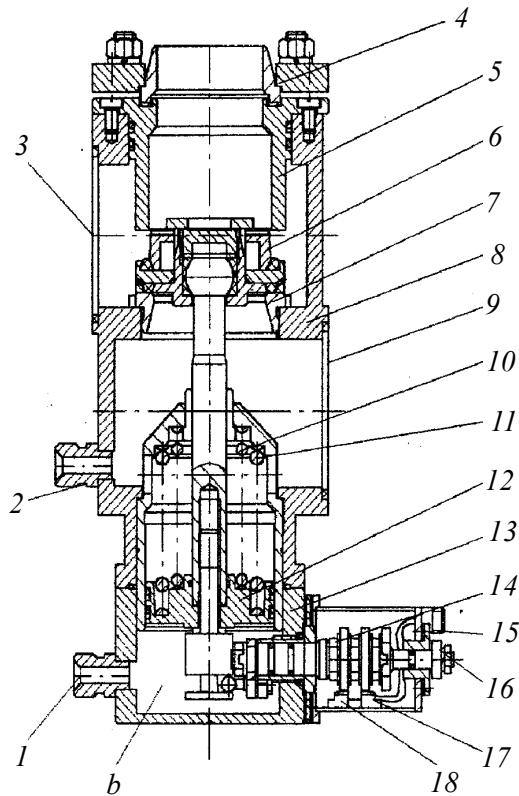


Рис. 30. Стоп-кран

3.2. Система змащення двигуна

Склад системи змащення та її призначення. Система змащення двигуна – циркуляційна, під тиском, із примусовим відкачуванням відпрацьованого масла, забезпечує змащення й охолодження підшипникових вузлів, зубчастих зачеплень та інших тертьових деталей двигуна на всіх режимах роботи.

До системи змащення (рис. 31Д) входять: циркуляційний бак 26 з підігрівником масла 28, суфляром 30 і датчиком рівня 24, навішений маслоагрегат 45 із приводом від КНТ (з одним нагнітальним і чотирма відкачувальними насосами), нагнітальний маслоагрегат з електроприводом (нагнітальний електронасос) 36, відкачувальний маслоагрегат з електроприводом (відкачувальний електромаслоагрегат) 19, маслоагрегат з електроприводом 23, фільтр тонкого очищення 37, вхідний фільтр двигуна 2, захисні фільтри 5–12, автоматичний клапан 18, масловіддільний бак 13, статичний масловіддільник 1, маслоохолоджувачі 34, зворотні клапани 4, 32, 33, 46, датчики надлишкового тиску 39, 44 (для дистанційного вимірювання тиску), датчик різниці тисків 20, сигналізатори тиску 38, 42, 43, реле різниці тисків 41, термоперетворювачі опору 15, 15.1–15.3, 29, 35, магнітні сигналізатори стружки 14, 14.1–14.5, запірні клапани 21, трубопроводи. Циркуляційний бак 26, маслоагрегат з електроприводом 23, фільтр 37 і маслоохолоджувачі 34 з устаткуванням, що належить до них, конструктивно об'єднані у маслблок.

При натисканні кнопки "Пуск" вмикаються нагнітальний 36 і відкачувальний 19 маслоагрегати з електроприводами. При цьому під впливом тиску, створюваного маслоагрегатом 36, автоматичний клапан 18 закривається. З початком розкручування стартерами ротора КНТ масло з циркуляційного бака 26 забирається нагнітальним насосом А маслоагрегату 45 або нагнітальним електронасосом 36 і через фільтр тонкого очищення 37 та вхідний фільтр 2 подається для змащення й охолодження підшипникових вузлів, зубчастих зачеплень та інших тертьових деталей двигуна. На вході в підшипникові вузли встановлені захисні фільтри (сітки) 5–12.

З початком розкручування стартерами ротора КНТ вступає в роботу навішений маслоагрегат 45, який працює паралельно з маслоагрегатами 19 і 36 до досягнення визначеної частоти обертання ротора КНТ. При досягненні заданої частоти маслоагрегати 19 і 36 відключаються, при цьому клапан 18 відкривається. При подальшому збільшенні частоти обертання на всіх режимах роботи двигуна змащення й охолодження масляних порожнин здійснюється тільки навішеним маслоагрегатом 45.

Дросельна шайба 3 служить для заповнення маслом всмоктувального трубопроводу навішеного маслоагрегату 45 із лінії нагнітання маслоагрегату з електроприводом 36 перед запуском двигуна. Маслоагрегат з електро-

приводом 23 – технологічний. Він служить (залежно від положення запірних клапанів 21) для вивантаження масла з бака 26 або прокачування масла через бак по колу (рос. – по закольцовке) при підігріві. Змащення виносної коробки приводів – картерне, здійснюється розбризкуванням масла з масляної ванни.

Відпрацьоване масло з переднього корпусу КНТ через нижню коробку приводів зливається у піддон нижньої коробки приводів, із задньої опори КВТ і ОВ ТНТ масло зливається у масловіддільний бак 13. З піддона нижньої коробки приводів, перехідника, ОВ ТС і бака 13 масло відкачується відповідними секціями навішеного маслоагрегату 45 або відкачувального маслоагрегату 19 і через зворотний клапан 46 надходить до одного з двох маслоохолоджувачів 34 (інший у цей час резервний), а потім – у циркуляційний бак 26.

Підтримання необхідної температури на виході з маслоохолоджувачів 34 забезпечується за допомогою терморегулятора 40 шляхом зміни кількості води, прокачуваної через маслоохолоджувач. Чутливий елемент терморегулятора встановлений у масляному трубопроводі за маслоохолоджувачами 34 та зворотними клапанами 33. Маслоповітряна суміш з переднього корпусу КНТ і бака 13 через регулятор перепаду тисків 16 надходить до статичного масловіддільника 1. Туди ж, під час робочих режимів двигуна, через автоматичний клапан 18 частково стравлюється повітря, що міститься у відкачуваному з ОВ ТС маслі. У масловіддільнику 1 відбувається остаточне відділення масла від маслоповітряної суміші. Масло з масловіддільника 1 двома трубами зливається в нижню коробку приводів, а повітря надходить в ОВ ТС для подальшої утилізації.

Для контролю тиску масла в системі змащення служать датчики 44 та 39 (на лініях нагнітання і відкачування відповідно). У системі автоматичного керування виробу передбачений захист у випадку аварійного зменшення тиску масла на вході у двигун. При зменшенні тиску масла нижче від допустимого значення сигналізатор тиску 42 видає сигнал на переведення двигуна у режим холостого ходу генератора. При подальшому зменшенні тиску масла сигналізатор 43 видає сигнал на зупинку двигуна. Сигналізатор 42 функціонує при частоті обертання КНТ більше 2000 об/хв; сигналізатор 43 – при частоті більше 3600 об/хв (збігається з робочими режимами, коли відключені електронасоси 36 і 19). При підвищенні сумарного перепаду тиску масла на фільтрах 2 і 37 понад допустиму величину сигналізатор різниці тисків 41 видає сигнал про забруднення фільтрів. З метою запобігання переповненню масляних порожнин, у випадку виходу з ладу відкачувального маслоагрегату з електроприводом 19, на виході з нього (перед зворотним клапаном) передбачений сигналізатор тиску 38. При зниженні тиску масла на виході з відкачувального маслоагрегату до заданої величини (при цьому нагнітальний електронасос 36 працює) сигналізатор видає сигнал на зупинку двигуна.

Температура масла на вході у двигун (циркуляційний бак 26), на виході з масляних порожнин двигуна (крім переднього корпусу КНТ) і на лінії відкачування, перед маслоохолоджувачами 34, вимірюється термоперетворювачами опору 15, 15.1–15.3, 29, 35. З метою ранньої діагностики стану підшипникових вузлів двигуна на виході масла з масляних порожнин установлені магнітні сигналізатори стружки 14, 14.1–14.5. Циркуляційний бак 26 обладнаний датчиком 24 (із сигналізацією мінімального, максимального та аварійного рівнів) і вказівним стовпчиком 25 для візуального контролю кількості масла. Сигналізатор 22 призначений для розмикання кола ввімкнення технологічного маслоагрегату 23 у випадку, якщо тиск масла за маслоагрегатом 23 більший за допустимий.

Агрегати системи змащення конструктивно об'єднані у маслоблок. Маслоблок є частиною маслосистеми двигуна, що забезпечує необхідну кількість масла для нормальної роботи ГТД. До складу маслоблока (рис. 32Д, 33Д) входять маслобак 1 з розташованими на ньому агрегатами, запірні клапани 2 і 3, маслоохолоджувачі 4, маслоагрегат з електроприводом 5, реле різниці тисків 6, кришка 7, мірне скло 8, зворотні клапани 9 і 18, запірні клапани 9, 10, 12 і 21, датчик різниці тисків 11, термоперетворювач опору 13, суфляр 14, підігрівник масла 16 та фільтри 17, 19, 20, 22. Маслобак 1 зварної конструкції коробчастої форми з нержавіючої сталі має невеликий уклон убік забірної патрубку всмоктувальної труби маслоагрегату з електроприводом 5.

На лівій бічній стінці маслоблока (вид А) розташовані: реле різниці тисків 6, кришка 7, мірне скло 8 і фланець для всмоктувальної труби маслоагрегату з електроприводом 5. Реле різниці тисків сигналізує про наявність тиску масла за маслоагрегатом з електроприводом 5 при його роботі, кришка 7 закриває отвір, призначений для огляду й очищення внутрішніх поверхонь бака, мірне скло 8 дозволяє візуально контролювати рівень масла, що надходить до маслобака.

На верхній стінці маслобака розташовані маслоагрегат з електроприводом 5 і маслоохолоджувачі 4. Маслоагрегат з електроприводом 5 призначений:

при клапанах відкритому 10 та закритому 9 – для прокачування масла через бак по колу при підігріві;

при клапанах закритому 10 і відкритому 9 – для відкачування масла з маслобака. Маслоохолоджувачі 4 призначені для охолодження масла до температури, зазначеної в інструкції з експлуатації.

На правій бічній стінці маслобака розташовані: датчик різниці тисків 11, клапан відбору проб 12, термоперетворювач опору 13, суфляр 14, підігрівник масла (переріз Д-Д) 16 і запірний клапан 21 (переріз Л-Л) для заправлення маслом маслобака, а також є фланці для забору масла навішеним маслоагрегатом, електронасосом, фланець для підведення охолодженого масла після маслоохолоджувачів і фланець для аварійного зливу масла з маслобака.

Датчик різниці тиску *11* фіксує поточне значення рівня масла, а терморетворювач опору *13* вимірює температуру масла, що надходить до маслобака. Суфляр *14* сполучає маслобак з атмосферою. Підігрівник масла *16* призначений для підігріву масла до температури, зазначеної в інструкції з експлуатації. У фланці забору масла електронасосом, навішеним маслоагрегатом та у фланці заправлення масла всередину встановлені фільтри *17*, *19* і *20* для запобігання потраплянню сторонніх частинок.

Запірні клапани *2* і *3* призначені для підведення або перекривання доступу охолодженої рідини до маслоохолоджувачів.

Маслоагрегат двигуна – це багатосекційний шестеренний агрегат, що складається (рис. 34Д) з одного нагнітального *A* та чотирьох відкачувальних *B*, *B*, *Г*, *Д* насосів (секцій), виконаних в одному агрегаті. Нагнітальний насос *A* забирає масло з циркуляційної цистерни і подає його в магістраль нагнітання. Відкачувальні насоси забирають масло з нижньої коробки приводів (насос *B*), перехідника (насос *Д*), масловіддільного бака (насос *B*), силової турбіни (насос *Г*) і повертають відпрацьоване масло у маслоохолоджувач, а потім – у циркуляційну цистерну.

До складу маслоагрегату входять наступні основні вузли і деталі: корпус *3*, кришка *1*, пакети насосів *4* і *5*, дві привідні шестірні *2*, редуційний клапан *11*, сітка *б*.

Корпус *3* має з одного боку прямокутний фланець для кріплення до корпусу нижньої коробки приводів, а з іншого – фланець для установаження технологічної кришки *1*. У корпусі *3* виконані два наскрізних колодязі для розміщення пакетів насосів *4* і *5*. До колодязів примикають кармани і канали, які утворюють порожнини всмоктування насосів *а*, *б*, *в*, *г*, *м* і порожнини нагнітання *с*, *д*, *е*. Порожнини *а*, *б*, *г* сполучаються з відповідними вхідними фланцями на корпусі насоса, а порожнина *м* – зі штуцером *9*.

Вхідна *а* та вихідна *с* порожнини нагнітального насоса *A* сполучені каналом, у якому монтується редуційний клапан *11*. Порожнина всмоктування *в* насоса *B* зв'язана з порожниною *л*, з якої насос *B* відкачує масло, що надходить туди з нижньої коробки приводів. Насос *B* також відкачує масло через канал *н* з порожнини *п* (з-під кришки *1*). На вході масла з коробки приводів у порожнину *л* установажена захисна сітка *б*. Порожнина *л* сполучається зі штуцером *14* для забезпечення відкачування масла з нижньої коробки приводів маслоагрегатом з електроприводом.

Порожнини нагнітання *д* відкачувальної секції *B* сполучаються каналом *к* із загальною порожниною нагнітання *ж* відкачувальних секцій *B*, *Г*, *Д*, на виході з якого виконано приєднувальний фланець. Пакет насосів *4*, у якому розташовані шестерні нагнітального *A* та відкачувального *B* насосів, складається з трьох циліндричних проставок, стягнутих між собою чотирма болтами *4.8*. Пакет *4* кріпиться до корпусу чотирма гвинтами *8*.

Пакет насосів 5, у якому розташовані шестерні відкачувальних насосів *B*, *Г* та *Д*, за конструкцією і кріпленням аналогічні пакету 4.

У верхніх та нижніх проставках пакетів 4 і 5 запресовані втулки 4.1, які є підшипниками ковзання для робочих шестерень 4.5, 4.7, 5.2, 5.3. Масло на змащення підшипників та шестерень надходить з магістралі нагнітання двигуна (після фільтрації) через штуцер 13 та систему каналів, виконаних у корпусі й проставках.

Робочі шестерні 4.3, 4.9, 5.1, 5.6, 5.8, 5.11 насаджені на хвостовики шестерень 4.5, 4.7, 5.2, 5.3 та фіксуються від прокручування за допомогою шпонок. Робочі шестерні обертаються в циліндричних розточеннях проставок, перекачуючи масло. На шліцах хвостовиків шестерень 4.7, 5.2 змонтовані привідні шестерні 2. Крім того, шестірня 5.2 має з протилежного боку шліци, через які робочі шестерні пакета 5 за допомогою ресори отримують обертання від нижньої коробки приводів. Пакет 4 отримує обертання від пакета 5 через привідні шестерні 2.

Редукційний клапан 11 здійснює перепуск частини масла з порожнини нагнітання у порожнину всмоктування для підтримки тиску нагнітання у заданих межах. Клапан 11 складається з корпусу 11.3, клапана 11.1, пружини 11.2, тарілки 11.4, гайки 11.6, ковпачка 11.7 і регулювального гвинта 11.8.

При підвищенні тиску масла у порожнині нагнітання нагнітального насоса *A* вище від настройки клапана клапан 11.1 тиском масла відтискається, долаючи опір пружини 11.2, яка упирається в тарілку 11.4, та здійснює перепуск надлишкової кількості подаваного масла через трикутні вікна клапана 11.1 у порожнину всмоктування нагнітального насоса. Зміна кількості масла, що перепускається, досягається зміною затяжки пружини 11.2 за допомогою регулювального гвинта 11.8. Регулювальний гвинт стопориться гайкою 11.6 і закривається ковпачком 11.7.

Маслоагрегат з електроприводом – шестеренний насос, що одержує привід від електродвигуна і забезпечує, залежно від положення запірних клапанів за насосом, вивантаження відпрацьованого масла з циркуляційного бака або прокачування масла через бак по колу при підігріванні масла.

Маслоагрегат з електроприводом (рис. 35) складається з корпусу 5, робочих шестерень – ведучого вала-шестірні 15 і веденої шестірні 4, кришки 2, сальників 14, півмуфт 12 і 13, зворотного клапана 8, редукційного клапана 9, привідного електродвигуна 7, кронштейна 11.

У корпусі 5 виконані колодязі для розміщення робочих шестерень 4 і 15. До цих колодязів примикають порожнини всмоктування і нагнітання, що сполучаються каналами відповідно з вхідним штуцером 10 і зворотним клапаном 8. Канали всмоктування і нагнітання сполучаються між собою каналом, у якому змонтований редукційний клапан 9. Колодязі шестерень за-

криті кришкою 2, що кріпиться до корпусу 5 гвинтами і фіксується від розвороту штифтами. Між корпусом 5 і кришкою 2 для ущільнення ставиться прокладка зі свинцевої фольги. З боку, протилежного колодязям робочих шестерень, у корпусі виконаний циліндричний стакан з фланцем, що служить для кріплення корпусу через вертикальний стояк кронштейна 11 до фланця електродвигуна 7.

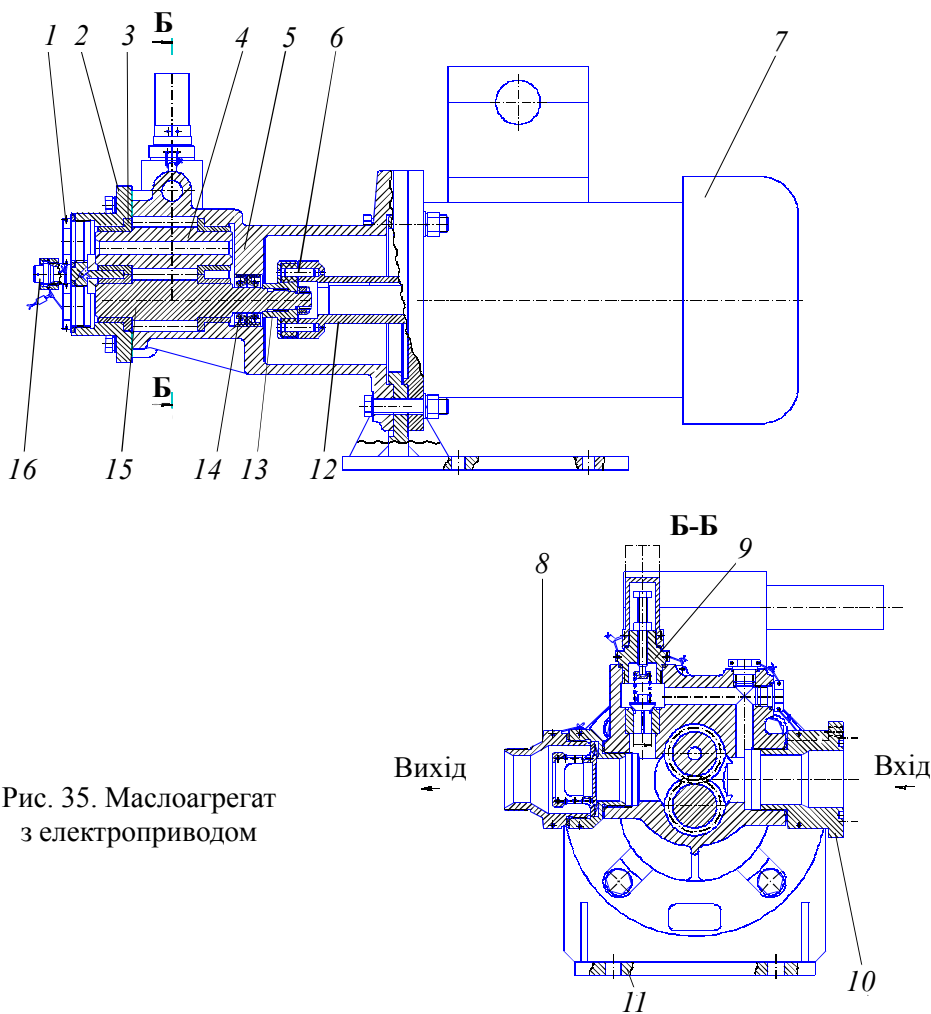


Рис. 35. Маслоагрегат з електроприводом

У корпусі 5 і кришці 2, співвісно з колодязями шестерень, запресовані бронзові втулки 3, в яких обертаються цапфи шестерень. Втулки 3 також є підшипниками ковзання для шестерень 4 і 15. Масло для змащення підшипників подається з порожнини нагнітання насоса через просвердлені канали корпусу 5 і кришки 2. У кришці 2 виконані технологічні нарізні (рос. – резьбовые) отвори, закриті пробками (заглушками) 1.

Закритий заглушкою штуцер 16 (у даному виробі не використовувався) дозволяє, за необхідності, подавати масло на змащення підшипників із зовнішньої масляної магістралі.

Для передачі насосу обертання від електродвигуна 7 служить муфта, що складається з півмуфти 13, змонтованої на цапфі ведучого вала-шестірні 15 і півмуфти 12, насадженої на вал електродвигуна. Обертання від півмуфти 12 до півмуфти 13 передається за допомогою гумових пальців 6. Два сальники 14, які встановлені в розточці корпусу 5, запобігають протіканню масла по цапфі ведучого вала-шестірні та являють собою гумові манжети, підтиснуті пружинами. Для контролю можливого виходу сальників з ладу і для запобігання потраплянню при цьому масла в електродвигун у стінках циліндричного стакана корпусу 5 передбачені дренажні отвори *a*.

Конструкція редукційного клапана 9 маслоагрегату з електроприводом аналогічна конструкції редукційного клапана навішеного маслоагрегату ГТД. Конструкція зворотного клапана 8 аналогічна конструкції зворотного клапана відкачувального маслоагрегату з електроприводом.

Відкачувальний маслоагрегат з електроприводом призначений для відкачування відпрацьованого масла з масляних порожнин ГТД на малих режимах роботи і на стоянці. Відкачувальний маслоагрегат з електроприводом являє собою п'ятисекційний шестеренний насос із приводом від електродвигуна і складається (рис. 36Д) з корпусу 4, пакета насосів (секцій) 6, зворотного клапана 17, перехідника 12, двох сальників 7, півмуфт 8 і 9, електродвигуна 10 і кронштейна 11.

У корпусі 4 маслоагрегату виконаний циліндричний колодязь для установки пакета 6 відкачувальних насосів (секцій). Для підведення масла на корпусі виконані три приливки з отворами, в які вкручені п'ять вхідних штуцерів відкачувальних насосів. Для відведення масла в корпусі передбачені литий карман (порожнина *b*), загальний для всіх п'яти насосів, і з'єднаний з ним просвердленим каналом *в* приливок, у якому встановлено зворотний клапан 17.

Для контролю тиску за відкачувальними насосами в корпусі 4 маслоагрегату є отвір, у який завернуто штуцер 18. Для змащення підшипників маслоагрегату і для поліпшення всмоктувальної здатності окремих його секцій через штуцер 2 подається масло із-за нагнітального електромаслонасоса.

Пакет насосів 6 складається із шести проставок, стягнутих між собою гвинтами. У верхній і нижній проставках пакета 6 запресовані бронзові втулки 16, які виконують роль підшипників. У втулки встановлюється ведучий вал-шестірня 14. На його хвостовику змонтовані ведучі робочі шестерні 15, які одержують обертання за допомогою призматичних шпонок. Крім того, в отвори верхньої і нижньої проставок пакета 6 встановлена нерухома вісь 1, на якій обертаються ведені робочі шестерні 3 із запресованими в них посад-

ковими бронзовими втулками. Ведучі й ведені робочі шестерні попарно, спільно зі стінками проставок, утворюють відкачувальні шестеренні насоси.

Складений пакет насосів разом з перехідником 16 кріпиться до корпусу маслоагрегату за допомогою шпильок і фіксується штифтом. У місці стику пакета з корпусом для ущільнення ставиться прокладка. Сальники 7, що являють собою гумові манжети, підтиснуті пружинами, запобігають протіканню масла по хвостовику ведучого вала-шестірні 14. Для контролю можливого виходу сальників з ладу і для запобігання потраплянню при цьому масла в електродвигун у перехіднику 12 передбачені дренажні отвори 2.

Круглий фланець перехідника 12 і фланець електродвигуна з двох боків стикуються з вертикальним стояком кронштейна 11 і стягуються за допомогою болтового з'єднання. Для передачі обертання від електродвигуна 10 передбачена муфта, що складається з півмуфти 9, з'єднаної з валом електродвигуна шпонкою, і півмуфти 8, насадженої на шліци вала-шестірні 14 і закріпленої на ньому гайкою. Обертання від півмуфти 9 до півмуфти 8 передається за допомогою гумових пальців 13.

Кронштейн 11 складається зі зварених між собою вертикальних стояків і горизонтальної плати. На вертикальному стояку змонтовані насосна частина маслоагрегату та електродвигун, а горизонтальна плата служить для монтажу маслоагрегату з електроприводом.

Зворотний клапан 17 запобігає зворотному перетіканню масла з лінії нагнітання на лінію всмоктування при непрацюючому з електроприводом і працюючому навішеному маслоагрегатах. Клапан складається з корпусу клапана 17.5, штуцера 17.1, стакана 17.3, тарілчастого клапана 17.2, пружини 17.4 і пружинної шайби 17.6. Корпус 17.5 і штуцер 17.1 ущільнені прокладкою. Між корпусом 17.5 і штуцером 17.1 зафіксований своїм буртиком стакан 17.3. Для вибірки осьового люфту під буртиком стакана 17.3 установлена пружинна шайба 17.6. Усередині стакана 17.3 розташовується пружина 17.4, що одним торцем упирається у стакан, а іншим притискає клапан 17.2 до сидла штуцера 17.1. Потік масла відтискає клапан 17.2 від сидла й, обтікаючи клапан, направляється до вихідного отвору корпусу 17.5.

Нагнітальний маслоагрегат з електроприводом – це шестеренний односекційний насос, який складається (рис. 37) з корпусу 6 маслоагрегату, шестерень веденої 3 і ведучої 13, кришки 2, сальника 4, півмуфти 5, пальців 12, пальцевої півмуфти 11, зворотного 8 і редуційного 9 клапанів.

У корпусі 6 є колодязі для нагнітальних шестерень. Порожнини всмоктування і нагнітання сполучаються між собою каналом, у який вставлений редуційний клапан 9. У корпусі 6 виконана розточка під сальник 4.

У кришці 2 виконані нарізні отвори для заглушок. Кришка 2 кріпиться до корпусу 6 маслоагрегату гвинтами і фіксується відносно корпусу 6 штифтами. Між корпусом 6 і кришкою 2 для ущільнення ставиться прокладка зі

свинцевої фольги. Для передачі обертання від електродвигуна 7 установле- на муфта, що складається з півмуфти 5, установленної на цапфі ведучої на- гнітальної шестірні 13, і пальцевої півмуфти 11, з'єднаної з валом електро- двигуна. Сальник 4 запобігає протіканню масла по ведучій цапфі шестірні та являє собою гумову манжету з пружиною. Для стікання масла, яке просо- чилося через сальник, у корпусі 6 передбачені отвори *a*.

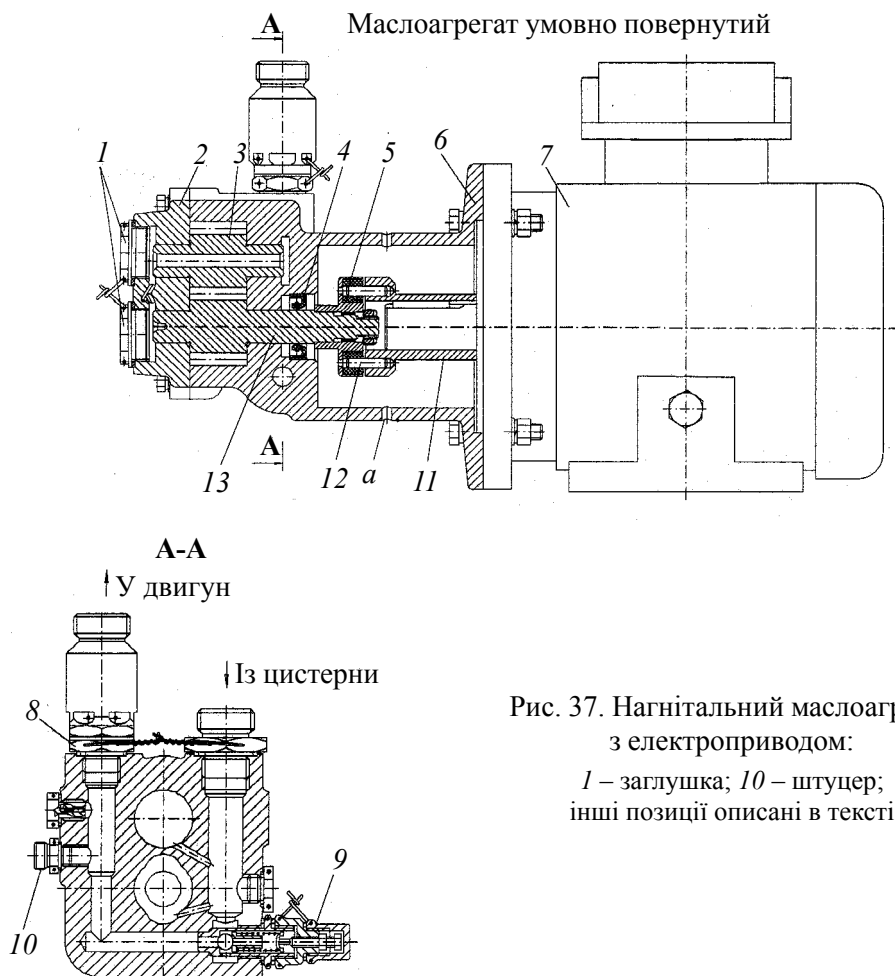


Рис. 37. Нагнітальний маслоагрегат з електроприводом:

1 – заглушка; 10 – штуцер; інші позиції описані в тексті

Масляний фільтр призначений для тонкого очищення масла, що надходить на змащення й охолодження підшипникових вузлів, зубчастих зачеплень та інших тертьових деталей газотурбінного агрегату.

Фільтр (рис. 38Д) складається з корпусу 12, двох фільтрувальних блоків і пробкового крана 20 із рукояткою 17. У верхній частині корпусу 12 є два нарізні отвори для установки циліндрів 8. У центральній частині корпусу виконаний горизонтальний колодазь із запресованою бронзовою втулкою 18

для установлення в ньому пробкового крана 20. Цей колодязь сполучається двома парами просвердлених каналів *Л* і *Ж* з нарізними отворами для циліндрів. Горизонтальна ділянка каналу *Л* закрита технологічною заглушкою 13.

У нарізних гніздах нижньої частини корпусу 12, що сполучаються з нарізними отворами для циліндрів 8, вкручені перехідні штуцери 23 із прокладками 21 і запірними клапанами 22. Крім того, у нижній частині корпусу вкручені два штуцери 16, зв'язані з каналами *Ж* та *Л* (відповідно підведення та відведення масла). Для кріплення фільтра по кутах корпусу виконані чотири горизонтальні лапи з кріпильними отворами.

Горизонтальний колодязь корпусу і встановлений у ньому кран 20 закриті кришкою 19, яка ущільнюється відносно корпусу й хвостовика крана гумовими ущільнювальними кільцями. Циліндри 8, вкручені в нарізні отвори корпусу, зверху закриті кришками 1, які кріпляться гвинтами. Циліндри 8 ущільнюються відносно корпусу 12 і кришок 1 ущільнювальними кільцями 11 і 2 відповідно. Усередині кожного циліндра розташовані один магнітний фільтропакет 9 і два паперових гофрованих фільтрувальних елементи 6 типу "Реготмас" (з проставкою 7 між ними і кришкою 5 зверху). Фільтропакет 9 та елементи 6 з'єднані між собою й ущільнені гумовими ущільнювальними кільцями 3.

Магнітний фільтропакет складається зі звареного корпусу 9.6, закритого звареною кришкою 9.3. Між привареними до внутрішньої периферійної поверхні корпусу жолобками встановлені двадцять чотири магніти (магнітні стрижні) 9.4. Між нижнім приварним кільцем кришки 9.3 і кінцевою стінкою корпусу 9.6 встановлений гумовий затвор 9.5. Конфігурація стінок корпусу 9.6 і кришки 9.3 сприяє направленню потоку масла до магнітів 9.4. Для утримання корпусу 9.6, кришки 9.3, магнітів 9.4 у зборі зверху кришки 9.3 одягається кришка 9.1 з гумовою прокладкою 9.2. При цьому края кришки 9.1 у декількох місцях входять у вертикальні щілини корпусу 9.6. Для полегшення виймання магнітного фільтроелемента у верхній частині корпусу 9.6 приварена ручка 9.7.

Фільтр працює у такий спосіб. Масло з нагнітальної магістралі після охолодження надходить до отвору "вхід", звідки через вікно *Е* циліндричного пробкового крана 20 надходить у канал *Ж* одного з фільтрувальних блоків. З каналу *Ж* масло надходить усередину корпусу 9.6 магнітного фільтропакета 9 і проходить повз магніти 9.4, які уловлюють феромагнітні продукти зносу елементів агрегату, що знаходяться у маслі. З фільтропакета 9 масло потрапляє у кільцеву порожнину *И* зовні фільтрувальних елементів 6. Проходячи крізь гофри елементів 6, масло остаточно фільтрується і по внутрішній порожнині *К* та каналу *Л* надходить до вікна *Д* пробкового крана 20, а потім до отвору "вихід".

При досягненні на працюючому блоці граничного перепаду тиску 0,15 МПа (1,5 кгс/см²) пробковий кран 20 за допомогою рукоятки 17 повертається, забезпечуючи зв'язок вікон *E* та *D* крана з другим фільтрувальним блоком, тобто відбувається перемикання фільтра на запасний блок.

Запірні клапани 22 служать для зливу масла з фільтрувальних блоків при заміні фільтрувальних елементів та очищенні магнітних фільтроелементів. Два штуцери 16, пов'язані з каналами *Ж* (підведення масла) та *Л* (відведення масла), служать для контролю перепаду тиску масла на фільтрі.

Для очищення масла перед подачею його до двигуна призначений *фільтр* (рис. 39), який являє собою циліндричний корпус 1, що складається з кришки 5, штуцерів входу 6 і виходу 8. Кришка до корпусу 1 кріпиться за допомогою гвинтів 2 і шайб 3. У корпусі 1 встановлений фільтрувальний блок, що складається з фільтрувальних секцій 9. Між кришкою 5 фільтрувального блока і корпусом 1 встановлене ущільнювальне кільце 4 для герметизації масляної порожнини фільтра. У процесі експлуатації масло подається до порожнини фільтра *a* через штуцер входу 6, проходить у порожнину *b* і очищається фільтрувальними секціями 9. Потім через штуцер виходу 8 відводиться до системи змащення двигуна. Заглушка 7 призначена для зливу масла при заміні секцій 9.

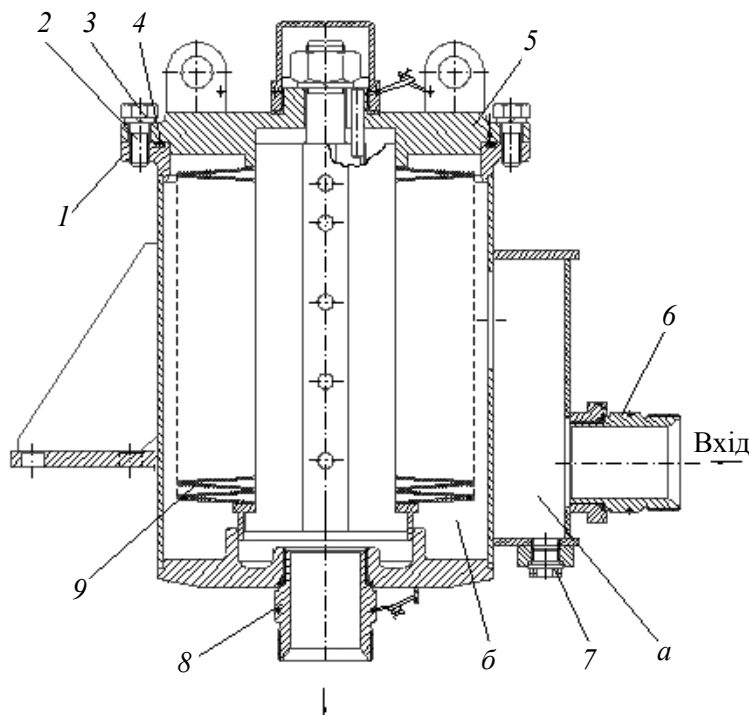


Рис. 39. Фільтр

Фільтр, призначений для очищення масла перед подачею його до нижньої коробки приводів і маслоагрегату (рис. 40), являє собою циліндричний корпус 3 зі штуцером входу масла і штуцером виходу 1. Для фільтрації масла всередині корпусу 3 встановлений фільтр 2. Для ущільнення корпусу служить ущільнювальне кільце 4. У процесі роботи двигуна масло подається в порожнину корпусу фільтра, проходить через фільтр 2 і підводиться до нижньої коробки приводів і маслоагрегату.

Автоматичний клапан призначений для закриття труби суфлювання турбіни генератора і створення розрядження в її масляній порожнині відкачувальною секцією електронасоса в період пуску й до виходу на режим (більше ніж 3600 об/хв) чи при скиданні режиму на оборотах менше ніж 3600 об/хв.

Клапан (рис. 41) складається з корпусу 8, золотника 6, стакана 9, пружини 1. У корпусі запресована бронзова втулка 2, в якій розміщується золотник 6. У нарізні отвори корпусу вкручені вхідний і вихідний штуцери 3

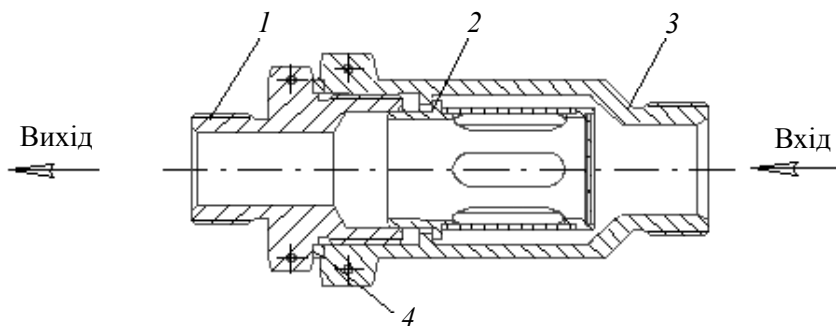


Рис. 40. Фільтр

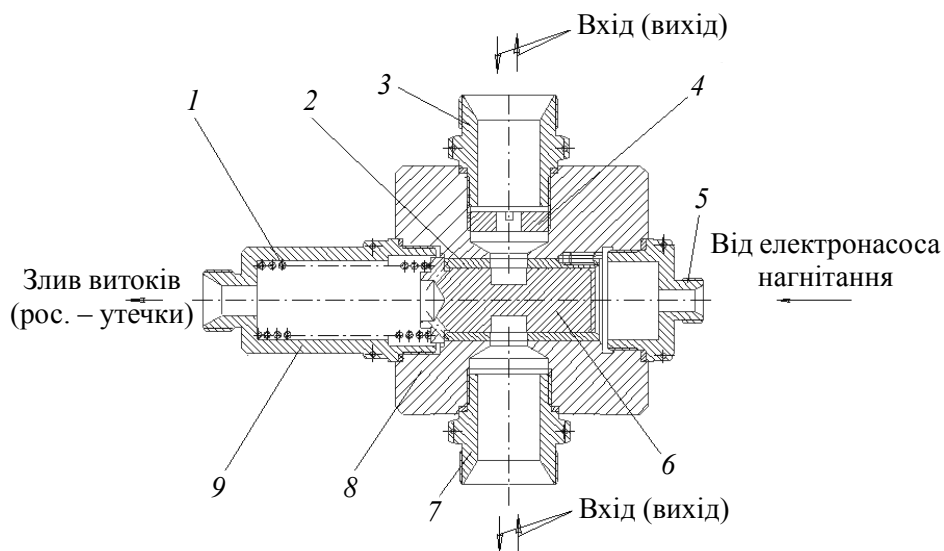


Рис. 41. Автоматичний клапан

і 7 (взаємозамінні), штуцер 5 підведення керуючого тиску (від нагнітального електронасоса) і стакан 9. Нарізні гнізда вхідного і вихідного штуцерів можуть сполучатися між собою через порожнину кільцевого проточування золотника 6. В одному із цих нарізних гнізд установлена дросельна шайба 4. При вмиканні нагнітального електромаслонасоса створований ним тиск через штуцер 5 впливає на торець золотника 6. Золотник, долаючи зусилля пружини 1, зміщується і перериває сполучення між вхідним та вихідним штуцерами через проточування золотника 6. При падінні тиску на вході в штуцер 5 пружина 1 повертає золотник 6 у вихідне положення, забезпечуючи прохід маслоповітряної суміші з масляної порожнини турбіни генератора. Масло, що просочується між золотником 6 і втулкою 2, зливається через штуцер стакану 9.

Регулятор перепаду тиску (РПТ) призначений для підтримування різниці між статичним тиском повітря за КНТ і тиском повітря в масловіддільному баці в діапазоні, необхідному для роботи контактних ущільнень.

Регулятор перепаду тиску (рис. 42) складається з клапана 1, сільфона 2, корпусу 4, пружини 5, регулювального гвинта 6, штуцерів 8 та 14. До штуцера 14 підводиться повітря зі статичним тиском повітря за КНТ, до штуцера 8 – маслоповітряна суміш з тиском у масловіддільному баці. Стравлювання з РПТ спрямоване в циркуляційну цистерну. Підтримування перепаду здійснюється за рахунок перепуску маслоповітряної суміші з масловіддільного бака. При збільшенні тиску в баці клапан 1, рухаючись уліво, відкриває перепуск із масловіддільного бака через отвір у гвинті 6. У ре-

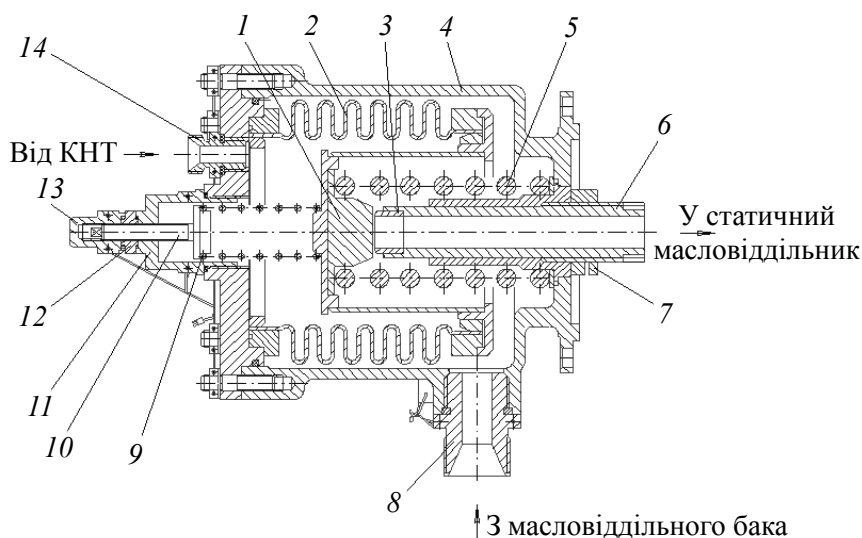


Рис. 42. Регулятор перепаду тиску:

7, 12 – гайки; 9 – пружина; 10 – регулювальні гвинти; 11 – футорка;
13 – ковпачок; інші позиції описані в тексті

зультаті цього тиск у масловіддільному баці й масляних порожнинах заднього корпусу КВТ і ОВ ТНТ зменшується. При зниженні тиску в масловіддільному баці клапан 1, рухаючись управо, перекриває перепуск, унаслідок чого тиск у баці й масляних порожнинах збільшується. Регулювання тиску в масловіддільному баці здійснюється шляхом зміни зазору між клапаном 1 і сідлом 3 регульовальним гвинтом 6.

Масловіддільник статичний призначений для відділення масла із суфльованої маслоповітряної суміші, що надходить з масляних порожнин підшипникових вузлів двигуна.

Масловіддільник (рис. 43) складається з корпусу 1, труби Вентурі 2, кришки 3, патрубку підведення суфльованої суміші (вхідного) 6, перфорованих циліндрів 7, 11, 12, пакета-сепаратора 8, коагулятора 9, масловідбійних кілець 10, патрубка відведення очищеного повітря (вихідного) 13.

У корпусі 1 масловіддільника встановлені два патрубки зливу відділеного масла зі штуцерами 4 і 5, масловідбійне кільце 10. Підвідна до статичного масловіддільника суфльована маслоповітряна суміш, пройшовши че-

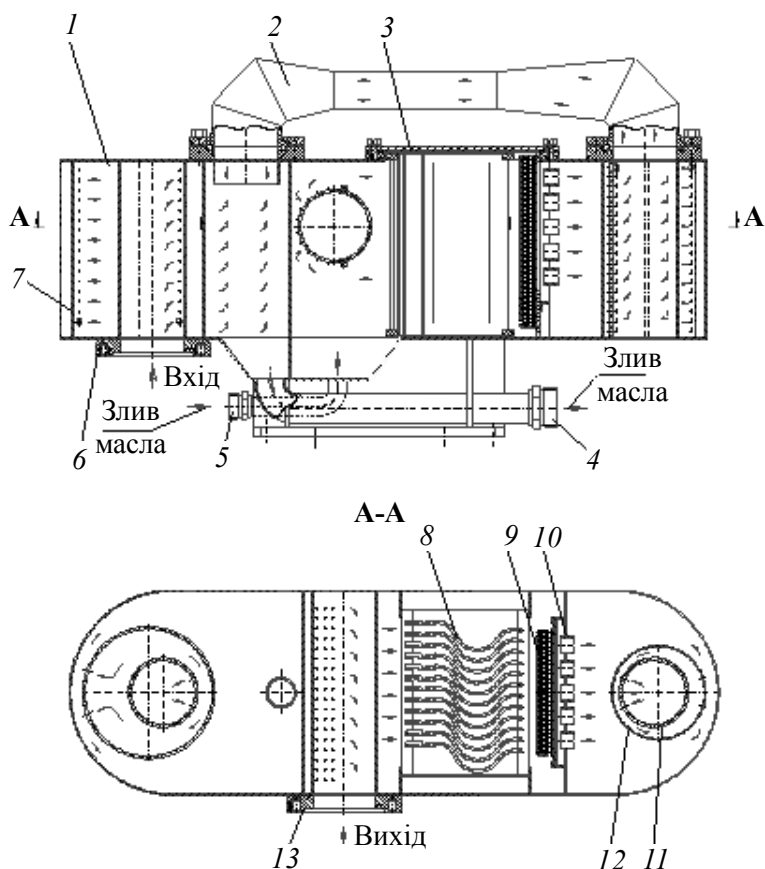


Рис. 43. Статичний масловіддільник

рез перфоровану частину вхідного патрубку 6, попадає на стінку перфорованого циліндра 7, на якій за рахунок інерційного осадження при струминному обтіканні стінки збираються найбільші частинки масла. Процес повторюється при виході маслоповітряної суміші з перфорованого циліндра 7. Відділене у вхідній частині масло стікає в нижню частину корпусу 1 (піддон) і відводиться через штуцер 5. Далі маслоповітряна суміш надходить у трубу Вентурі 2, де відбувається осадження пари і дрібних краплинок масла на більш великі краплі.

Процес інерційного осадження краплинок масла з маслоповітряної суміші повторюється на виході з труби Вентурі 2 у двох перфорованих циліндрах 11 та 12. Потім маслоповітряна суміш потрапляє через масловідбійні кільця 10 у корпусі 1 на коагулятор 9, що являє собою набір гофрованих сіток, на яких осаджуються дрібні краплі масла, а потім коагулюються за допомогою сил поверхневого натягу в більш великі краплі. Ці краплі виносяться потоком до пакета-сепаратора 8, де уловлюються за рахунок інерційного осадження при струминному обтіканні криволінійних профілів сепаратора. Відділене масло стікає в піддон корпусу 1 і відводиться через штуцер зливу масла 4.

Очищене повітря видаляється з вихідної камери через перфорований вихідний патрубок 13 масловіддільника. У нижній частині корпусу 1 приварений фланець, за допомогою якого статичний масловіддільник кріпиться на передньому корпусі ГТД.

Магнітний сигналізатор стружки призначений для сигналізації про наявність металевих частинок у маслі, що зливається з двигуна. Сигналізатор (рис. 44) складається з датчика сигналізатора 5, корпусу клапана 4 з опорою 2 і клапана 1 з пружиною 3. Датчик сигналізатора 5 складається з гайки 5.2 корпусу 5.4, в якому встановлені і залиті компаундом 5.5 два магніти 5.6; до магнітів припаяні два штирі 5.3, що утворюють штепсельний роз'єм для приєднання електрокабеля. Масло, що обтікає сигналізатор стружки, через круглі вікна в корпусі 4 надходить до магнітів 5.6 датчика сигналізатора. Феромагнітні продукти зносу деталей, що обмиваються маслом, уловлюються магнітами 5.6 і замикають електричне коло сигналізатора. Для огляду магнітів датчик сигналізатора 5 витягається з гнізда корпусу клапана 4 шляхом скручування гайки 5.1. При витягуванні датчика сигналізатора з корпусу клапана 4 клапан 1 під дією пружини 3 зміщується і перекриває вікна в корпусі 4, запобігаючи витіканню через них масла.

Зворотний клапан призначений для забезпечення протікання масла тільки в одному напрямку, запобігаючи його зворотному перетіканню. Зворотний клапан (рис. 45) складається з корпусу 6, перехідника 1, клапана 3, пружини 4, стакана 5 і пружинної шайби 2. Корпус 6 і перехідник 1 з'єднуються за допомогою гвинтів і ущільнюються паронітовою прокладкою. Між корпусом і перехідником своїм буртиком зафіксований стакан 5. Для вибірки осьо-

вого люфту під буртиком стакану 5 встановлена пружинна шайба 2. У середині стакану розташовується пружина 4, яка одним торцем упирається в стакан 5, а іншим притискає клапан 3 до сидла переходника 1.

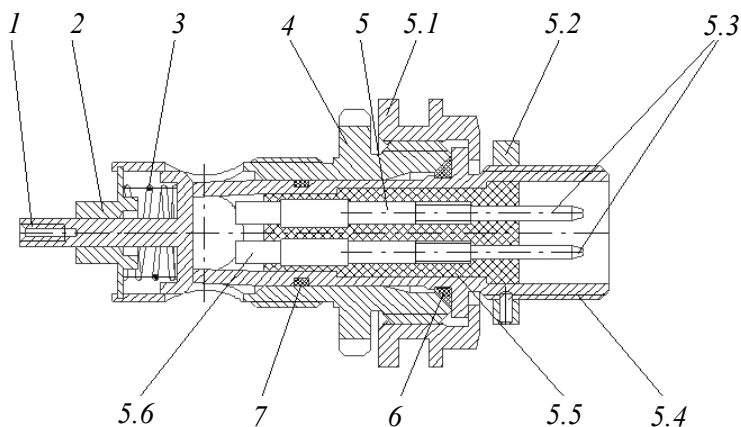


Рис. 44. Магнітний сигналізатор стружки:

6, 7 – ущільнювальні кільця; інші позиції описані в тексті

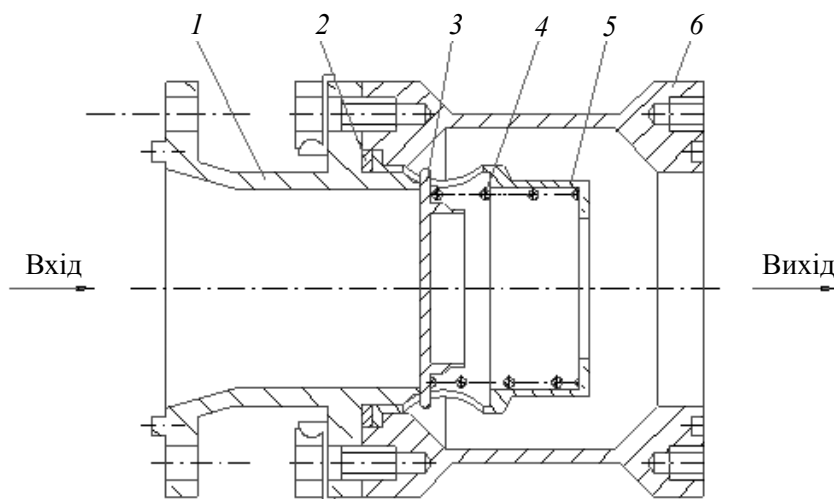


Рис. 45. Зворотний клапан

3.3. Система пневмокерування двигуном

Система пневмокерування складається з наступних підсистем: керування клапанами перепуску повітря (далі – клапанами або КПР*) за шостим ступенем КНТ;

*Опис клапанів перепуску повітря наведено в розділі "Камера згоряння", який подано в розд. 2 "Конструкція газотурбінного двигуна" даного посібника.

керування клапанами перепуску повітря за КНТ;

керування КПП за п'ятим ступенем КВТ;

керування клапанами перепуску повітря за КВТ;

подачі стисненого повітря, що відбирається за п'ятим ступенем КВТ, на охолодження ТНТ і регулювання радіального зазору ТВТ.

Повітроживлення системи пневмокерування здійснюється внутрішньоцикловим повітрям. Електроживлення елементів системи пневмокерування здійснюється САК двигуна відповідно до алгоритмів запуску, режимної роботи, зупинки і захисту. Всі електричні елементи системи споживають постійний струм напругою $27 \pm 2,7$ В.

До системи пневмокерування (рис. 46Д) входять: блок очищення й охолодження 12; повітряний балон 13; електромагнітні клапани 4, 6, 10, 14; відсічні клапани (КВ) 16, 19, 22; маніпулятор 3; КПП за шостим ступенем КНТ 1, 2; клапани перепуску повітря за КНТ 5; КПП за п'ятим ступенем КВТ 17, 20, 23; клапани перепуску повітря за КВТ 7, 8, 9, 11; сигналізатори 15, 18, 21.

При запуску двигуна працюють нормально відкриті клапани за п'ятим ступенем КВТ 17, 20, 23. Стиснене повітря для утримання цих клапанів у відкритому положенні подає електромагнітний клапан 14, включення (відключення) якого виконує САК двигуна. Після закінчення запуску електромагнітний клапан 14 відключається і КПП закриваються під дією потоку повітря, що перепускається. Клапани перепуску повітря за п'ятим ступенем КВТ розташовані на трубі відбору за п'ятим ступенем КВТ і забезпечують антипомпажний захист двигуна на запуску.

Після запуску вступають у роботу нормально закриті клапани перепуску повітря за шостим ступенем КНТ 1, 2. Стиснене повітря для їх відкриття подає маніпулятор 3. Відкрите положення клапанів перепуску повітря за шостим ступенем КНТ не обмежене часом, виконується за тиском за КВТ в інтервалі 0,3...1,1 МПа. Тому електроживлення на електромагніти маніпулятора (включення 3.1 і відключення 3.2) виконується САК короткочасно – сигнал від кінцевих вимикачів клапанів перепуску повітря 1.1 або 2.1 знімає електроживлення. Збереження заданого положення маніпулятора за відсутності електроживлення на його електромагнітах виконується вбудованою пневматичною пам'яттю.

Клапани перепуску повітря за шостим ступенем КНТ вбудовані в корпус двигуна. Їх призначення – збільшення запасу стійкої роботи КНТ. Повітря, яке відбирається за КВТ, при тиску вище 0,3 МПа починає відкривати відсічні клапани 16, 19, 22.

При тиску 0,7 МПа клапани повністю відкриті. Сигналізатори 15, 18, 21 видають у САК сигнал про відкрите положення клапанів.

Відсічні клапани розташовані на трубі відбору за п'ятим ступенем КВТ. Їх призначення – подача стисненого повітря на охолодження ТНТ і регулювання радіального зазору ТВТ.

На режимній роботі двигуна, у випадку зникнення навантаження, вступають у роботу нормально закриті клапани перепуску повітря за КНТ і клапани перепуску повітря за КВТ. Стиснене повітря для їх відкриття подають електромагнітні клапани 4, 6, 10, одночасно одержуючи живлення від САК. Коли режим роботи двигуна стає рівним холостому ходу генератора, САК по черзі знімає електроживлення з клапанів 4, 6, 10. Клапани припиняють подачу стисненого повітря і КПП по черзі закриваються. Газотурбінна енергетична установка продовжує роботу, не відключаючись від електричної мережі.

Клапан перепуску повітря за КНТ 5 розташований на трубі відбору повітря за КНТ. Із цієї труби йде відбір повітря на обігрів КПОП. Клапани перепуску повітря за КВТ 7, 8, 9, 11 розташовані на корпусі двигуна. Їх призначення – не допустити спрацьовування автомата безпеки при зникненні електричного навантаження генератора і наступного за цим відключення від електричної мережі.

Агрегати системи пневмокерування

Пневматичний маніпулятор (рис. 47) містить у собі клапани наповнення 6 та стравлювання 14, на які діє з одного боку пружина 16, з іншого – поршень 13; два електромагніти 1 і 10 з клапанами-якорями 2 і 11; жиклер 8; штуцери 4 і 15; фільтр 17.

Через штуцер підведення 15 і фільтр 17 повітря надходить до клапана наповнення 6 і під клапан-якір 11. Клапан наповнення 6 під дією пружини 16 і стисненого повітря притиснутий до свого сідла і перекриває доступ повітря до штуцера 4. Клапан стравлювання 14 відтиснутий від свого сідла і з'єднує штуцер 4 з атмосферою через стравлюючий отвір б. Клапан-якір 11 притиснутий до сідла 12 пружиною електромагніта 10. Для подачі стисненого повітря споживачу необхідно підвести електроживлення до електромагніта наповнення 10. Клапан-якір 11, стискуючи пружину, відійде від свого сідла, відкриє прохід стисненому повітрю від штуцера 15 у порожнину під поршнем 13. Під дією стисненого повітря поршень 13, стискуючи пружину 16, притисне клапан стравлювання 14 до свого сідла і відтисне клапан наповнення 6 від свого сідла. Таким чином відкривається доступ стисненого повітря від штуцера 15 до штуцера 4 і перекривається стравлювання через отвір б. Стиснене повітря через штуцер 4 надходить до споживача. Після виконання команди подається електросигнал від сигналізуючого пристрою. Електросигнал про виконання знімає електроживлення з електромагніта наповнення 10. Клапан-якір 11 притискується до свого сідла пружиною електромагніта 10 і припиняє подачу стисненого повітря під поршнем 13. Тепер тиск повітря в порожнині під поршнем 13 підтримується завдяки перетіканню повітря через жиклер 8, прохідний переріз якого менший, ніж у сідлі 3 і 12. Для стравлювання повітря маніпулятором подається живлення на електромагніт стравлювання 1.

Клапан-якір 2, стиснувши пружину, відійде від сідла 3 і стравить повітря з порожнини під поршнем 13 в атмосферу через стравлюючий отвір *a*. Під дією пружини 16 і стисненого повітря клапан наповнення 6 притискується до свого сідла, перекриваючи доступ повітря від штуцера підведення 15 через штуцер 4 до споживача. Клапан стравлювання 14 відтискується від свого сідла і відкриває стравлювання від споживача через штуцер наповнення 4 і стравлюючий отвір *b* в атмосферу. Після виконання команди подається електричний сигнал від сигналізуючого пристрою про виконання заданої команди, який знімає електроживлення з електромагніта страв-

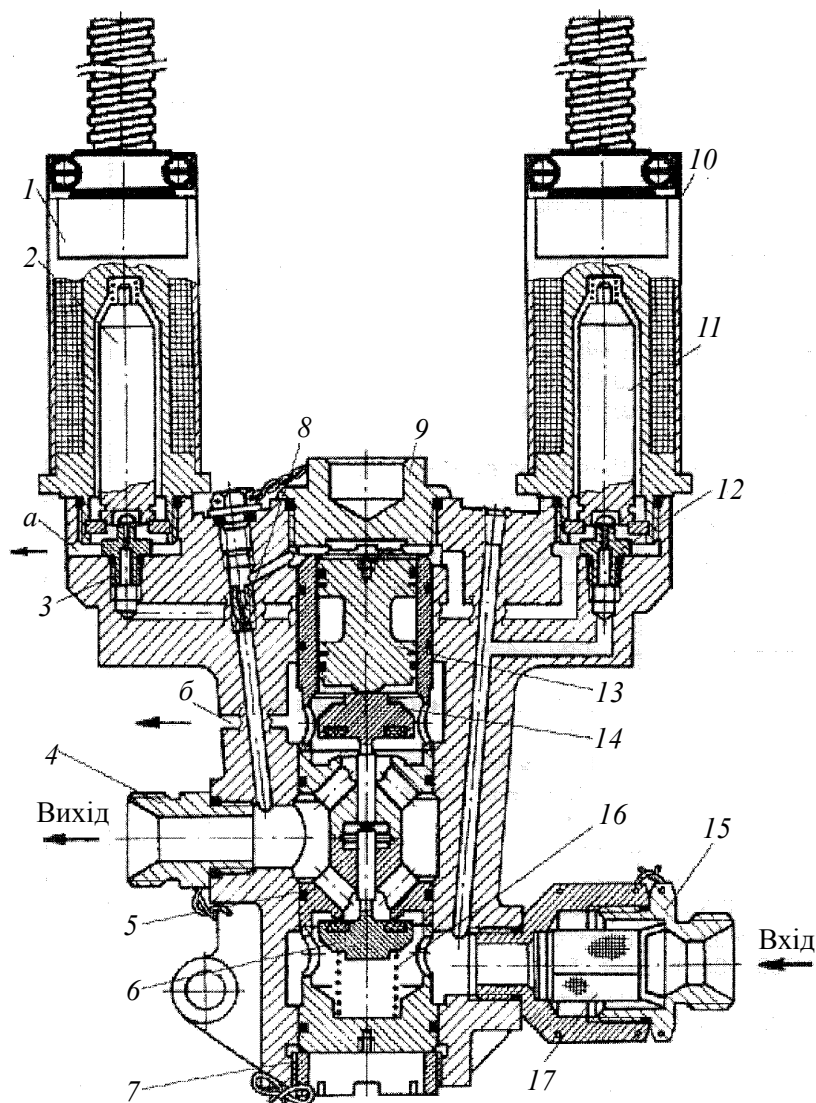


Рис. 47. Пневматичний маніпулятор:

5 – сідло; 7 – гайка; 9 – заглушка; інші позиції описані в тексті

лювання 1. Клапан-якір 2 притискується до свого сідла пружиною електромагніта 1. Тепер тиск повітря в порожнині за поршнем 13 підтримується рівним атмосферному за рахунок перетікання повітря через жиклер 8, клапан стравлювання 14 і отвір б.

До складу електромагнітного клапана (рис. 48) входять: корпус 1, електромагніт 4, рухомий якір 3 із командним клапаном 2 і зацепом 6, клапан-поршень 19, сідло 12, вхідний 14 і вихідний 7 штуцери, фільтр 13, втулка 10, сітка захисна 8, притискач 11 і зворотна пружина.

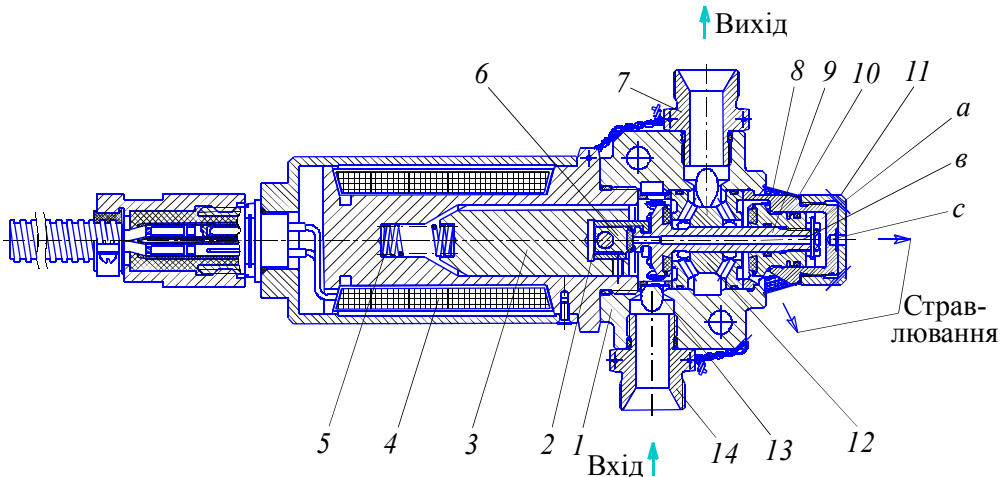


Рис. 48. Електромагнітний клапан

У знеструмленому стані клапана (показано на рисунку) пружина 5 притискує командний клапан 2 якоря 3 до клапана-поршня 9 і ліву запірну частину клапана-поршня 9 до сідла 12. Клапан-поршень 9 утримується в закритому положенні під дією пружини 5 і перепадом тиску між порожниною вхідного штуцера 14 та порожниною а. Вихідний штуцер 7 через відкриту праву запірну частину клапана-поршня 9 сполучається з атмосферою.

При подачі електроживлення на електромагніт 4 якір 3, долаючи зусилля пружини 5, починає переміщатися вліво. При цьому командний клапан 2 з'єднує через канал в клапана-поршня 9 порожнину штуцера входу 14 і порожнину а, перепад тисків на клапані-поршні 9 знижується, відповідно знижується і зусилля, необхідне для переміщення якоря 3; клапан-поршень 9 переміщається у відкрите положення (вліво). У відкритому положенні права запірна частина клапана-поршня 9 перекриває канал, який сполучає вихідний штуцер з атмосферою, а ліва запірна частина клапана-поршня 9 сполучає порожнини вхідного 14 і вихідного 7 штуцерів. Ліва запірна частина клапана-поршня 9 утримується у відкритому положенні зусиллям електромагніта і тиском повітря в порожнині а. При знятті живлення з електромагніта 4 командний клапан 2, переміщаючись вправо разом з якорем 3, перекриває канал в клапана-поршня 9, повітря з порожнини а через жиклер с

стварлюється в атмосферу й електромагнітний клапан приходить у вихідний стан.

Відсічний клапан призначений для припинення подачі повітря на охолодження ТНТ і на регулювання радіального зазору ТВТ при зупинці двигуна.

Відсічний клапан (рис. 49) складається з корпусу 16 з валом 18 і заслінкою 17 приводу. Корпус 16 являє собою котушку, на якій знаходяться фланці для кріплення комунікацій. У корпусі 16 за допомогою втулок 14, які є підшипниками ковзання, центрується вал 18. Від осевого переміщення вал фіксується упором 13, який одночасно є ущільненням. Упор 13 притискується до вала 18 гайкою 12. У середині корпусу 16 на валу 18 установлюється заслінка 17, що фіксується заклепками 19. На іншому кінці вала 18 установлений важіль 6 (рос. – рычаг), зафіксований штифтами 5. На корпусі 16 за допомогою болтів 15 установлений привід. Привід складається з корпусу 4, в якому встановлені поршень 8 із втулкою 7 і зворотна пружина 2 на на-

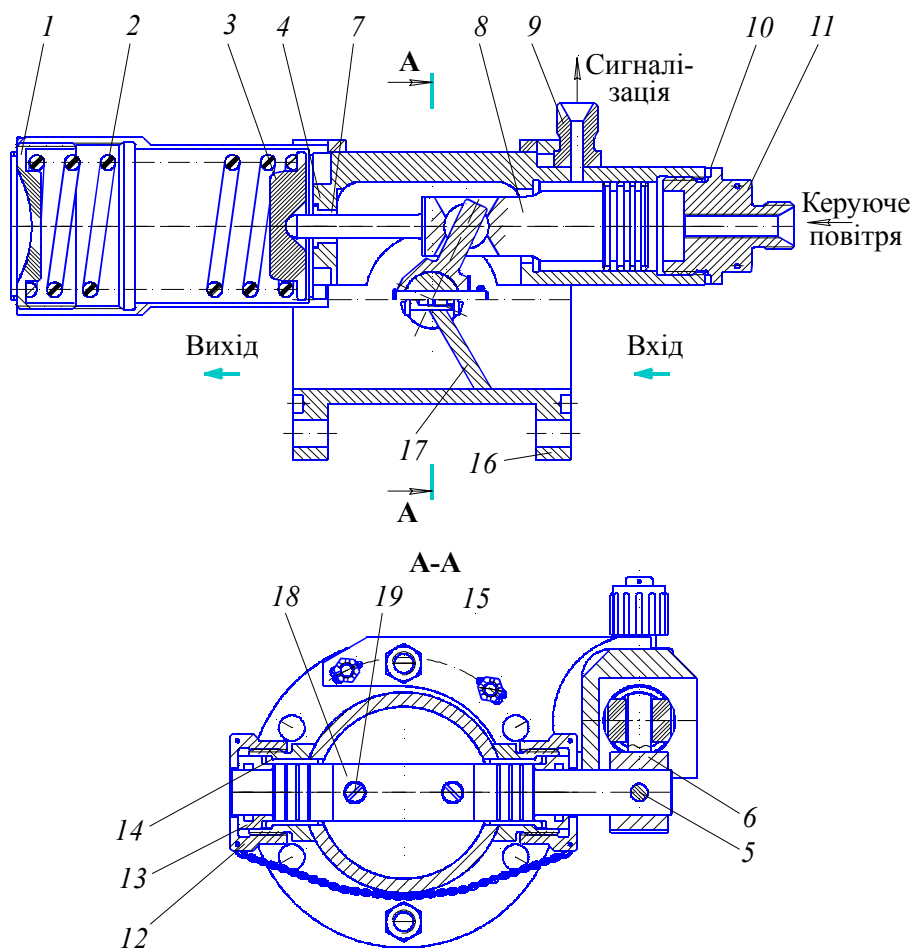


Рис. 49. Відсічний клапан:

9, 11 – штуцери; 10 – прокладка; інші позиції описані в тексті

прямній 3. Пружина 2 у корпусі 4 фіксується гайкою 1. Хід поршня 8 обмежений упором заслінки 17 у корпус 16.

Повітря за КВТ подається на вхідний штуцер. При досягненні тиску 0,3 МПа поршень 8 починає переміщатися. Важіль 6 перетворює поступальний рух поршня 8 в обертальний рух вала 18. Заслінка 17 починає відкриватися, пропускаючи повітря на охолодження ТНТ і регулювання радіального зазору ТВТ.

При досягненні тиску в циліндрі 0,7 МПа поршень 8, переміщуючись, повинен відкрити канал штуцера сигналізації. При тиску 0,9 МПа заслінка 17 повинна знаходитися у повністю відкритому положенні. При зниженні тиску до 0,5 МПа за рахунок пружності пружини 2 повинне початися закриття заслінки 17. При тиску 0,3 МПа заслінка 17 повинна повністю закритися, припинивши подачу повітря на охолодження ТНТ і регулювання радіального зазору ТВТ.

Повітряний балон служить для накопичення і збереження стисненого повітря. Балон (рис. 50) складається зі зворотного клапана 1, який розташований на вході й перешкоджає зворотному потоку повітря при зниженні тиску повітря за КВТ; заглушки 2, призначеної для видалення конденсату й огляду внутрішньої порожнини балона; головки балона 3 і власне балона 4.

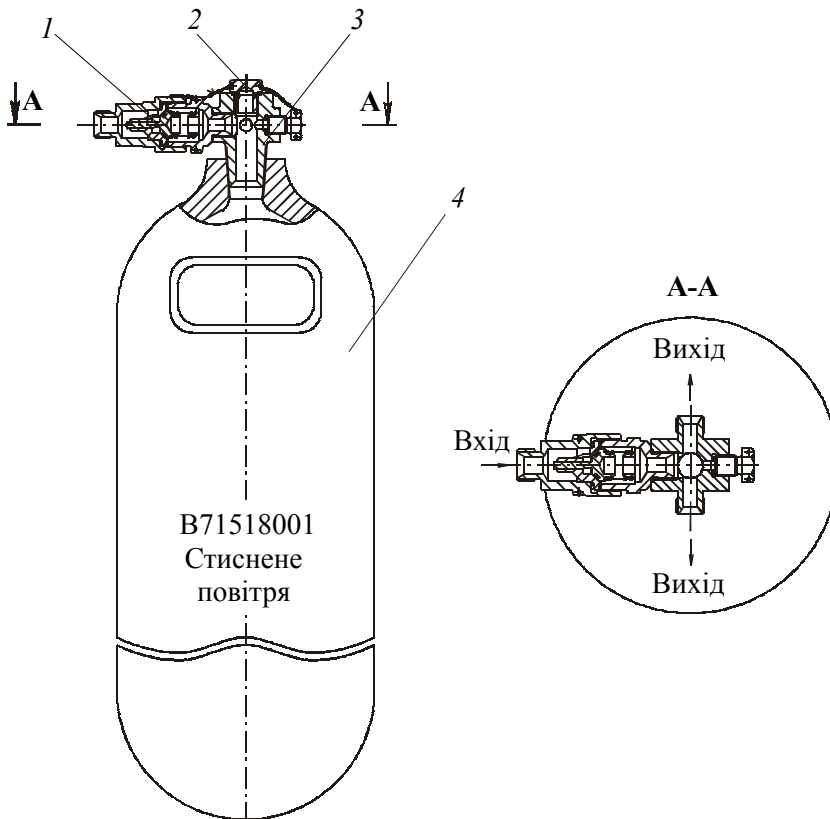


Рис. 50. Повітряний балон

3.4. Системи суфлювання і розвантаження двигуна

Система суфлювання служить для підтримання в масляних порожнинах двигуна (завдяки сполученню порожнин з атмосферою) такого тиску повітря, при якому забезпечується нормальна робота масляної системи й ущільнень.

Масло, що подається на змащення й охолодження підшипників, стікає в масляні порожнини 1, 27, 33, 42, 44 двигуна (рис. 51Д), які відділені від проточної частини й атмосфери лабіринтовими ущільненнями 4, 8, 14, 20, 24, 25, 29, 32, 45 і від порожнин підпору графітовими радіально-торцевими контактними ущільненнями 3, 9, 13, 21, 23, 26, 30, 31, 46.

Для запобігання попаданню масла в проточну частину двигуна ущільнення всіх масляних порожнин, крім ущільнення 3 у передньому корпусі КНТ і міжвального ущільнення 46, підпираються повітрям із проточної частини перехідника. Ущільнення 3 підпирається повітрям за третім ступенем КНТ, ущільнення 46 – повітрям з проточної частини КВТ. До ущільнень 21 і 23 заднього корпусу КВТ, ущільнень 26 опорного вінця ТНТ, 30 і 31 опорного вінця ТС повітря з проточної частини перехідника підводиться по трубах 15, 16 і 17 відповідно.

Для зниження перепаду тиску на контактних ущільненнях 9, 13 і 46 перехідника надлишкове повітря з порожнин підпору стравлюється в порожнину ротора КНТ, а звідти надходить на вхід у спрямний апарат четвертого ступеня КНТ. Повітря з міжлабіринтових порожнин заднього корпусу КВТ стравлюється в проточну частину ТС по трубах 28.

Для зменшення витрачання стравлюваного повітря і підтримання оптимального перепаду тиску на контактних ущільненнях застосована система суфлювання з наддуванням масляних порожнин заднього корпусу КВТ 42, опорного вінця ТНТ 27 і зв'язаного з ними масловіддільного бака (МВБ) 37. Наддування масляних порожнин досягається за допомогою регулятора перепаду тиску 39, встановленого на трубі 38 суфлювання МВБ у статичний масловіддільник 5. Для забезпечення стійкої роботи регулятора на вхід у РПТ по трубі 47 підводиться повітря за шостим ступенем КНТ. Необхідна подача повітря забезпечується за допомогою встановленої на цій трубі змінної дросельної шайби 40.

Оскільки тиск повітря перед ущільненнями (тиск підпору) завжди вищий за тиск у масляних порожнинах, то повітря по зазорах в ущільненнях протікає в масляні порожнини, перешкоджаючи виходу масла й утворюючи в цих порожнинах маслоповітряну суміш. Маслоповітряна суміш і відпрацьоване масло з масляних порожнин 42 заднього корпусу КВТ і 27 опорного вінця ТНТ надходять по зливних трубах 41 і 36 у МВБ 37. Маслоповітряна суміш із МВБ, масляних порожнин переднього корпусу КНТ 1 і перехідника 44 надходить по трубах відповідно 38, 2 і 48 у статичний масло-

віддільник 5 для відділення масла від повітря. Очищене від масла повітря відводиться зі статичного масловіддільника в проточну частину опорного вінця ТС трубою 6, а масло, що відокремилося, зливається в циркуляційний бак (див. підрозділ 3.2). Масло з масляної порожнини переднього корпусу КНТ 1 по каналу 50 стояка зливається в нижню коробку приводів 49. З нижньої коробки приводів, масляних порожнин перехідника, опорного вінця ТС і МВБ масло відкачується маслоагрегатом 51 і повертається в систему змащення.

Автоматичний клапан 35, установлений на трубі суфлювання 34 масляної порожнини ТС, забезпечує перепад тисків на контактних ущільненнях, який виключає викид масла з масляної порожнини при запуску, зупинці й на холостому ходу двигуна.

Система розвантаження призначена для забезпечення припустимого осьового навантаження на упорні підшипники двигуна. Для цього на виході з КНТ і КВТ створені розвантажувальні порожнини.

Розвантажувальна порожнина КНТ 7 (див. рис. 51Д) обмежена лабіринтовими ущільненнями 8 і 10. За необхідності зниження навантаження на опору ТКНТ повітря з розвантажувальної порожнини КНТ може стравлюватися по трубі 12 у проточну частину опорного вінця ТС. При цьому підтримування необхідної величини тиску в розвантажувальній порожнині здійснюється за допомогою регульовального крана 11.

Розвантажувальна порожнина КВТ 19 обмежена лабіринтовими ущільненнями 18 і 43. Для підтримання необхідного тиску повітря з розвантажувальної порожнини КВТ перепускається по трубах 22 у порожнину перед робочим колесом ТВТ, а регулювання осьових зусиль здійснюється заміною лабіринтового ущільнення 18 ущільненням іншого діаметра, зазначеного в кресленні КВТ. Заміна лабіринтового ущільнення проводиться після вимірювання осьових зусиль при розбиранні двигуна.

3.5. Система промивання двигуна

Система промивання двигуна призначена для очищення проточної частини двигуна. Промивання здійснюється за допомогою пересувної промивної установки, яка складається (рис. 52) з двовідсічного бака 3, клапанів 7, фільтрів 9, з'єднувальних рукавів 11, електронасосного агрегату 8 та заміррювача тиску миючого засобу 10.

Бак 3 розділений на два відсіки, ємністю 200 л кожний: 3.1 – з миючим розчином, 3.2 – з водою. Бак обладнаний сигналізатором рівня води 4, підігрівником води 5, термоперетворювачем опору 6. Бак, трубопроводи й арматура подачі миючого розчину і води виконується з матеріалу, корозійностійкого у лужному середовищі (рос. – в щелочной среде) і воді.

Миючий розчин подається по з'єднувальних рукавах 11 на вхід у КВТ і КНТ через спеціальні форсунки, об'єднані колекторами 1 і 2.

Приготування миючого розчину і промивання двигуна здійснюються відповідно до інструкції з експлуатації "Двигуни газотурбінні. Промивання проточної частини миючим розчином", а також відповідно до паспорту П71378000 LB "Установка для промивання двигуна".

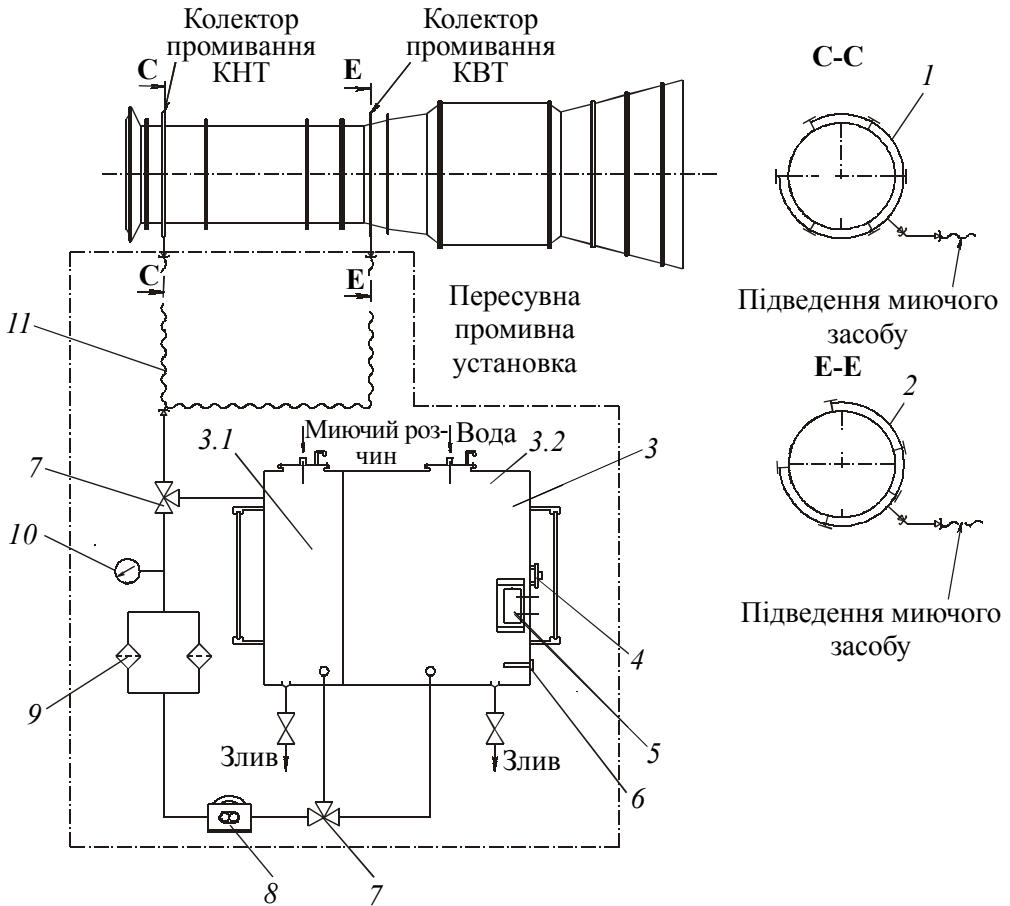


Рис. 52. Схема системи промивання двигуна

3.6. Система контролю загазованості

Система контролю загазованості призначена для захисту окремих приміщень кожної газотурбінної установки від аварійного виникнення вибухонебезпечної концентрації паливного газу шляхом формування сигналів датчиками газу при досягненні гранично-допустимих величин об'ємної концентрації газу в контрольованих приміщеннях. Сигнали надходять (рис. 53, а, б) у систему автоматичного керування кожної газотурбінної установки, яка виробляє команди на включення штатної вентиляції або запуску алгоритму аварійної зупинки ГТД.

Джерелом загазованості можуть бути порушення герметичності обладнання системи подачі паливного газу в ГТД, устаткування, розташованого в блоці паливних агрегатів, трубопроводів газу.

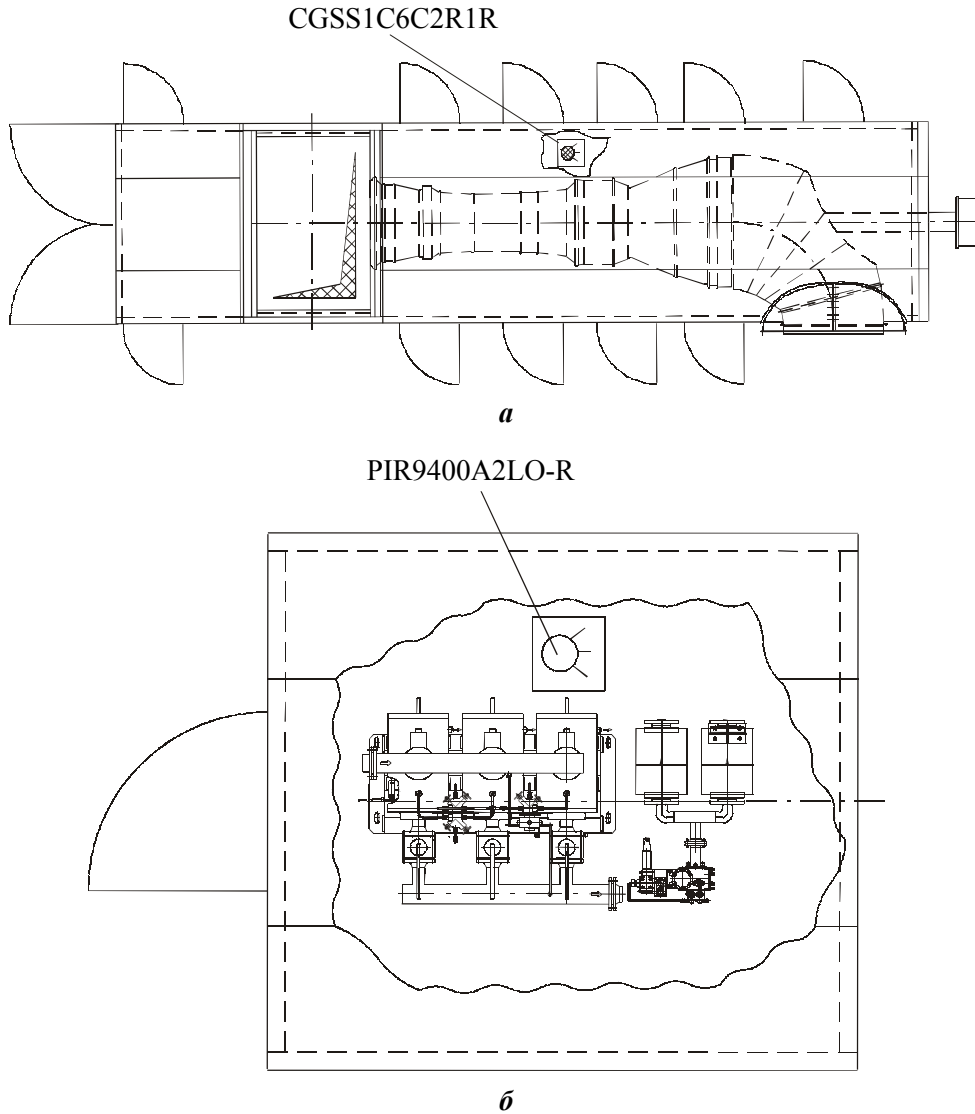


Рис. 53. Схема контролю загазованості:

a – відсіку газотурбінного двигуна; *б* – приміщення блока паливних агрегатів

Контроль концентрації газу у відсіку ГТД забезпечує високотемпературний каталітичний датчик виявлення природного газу CGSS1C6C2R1R, у блоці паливних агрегатів – детектор газу PIR 9400A2LO-R. Датчики виявлення природного газу розміщуються в місці найбільшої ймовірності скуп-

чення газу, не нижче ніж 300 мм від верху захищеного об'єму (тобто від стелі контейнера ГТД, від стелі приміщення БПА).

При досягненні об'ємної концентрації природного газу 0,5 % (газ містить 98 % метану) забезпечується формування попереджувального сигналу черговому оператору та автоматичне включення штатної вентиляції контейнера ГТД і БПА.

При досягненні об'ємної концентрації природного газу 1 % забезпечується аварійна зупинка ГТД і відключення електроживлення технологічного устаткування (електродвигунів насосів, нагрівників, світильників, електромагнітів, електростартерів ГТД, блока запалювання запальників та ін.).

3.7. Система вентиляції блока газотурбінного двигуна

Система вентиляції блока ГТД забезпечує вентиляцію відсіків блока ГТД, рівномірний розподіл охолодженого повітря та підтримку температури й об'ємної концентрації паливного газу в заданих межах.

Система вентиляції (рис. 54) складається з електровентиляторів VM01, VM03, VM02 (основний), VM04 (резервний); термоперетворювачів опору VT010, VT020, VT030; електричних клапанів VH01 (VH03), VH02 (VH04), VH05, VH06, VH07; вентиляційних трактів. Термоперетворювачі опору призначені для вимірювання температури повітря.

Режим роботи системи вентиляції відсіку ГТД при працюючому ГТД наступний:

вентилятори VM01, VM03, VM02 (VM04) працюють постійно;

при досягненні температури повітря 90 °С у відсіку ГТД вмикається попереджувальна сигналізація, відкривається електричний клапан VH04 (VH02), вмикається резервний вентилятор VM04 (VM02);

при зниженні температури повітря нижче ніж 50 °С у відсіку ГТД вмикається вентилятор VM04 (VM02) і закривається клапан VH04 (VH02). При досягненні температури повітря 100 °С у відсіку ГТД вмикається обмежувальний захист, а при 110 °С – ГТД аварійно зупиняється.

При непрацюючому ГТД вентилятори VM01, VM03, VM02 (VM04) вмикаються при досягненні 0,5%-ї об'ємної концентрації паливного газу у відсіку ГТД, незалежно від температури, при цьому електричні клапани VH01, VH03, VH02 (VH04), VH05 відкриті.

Вентилятори вмикаються через п'ять хвилин після зниження об'ємної концентрації паливного газу нижче за 0,5 %, а електричні клапани VH01, VH03, VH02 (VH04), VH05 закриваються. При відмові вентилятора VM02 (VM04) вмикається резервний вентилятор VM04 (VM02), а при відмові VM01, VM03 – вмикається обмежувальний захист ГТД.

При досягненні температури повітря 35 °С у відсіку маслблока клапани VH06, VH07 відкриваються, а при зниженні температури повітря до 20 °С – закриваються.

При виникненні пожежі передбачена аварійна зупинка ГТД із вимиканням усіх вентиляторів і закриттям усіх клапанів.

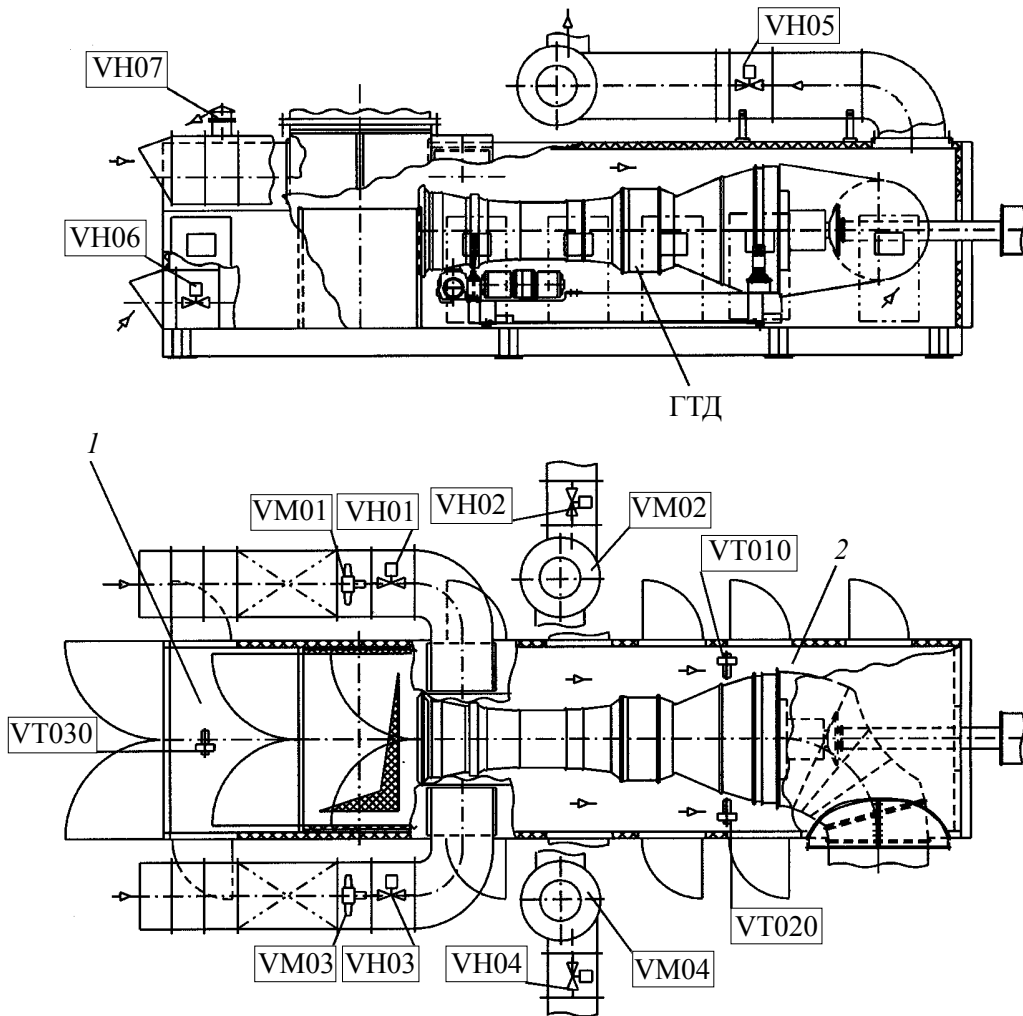


Рис. 54. Система вентиляції блока газотурбінного двигуна:

1 – відсік маслблока; 2 – відсік двигуна

3.8. Система пожежного захисту газотурбінної установки

Протипожежна безпека газотурбінної установки (ГТУ) відповідає "Нормам пожежної безпеки" 88–2001.

Система пожежного захисту ГТУ – автоматична, об'ємна газова, призначена для автоматичного гасіння пожежі (рис. 55), що виникла у блоках ГТУ (відсік ГТД, укриття турбогенератора, блок паливних агрегатів, відсік

маслоблока ГТД і статор турбогенератора) при спрацьовуванні пожежної сигналізації.

Як газовий вогнегасний склад (ГВС) застосовується двоокис вуглецю CO_2 – рідкий за ДСТ 8050–85, який міститься у балонах типу 40–150У за ДСТ 949–73 і при спрацьовуванні системи заповнює захищені замкнуті приміщення (відсіки); ГВС основного і 100%-го резервного зарядів зберігається в балонах високого тиску, оснащених запірними головками з електричним і ручним керуванням початком випуску ГВС.

Заряд ГВС, який зберігається у штатних балонах для найбільшого захищеного приміщення, може бути використаний як резерв ГВС для негайного використання в одному з аварійних менших приміщень.

Трубопроводи підведення газового вогнегасного складу у відсік ГТД виконані за триколекторною схемою: перший і другий колектори – труби діаметром 14,0×1,2 із двома насадками кожна, розташовані вздовж осі ГТД; третій (відгалуження від магістрального трубопроводу підведення ГВС діаметром 22,0×1,2) – труба діаметром 8,0×1,2 з одним отвором діаметром 4 мм для підведення ГВС в опорний вінець турбіни.

Трубопроводи підведення ГВС у приміщення турбогенератора виконані за триколекторною схемою: перший і третій колектори – труби діаметром 22,0×1,2 (відгалуження від магістрального трубопроводу підведення ГВС діаметром 32,0×1,8) із сімома насадками кожна, розташовані вздовж осі по різні сторони від турбогенератора; другий – труба діаметром 22,0×1,2 (відгалуження від магістрального трубопроводу підведення ГВС діаметром 32,0×1,8) із шістьма насадками, розташована вздовж осі по центру турбогенератора.

Передбачено окремий трубопровід діаметром $1\frac{1}{4}$ дюйма, по якому здійснюється підведення ГВС у статор турбогенератора. Трубопровід підведення ГВС у приміщення блока паливних агрегатів виконаний як один колектор – труба діаметром 14,0×1,2 з однією насадкою. Технічне виконання трубопроводу ГВС у відсік маслоблока ГТД таке ж, як і в блоці паливних агрегатів.

Кількість ГВС і час його випуску в захищені приміщення визначені відповідно до НПБ 26–2000 і розрахунків для кожного захищеного приміщення.

Кількість балонів (по 25 кг газового вогнегасного складу в кожному) і час подачі ГВС є такими: для відсіку ГТД – 3 балони, $t = 60$ с; для укриття турбогенератора – 13, $t = 70$ с; для блока паливних агрегатів – 1, $t = 60$ с; для відсіку маслоблока ГТД – 1, $t = 60$ с; для статора генератора – 10, $t \leq 120$ с. Максимальний тиск у балонах вогнегасної речовини складає 5,8 МПа, або 58 кг/см^2 .

Вогнегасна речовина подається з тридцятисекундною затримкою після формування світлового і звукового сигналів: *автоматично* – за сигналами від двох пожежних оповіщувачів (рос. – оповещателей) і при закритих дверях у захищеному приміщенні; *дистанційно* – за командою оператора з пульта керування незалежно від наявності сигналу пожежних оповіщувачів; *обслуговуючим персоналом* – вручну, одночасно з усіх балонів, призначених для даного захищеного приміщення.

Система комплектується датчиками виявлення вогню, датчиками граничної температури і диму, ручними оповіщувачами, датчиками закритого положення вхідних дверей, приладами звукової і світлової сигналізації, датчиками тиску ГВС, що надходить з розшифровкою за приміщеннями.

Після проходження команди "Пожежа" ГВС транспортується по трубопроводах системи у захищене приміщення і розпиляється через спеціальні насадки.

При спрацьовуванні системи пожежогасіння передбачена аварійна зупинка ГТД, автоматичне відключення системи вентиляції і технологічного устаткування. Двері до захищеного приміщення повинні бути закриті (сигнали від кінцевих вимикачів). Автоматична система пожежного захисту автономна і функціонує цілодобово незалежно від САК двигуна.

При виникненні пожежі у захищеному приміщенні пожежні оповіщувачі виявляють дію контрольованого фактора і подають сигнал в САК системи пожежогасіння. При цьому для автоматичного пуску системи пожежогасіння повинні спрацювати не менше ніж два або комбінація з будь-яких двох типів оповіщувачів для виключення хибного запуску.

На автоматичному режимі САК видає команди на аварійну зупинку ГТД, відключення вентиляції й енергопостачання захищуваних приміщень, запуску прилади звукового і світлового оповіщення, а після 30 с затримки видає команду на початок випуску основного заряду ГВС (шляхом підриву піропатронів на запірно-пускових пристроях з електричним пуском розподільників і необхідної групи балонів з CO_2).

Проходження ГВС у потрібне приміщення контролюється сигналізатором тиску, що здійснює зворотний зв'язок з постом постійного перебування обслуговуючого персоналу. Якщо проходження основного заряду не підтверджене сигналізатором тиску, то САК через 10 с дасть команду на випуск резервного заряду.

За необхідності, після оцінки ситуації черговим оператором, можна використовувати для повторного пуску штатний заряд CO_2 неаварійного приміщення за допомогою дистанційного пуску. Вхід у приміщення обслуговуючого персоналу, в якому спрацювала система газового пожежогасіння, можливий тільки із захистом органів дихання і після ретельного провітрювання.

3.9. Електроустаткування газотурбінної установки

Призначення електроустаткування. Електроустаткування ГТУ разом з електронною системою автоматичного керування здійснює: контроль готовності ГТД до пуску, до холодного або технологічного прокручування; запуск і зупинку ГТД; підтримку заданого режиму роботи виробу; переведення двигуна з одного режиму роботи на інший; контроль готовності ГТД до консервації або розконсервації паливної апаратури; контроль справності електричних кіл; автоматичне керування агрегатами при пуску, на робочому режимі, при нормальній або аварійній зупинках; *забезпечує* роботу агрегатів з електроприводом (електростартерів, електромаслонасосів і т. д.), роботу виконавчих механізмів, контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматичного керування, а також забезпечує аварійний або обмежувальний захист двигуна.

Примітка. При вивченні електроустаткування необхідно керуватися технічними описами й інструкціями з експлуатації комплектуючих агрегатів. Склад електроустаткування, взаємні зв'язки елементів системи автоматичного керування зображені на електричних схемах у відомості експлуатаційних документів на газотурбінну установку.

Склад електроустаткування. Електроустаткування ГТУ складається з агрегатів з електроприводом, виконавчих механізмів, датчиків, контрольно-вимірювальних приладів, установлених на двигуні, у паливному блоці, маслоблоці двигуна, а також приладів і пристроїв, установлених на об'єкті. До складу електроустаткування блока двигуна входять агрегати, датчики, з'єднувальні коробки, пристрої, розташовані на двигуні, у приміщенні ГТД і зовні блока двигуна.

На двигуні розміщені:

сигналізатори наявності стружки в маслі: на зливі з нижньої коробки приводів LS010; на зливі з перехідника LS020; на зливі з заднього корпусу КВТ LS030; на зливі з опорних вінців ТНТ LS040 і ТГ LS050; на зливі з переднього корпусу КНТ LS060. Сигналізатори стружки підключаються через з'єднувач XLS у САК;

електростартери ER01, ER02, ER03;

маслонасоси нагнітання LM01 і відкачування LM02;

термоелектричні перетворювачі вимірювання температури повітря за КНТ (ЕТ140, ЕТ150), що підключаються через з'єднувач ХЕТ2 у САК;

термоелектричні перетворювачі вимірювання температури газу за ТНТ (ЕТ230... ЕТ380 – 16 шт.), що підключаються через з'єднувач ХЕТ1 у САК;

система плазмового запалювання СПВ-2-4В (містить у собі свічки FE01 і FE02 та блок живлення FE013);

сигналізатори положення ВНА (ЕК010 та ЕК020), що підключаються в САК через з'єднувач ХЕСС;

сигналізатори тиску повітря РР050, РР060, РР070;

сигналізатори положення клапанів стравлювання повітря за шостим ступенем КНТ (РК010 та РК020), що підключаються через з'єднувач ХЕСС у САК;

клапан стравлювання повітря за шостим ступенем КНТ РН01;

клапан наповнення РН02 та електромагнітний клапан перепуску повітря РН03 за п'ятим ступенем КВТ;

клапан перепуску повітря РН04 за КНТ;

клапани перепуску повітря за КВТ (РН05 та РН06), що передають сигнали в систему керування через з'єднувальну коробку ХН;

датчики частоти обертання КНТ (ЕН110 та ЕН120);

датчики частоти обертання КВТ (ЕН210 та ЕН220);

датчики частоти обертання ТГ (ЕН310, ЕН320 та ЕН350). Датчики через коробку з'єднувальну ХЕН1, ХЕН2 видають сигнал у САК, а також на ОРТ, установлений у шафі автоматики в блоці генератора;

термоперетворювач опору вимірювання температури масла: на зливі з перехідника LT020; на зливі із заднього корпусу КВТ LT030; на зливі з опорних вінців ТНТ LT040 і ТГ LT050. Термоперетворювачі опору підключені в САК через з'єднувачі XLT020...XLT050, XLT;

система віброконтролю СВКА 1-03.04/01 складається з датчиків вібрації КНТ (ЕВ010), КЗ (ЕВ020), ТНТ(ЕВ030), сигнали від яких через електронні блоки ЕВ019, ЕВ029 та ЕВ039 передаються в САК.

Блок ГТД оснащений системами вентиляції, освітлення й опалення.

Система **вентиляції** містить:

електровентилятори VM02, VM04 з живленням від щита ~ 380 В;

засувки VH02, VH04 з живленням від щита ~ 380 В, які з'єднані з САК через з'єднувальні коробки XVHM2, XVHM4;

засувку VH05, що живиться від щита ~ 380 В і одержує сигнал із САК через коробку XVH05;

вентилятори VM01, VM02, що живляться від щита ~ 380 В і зв'язані із САК через коробки XVHM1, XVHM3;

термоперетворювачі опору VT010 і VT020, які розташовані у відсіку двигуна і подають сигнал у САК через з'єднувальну коробку XVT10.

Система **освітлення** блока ГТД містить лампи EL1...EL6 (основні) та ELA1 (аварійні), перемикачі ХЕ1, ХЕ2 – у відсіку двигуна; EL11...EL14 з перемикачем ХЕ3 – у відсіку маслоблока. У відсіку маслоблока також установлений штепсель-трансформатор TV1/XS1 для переносного освітлення, живлення якого здійснюється від щита ~ 380 В через з'єднувальну коробку ХЕК1.

Система *опалення* блока ГТД складається з нагрівників (з живленням від щита ~ 380 В) відсіку двигуна VED1, VED2 з термометром VT10 (видає сигнал у шафу автоматики) і відсіку маслоблока VED3 із термометром VT20 вимірювання температури повітря у маслоблоці.

У відсіку *маслоблока* розміщені:

сигналізатори тиску масла на вході в двигун LP050 (аварійна зупинка) і LP060 (обмежувальний захист);

сигналізатори тиску масла на лінії відкачування за електронасосом (аварійна зупинка на запуску) LP070;

сигналізатор перепаду тисків масла на фільтрі LP100;

датчики тиску масла на вході в двигун LP010, на лінії відкачування LP020;

датчик перепаду тисків між порожниною КНТ і МВБ LP110;

датчик тиску в розвантажувальній порожнині КНТ EP050.

Сигналізатори LP050, LP060, LP070, LP100 видають сигнали в САК через з'єднувач XLP1. Датчики LP010, LP020, LP110, EP050 зведені у з'єднувачі XLP2, від якого йде сигнал у САК.

У *приладовому щиті* розміщені:

перетворювачі тиску повітря за КВТ FP010 та FP050;

сигналізатори перепаду тиску на форсунках першого FP070 і другого FP080 каналів, що видають сигнали в САК через коробку КСДД1;

перетворювач тиску розрідження на вході в ГТД (за КПОП) EP010, що видає через з'єднувальну коробку КСДД1 сигнал у САК.

На *корпусі маслоблока* розміщені:

нагрівник масла LE01 з живленням від щита ~ 220 В;

електромаслонасос відкачування масла LM03 з живленням від щита ~ 380 В;

сигналізатор перепаду тисків масла за LM03 (відключає маслонасос при закритому виході);

термоперетворювач опору LT010 (на вході в ГТД) і LT060 (на виході з ГТД), підключені через з'єднувач XLT1 у САК.

Вентиляція у відсіку маслоблока – природна витяжна, здійснюється через відкриття (закриття) клапанів вентиляції VH06, VH07 (живлення від щита ~ 380 В, зв'язок із САК здійснюється через з'єднувачі 1XVH6, 1XVH7 та з'єднувальну коробку XVH07). Замірювання температури повітря у відсіку маслоблока виконує термоперетворювач опору VT030, який видає сигнал через з'єднувач XVT30.

У *блоці паливної апаратури* знаходяться:

регулюючі клапани "Amot" першого FA01 і другого FA02 каналів, які дозують подачу палива, що забезпечує розгін двигуна до режиму "холостий

хід" двигуна і далі – до режиму "холостий хід" генератора. Клапани зв'язані із САК через блоки керування FA013, FA023;

електромагнітний клапан відкриття стоп-крана FH01;

електромагнітний клапан аварійної зупинки FH02;

електромагнітний клапан пускового газу FH04;

сигналізатор перепаду тисків газу на фільтрі FP090, що входить у блок фільтрації паливного газу;

сигналізатор (датчик) положення стоп-крана (ДПСК) FH01, FH02, FH04, FP90, ДПСК (зв'язані із САК через з'єднувальну коробку КЗПА);

перетворювачі тиску газу за регулюючим клапаном FA01 (FP020), на вході в регулюючі клапани FP030, за регулюючим клапаном FA02 (FP040). Перетворювачі тиску паливного газу зведені у з'єднувальну коробку КЗДД2, з якої сигнали надходять у САК.

Приміщення БПА оснащено системою освітлення, що містить лампи освітлення EL47...EL50 (основне), ELA5 (аварійне). Живлення здійснюється через з'єднувальну коробку ХЕК2. Основне освітлення включається перемикачами ХЕ8 та ХЕ9.

Система опалення БПА складається з двох нагрівників VED5, VED6 з термометром VT30, що видає сигнал у шафу автоматики на регулятор температури РТ30. Живлення нагрівників здійснюється від щита ~ 380 В.

Система вентиляції БПА містить електровентилятор VM22, засувки VH21, VH22, термометри VT210, VT220 вимірювання температури повітря у БПА. Живлення вентилятора і засувок, а також зв'язок із САК здійснюються через з'єднувальну коробку XVHM5.

4. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

4.1. Загальні питання керування газотурбінним двигуном

Газотурбінна енергетична установка залежно від навантаження працює на різних режимах. Кожному режиму роботи відповідає певна сукупність параметрів, що характеризує робочий процес ГТД. До цих параметрів належать витрата газу (повітря), його температура й тиск, частоти обертання валів турбін і компресорів. Знаючи ці параметри, можна визначити потужність ГТД N_e , яка найчастіше використовується як характеристика режиму його роботи.

Газотурбінний двигун може розвивати повну потужність, на яку він розрахований при заданих температурі й тиску зовнішнього повітря. Ця потужність називається розрахунковою, або номінальною, і позначається як N_e . Знижені навантаження забезпечуються роботою ГТД на режимах часткових навантажень, тобто знижених потужностей: наприклад, $0,9N_e$, $0,8N_e$, $0,7N_e$.

Зі збільшенням потужності ГТД зростає напруженість роботи його елементів, що вимагає введення обмеження на витрачання ресурсу щодо окремих режимів. Як правило, до таких режимів належать:

режим номінальної потужності $1,0N_e$ (діапазон потужностей понад $0,8$ до $1,0N_e$);

режим потужності $0,8N_e$ (діапазон потужностей понад $0,6$ до $0,8N_e$);

режим потужності $0,6N_e$ (діапазон потужностей від $0,6N_e$ і нижче).

Зазвичай обмежується ресурс номінальної потужності й потужності $0,8N_e$. На режимі потужності менше $0,6N_e$ витрата ресурсу, як правило, не обмежується в межах загального ресурсу.

Кожному значенню потужності ГТД відповідають певні значення частот обертання роторів ТКНТ, ТКВТ і ТГ. Потужність ГТД обмежується частотою обертання ротора ТКВТ. Потужність ГТД і допустима частота обертання ротора ТКВТ визначаються за графіком, наведеним у формулярі ГТД.

Керування ГЕУ здійснюється з основного або запасного пульта керування спеціально навченим оператором, який має офіційний допуск до керування й обслуговування ГЕУ даного типу, в строгій відповідності до інструкції з експлуатації установки. Керування ГЕУ здійснюється вибором відповідних команд (натисненням відповідних клавiш) на ПК. Система автоматичного керування дозволяє оператору сформулювати необхідну команду, одержувати постійно оновлювану інформацію про стан установки у вигляді індикації положення запірної арматури і виконавчих механізмів та систем ГЕУ, а також про значення всіх параметрів у вигляді цифрових табло.

Для автоматичного регулювання, керування, захисту і контролю ГТД використовується мікропроцесорна система автоматичного керування і регулювання на базі програмно-технічних засобів "Series 4" фірми "Compressor Controls Corporation". Чітке дотримання вимог інструкції з експлуатації є обов'язковою умовою, за якої гарантується надійна і безаварійна робота двигуна.

Облік напрацювання, кількість запусків і холодних прокручувань, проведенних робіт з технічного обслуговування, ремонтів, регулювань та інших даних щодо експлуатації двигуна ведеться в експлуатаційному журналі й відповідних розділах формуляра двигуна.

Забороняється експлуатація двигуна в умовах і при параметрах, що відрізняються від вказаних в інструкції з експлуатації та формулярі на двигун. Усі параметри двигуна та умови експлуатації двигуна повинні відповідати вимогам ГОСТ 28775–90 і ТУ У 3.01-14307498-170–97.

4.2. Вказівки заходів безпеки

При експлуатації та обслуговуванні двигуна, під час монтажу і пуско-налагоджувальних робіт двигуна необхідно керуватися інструкцією та положеннями "Правил техніки безпеки на магістральних газопроводах", "Правил техніки безпеки при виробництві монтажних і пуско-налагоджувальних робіт на магістральних газопроводах", "Правил техніки безпеки при вантажопідйомних роботах", а також вимогами наступних нормативних документів: ГОСТ 12.1.003–83, ГОСТ 12.1.004–91, ГОСТ 12.1.012–90, ГОСТ 12.1.030–81, ГОСТ 12.1.038–82, ГОСТ 12.2.003–91, ГОСТ 12.2.040–79, ГОСТ 12.2.026–76.

Не можна допускати до роботи осіб, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки і не мають посвідчення на право обслуговування ГЕУ. При проведенні всіх видів робіт і технічного обслуговування непрацюючого двигуна треба виключити можливість подачі електроенергії на електроустаткування, а на арматурі й пускових пристроях установити таблички "НЕ ВМИКАТИ", "ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ". При огляді шахти забору повітря КПОП, ТГ і газовідводу через газовихлоп необхідно передбачити заходи, що виключають запуск двигуна або холодне прокручування. Обслуговуючому персоналу слід забезпечити страховку.

Усі роботи на двигуні необхідно проводити тільки після перевірки загазованості в місцях виконання робіт. Гранично-допустима величина концентрації шкідливих речовин не повинна перевищувати норм, установлених ГОСТ 12.1.005–88.

За необхідності використання переносного освітлення треба застосовувати освітлювальні засоби напругою не більше 12 В у вибухобезпечному виконанні. При виконанні робіт, пов'язаних з технічним обслуговуванням

двигуна, необхідно використовувати спеціальний інструмент і пристосування, що поставляються в комплекті з ГТД. При огляді працюючого двигуна слід застосовувати індивідуальні засоби захисту від шуму.

Забороняється при працюючому двигуні відкривати двері й входити у КПОП. Категорично забороняється залишати в шахті забору повітря, газовідводі, на двигуні й комунікаціях двигуна інструмент та інші сторонні предмети.

Для робіт, пов'язаних з консервацією або промивкою двигуна, необхідно використовувати окремий спецодяг, який слід зберігати в спеціальних шафах. При роботі зі змащувальними матеріалами й миючими засобами треба дотримуватися вимог безпеки, вказаних у технічних умовах і стандартах на вживаний сорт. При приготуванні миючого розчину для промивки проточної частини двигуна з використанням миючого засобу "Синвал" рекомендуються захист органів зору і відкритих частин тіла, виконання загальних правил техніки безпеки та особистої гігієни відповідно до ГОСТ 12.4.103–83. Забороняється запуск і робота ГТД із відкритими дверима контейнера двигуна.

У складі ГЕУ передбачена автоматична система пожежогасіння і контролю загазованості (АСПіКЗ) для контролю загазованості, а також для попередження про пожежу і гасіння пожежі в контейнері ГТД, БПА та генератора як при працюючій, так і непрацюючій ГЕУ. При несправності датчиків контролю загазованості, датчиків пожежі, ланцюгів виконавчих механізмів і самої АСПіКЗ система виконує попереджувальну сигналізацію та видає сигнал "НЕСПРАВНІСТЬ" у САК двигуна. Забороняється експлуатація ГЕУ при несправній АСПіКЗ.

За сигналом високої концентрації газу в контейнері двигуна АСПіКЗ виконує наступне:

- попереджувальну сигналізацію;

- вмикає основний і резервний вентилятори охолодження двигуна (ВОД), якщо немає сигналу про пожежу;

- видає сигнал про високий рівень загазованості в САК двигуна.

За сигналом аварійної концентрації газу в контейнері двигуна АСПіКЗ виконує:

- аварійну сигналізацію;

- вмикає основний і резервний ВОД, якщо немає сигналу про пожежу;

- видає сигнал про аварійний рівень загазованості в САК двигуна.

При появі попереджувального сигналу про підвищення температури повітря в контейнері двигуна або зниженні режиму до ХХ із цієї ж причини необхідно перевірити правильність підготовки до роботи і включення в роботу необхідної кількості ВОД. При подальшому зростанні температури і досягненні вказаної межі слід проконтролювати за допомогою індикації АСПіКЗ відпрацювання алгоритму гасіння пожежі й видачу команди САК

повідомлення про пожежу в контейнері ГТД, аварійну зупинку двигуна і відключення ВОД. Через 30 с після видачі повідомлення про пожежу в контейнері ГТД і якщо немає команди на відключення системи пожежогасіння видається команда на подачу вогнегасильної речовини в контейнер ГТД. Входити в контейнер ГТД без застосування ізолюючого протигазу після спрацьовування системи пожежогасіння можна тільки після ретельного провітрювання контейнера і перевірки його загазованості. Після усунення пожежі в контейнері двигуна питання про можливість подальшої експлуатації ГТД вирішується спільно з підприємством-постачальником двигуна.

4.3. Основні експлуатаційні характеристики газотурбінного двигуна

Під основними експлуатаційними характеристиками ГТД розуміється взаємозв'язок параметрів, що характеризують ГТД у складі енергетичної установки: потужності, витрати палива, частоти обертання контурів і температури газу (навантаження ГТД або його ресурс).

Умови роботи ГТД на об'єкті характеризуються рядом експлуатаційних чинників, які необхідно враховувати, щоб уникнути невідновного в умовах об'єкта погіршення його техніко-економічних показників.

До експлуатаційних чинників, що впливають на характеристики ГТД (ГЕУ), належать атмосферні умови і зміни геометрії проточної частини, пов'язані з експлуатацією.

Вплив атмосферних умов. Коливання температури зовнішнього повітря залежно від пори року, доби і географічного району здійснюють помітний вплив на роботу ГТД. Підвищення температури повітря призводить до зниження потужності. Це відбувається внаслідок зменшення масової продуктивності компресора через зниження густини повітря. Крім того, зростання температури зовнішнього повітря збільшує потрібну роботу стиснення, що викликає зменшення корисної роботи і ККД двигуна.

Атмосферний тиск змінюється в умовах експлуатації ГТД у межах 5 %, тому несуттєво впливає на його експлуатаційні характеристики. Збільшення тиску приводить до зростання потужності ГТД у результаті підвищення масової кількості повітря, а питома витрата палива практично не змінюється.

Відносна вологість повітря залежно від району дії об'єкта і стану атмосфери при експлуатації може знаходитися в межах 40...100 %. Проте зміна вологості повітря суттєво не впливає на потужність ГТД.

Тому у формулярах на двигуни наводяться графічні залежності, що характеризують зміну основних параметрів ГТД залежно від величини температури повітря на вході в ГТД.

Вплив зміни геометрії проточної частини двигуна. Геометрія проточної частини ГТД у процесі експлуатації може змінюватися внаслідок забруднення промисловими аерозолями, продуктами згоряння палива, зносу,

викривлення корпусів і діафрагм, а також пошкодження лопаткового апарата сторонніми предметами.

Забруднення проточної частини й утворення відкладень на лопатках компресорів і турбін призводить до спотворення їх характеристик та зменшення ККД. Знос проточної частини ГТД найбільше відбувається у турбінній частині. Суттєво впливає на зміну характеристик вузлів ГТД зміна радіальних зазорів і ущільнень діафрагм унаслідок зносу та викривлення корпусів зі збільшенням напрацювання.

Зміна геометрії проточної частини ГТД унаслідок дії вищеперерахованих чинників викликає погіршення експлуатаційних характеристик ГТД, що виявляється в спаді потужності, збільшенні витрати палива, зростанні температури газів перед турбіною і зниженні запасів стійкості компресорів проти помпажу.

У процесі експлуатації контроль стану проточної частини ГТД проводиться за параметрами, що заміряються побічно, але достовірно характеризують техніко-економічні показники ГТД. До цих параметрів належать: частота обертання КНТ ($n_{\text{КНТ}}$), частота обертання КВТ ($n_{\text{КВТ}}$), температура газу за ТНТ (t_{04}), тиск повітря за КВТ (P_2).

Для кожного ГТД залежності між цими параметрами встановлюються абсолютно строго. Вони наводяться у формулярі двигуна з урахуванням змін температури і тиску повітря на вході в ГТД. Збереження під час експлуатації цих залежностей гарантує нормальні умови роботи ГТД і забезпечує його техніко-економічні характеристики.

У разі забруднення проточної частини ГТД ці залежності порушуються внаслідок зменшення ККД компресорів і турбін, що призводить до зниження потужності, зростання температури газу й збільшення витрати палива. Контроль чистоти проточної частини ГТД, що експлуатується, дозволяє своєчасно за допомогою промивки відновлювати характеристики двигуна і підтримувати його техніко-економічні показники в початковому стані.

Для визначення чистоти проточної частини двигуна необхідно заміряти наступні параметри: частоту обертання КНТ ($n_{\text{КНТ зам}}$), частоту обертання КВТ ($n_{\text{КВТ зам}}$), температуру газу за ТНТ ($t_{04 зам}$), тиск повітря за КВТ ($P_{\text{КВТ зам}}$), температуру повітря на вході в двигун ($t_{\text{п.вх}}$), атмосферний тиск ($P_{\text{атм}}$).

Визначення величини зміни "ковзання" частот обертання КВТ і КНТ. Зміною "ковзання" частот обертання КВТ і КНТ називається різниця між розрахунковим (одержаним при стендових випробуваннях ГТД) та дійсним (отриманим під час експлуатації) "ковзаннями".

При $n_{\text{КВТ}} = \text{const}$ зміна "ковзання" визначається за формулою

$$\Delta n = n_{\text{КНТ зам}} - (n_{\text{КНТ форм}} + \Delta n_{\text{КНТ}}) \text{ с}^{-1} (\text{об/хв}),$$

де $n_{\text{КНТ зам}}$ – заміряна частота обертання КНТ; $n_{\text{КНТ форм}}$ – формулярна частота обертання КНТ, одержана з графіка $n_{\text{КНТ}} = f(n_{\text{КВТ}})$; $\Delta n_{\text{КНТ}}$ – величина відхи-

лення частоти обертання КНТ від формулярної, отримана при випробуванні ГТД на об'єкті, визначається за формулою $\Delta n_{\text{КНТ}} = n_{\text{КНТзам.об}} - n_{\text{КНТформ}}$ і вноситься до формуляра ГТД з відповідним знаком ($n_{\text{КНТзам.об}}$ – заміряне значення частоти обертання КНТ, одержане при випробуванні ГТД на об'єкті при першому виході на режим).

Графік залежності частоти обертання КНТ від частоти обертання КВТ для різних значень температури повітря на вході в ГТД знаходиться у формулярі ГТД. Приклад графіка наведений на рис. 56.

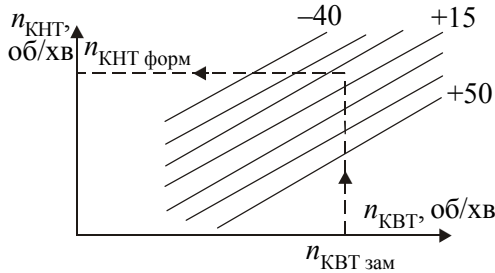


Рис. 56. Залежність частоти обертання компресора низького тиску від частоти обертання компресора високого тиску і температури повітря на вході в двигун

Зміна "ковзання" частот обертання КВТ і КНТ більше ніж на $\pm 3,3 \text{ с}^{-1}$ ($\pm 200 \text{ об/хв}$) свідчить про неприпустиме забруднення проточної частини ГТД і необхідність її промивки. Замір параметрів для визначення зміни "ковзання" треба проводити при положенні ВНА "+".

Визначення перевищення температури газів за ТНТ. У процесі експлуатації необхідно контролювати підвищення температури газів за ТНТ t_{04} у порівнянні з формулярним значенням, яке є основним показником погіршення якості проточної частини ГТД. Перевищення більше ніж на 25 град фактичного значення t_{04} у порівнянні з формулярним свідчить про неприпустиме забруднення проточної частини ГТД і необхідність її промивки. Визначати перевищення температури газів за ТНТ слід на режимах не нижче $0,5N_{\text{ном}}$.

Графік залежності температури газів за ТНТ від частоти обертання КВТ у всьому діапазоні температур повітря на вході в ГТД наведений у формулярі ГТД, приклад графіка $t_{04} = f(n_{\text{КВТ}})$ – на рис. 57.

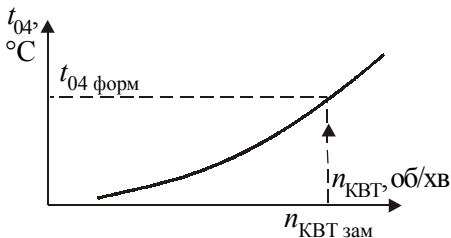


Рис. 57. Залежність температури газу за турбіною низького тиску від частоти обертання компресора високого тиску

Розрахунок виконується в наступному порядку:

за формулярним графіком (див. рис. 57) визначити температуру газів за ТНТ $t_{04\text{форм}}$, що відповідає чистій проточній частині ГТД; визначити перевищення температури газів за ТНТ за формулою

$$\Delta t_{04} = t_{04\text{зам}} - (t_{04\text{форм}} + \Delta t) \text{ град,}$$

де $t_{04\text{зам}}$ – фактично заміряне значення температури газів за ТНТ; Δt – величина відхилення температури газів за ТНТ від формулярного значення, одержана при випробуванні ГТД на об'єкті, визначається за формулою $\Delta t = t_{04\text{зам.об}} - t_{04\text{форм}}$ і вноситься до формуляра ГТД з відповідним знаком ($t_{04\text{зам.об}}$ – заміряне значення температури газів за ТНТ, одержане при випробуванні ГТД на об'єкті при першому виході на режим).

Визначення спаду тиску повітря за КВТ. На сталому режимі слід зафіксувати за приладами частоту обертання КВТ ($n_{\text{КВТ зам}}$), тиск повітря за КВТ ($P_{\text{КВТ зам}}^{\text{ст}}$), температуру повітря на вході в ГТД ($t_{\text{п.вх}}$) та барометричний тиск.

За графіком залежності тиску повітря за КВТ від частоти обертання КВТ при різних температурах повітря на вході в ГТД, наведеному у формулярі ГТД, необхідно визначити формулярне значення тиску повітря за КВТ ($P_{\text{КВТ форм}}^{\text{ст}}$).

Величину спаду тиску повітря за КВТ визначаємо за формулою

$$\Delta P_{\text{КВТ}}^{\text{ст}} = P_{\text{КВТ зам}}^{\text{ст}} - (P_{\text{КВТ форм}}^{\text{ст}} + \Delta P) \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)},$$

де ΔP – величина відхилення тиску повітря за КВТ від формулярного значення, отримана при випробуванні ГТД на об'єкті, визначається за формулою $\Delta P = P_{\text{КВТ зам.об}}^{\text{ст}} - P_{\text{КВТ форм}}^{\text{ст}}$ і вноситься до формуляра ГТД з відповідним знаком ($P_{\text{КВТ зам.об}}^{\text{ст}}$ – заміряне значення тиску повітря за КВТ, одержане при випробуванні ГТД на об'єкті при першому виході на режим).

Приклад визначення тиску повітря за КВТ при температурі повітря на вході в ГТД 298 К (25 °С) і барометричному тиску 720 мм рт. ст. наведений на рис. 58.

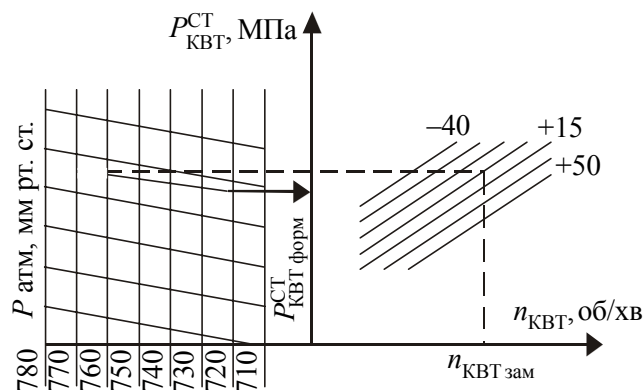


Рис. 58. Залежність тиску повітря за компресором високого тиску від частоти його обертання при різноманітних величинах температури повітря на вході в двигун і атмосферного тиску

Зниження тиску повітря за КВТ на 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) свідчить про втрату потужності на 5 %. При спаді тиску повітря за КВТ більше ніж на 0,1 МПа (1,0 кгс/см²) при першій же можливості слід провести промивку

проточної частини ГТД. Забір параметрів для визначення спаду тиску повітря за КВТ треба проводити при положенні ВНА "+". Одержані величини зміни параметрів порівнюються з допустимими, наведеними в інструкції з експлуатації ГТД (ГЕУ), і робиться висновок про можливість подальшої експлуатації двигуна або необхідність промивки проточної частини.

При експлуатації ГТД (ГЕУ) необхідно визначати фактичну потужність двигунів, щоб уникнути перевантажень у вузлах установки, які можуть досягати найвищих значень в області номінальних режимів.

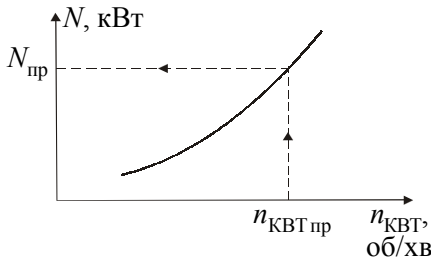
Для визначення фактичної потужності двигуна слід заміряти наступні параметри: частоту обертання КВТ ($n_{\text{КВТ зам}}$), температуру повітря на вході в двигун ($t_{\text{п.вх}}$), атмосферний тиск ($P_{\text{атм}}$).

Для визначення потужності двигуна за приведеною частотою обертання КВТ необхідно:

обчислити приведену частоту обертання КВТ за формулою

$$n_{\text{КВТ пр}} = n_{\text{КВТ зам}} \sqrt{\frac{288}{273 + t_{\text{п.вх}}}};$$

за приведеною частотою обертання КВТ, використовуючи графік залежності потужності від частоти обертання КВТ, наведений у формулярі двигуна, визначити приведену потужність двигуна ($N_{\text{пр}}$) (рис. 59);



обчислити фактичну потужність за формулою

$$N_{\phi} = N_{\text{пр}} \frac{P_{\text{атм}}}{760} \sqrt{\frac{273 + t_{\text{п.вх}}}{288}}.$$

Рис. 59. Залежність потужності від частоти обертання компресора високого тиску

Для визначення потужності двигуна за заміряними частотою обертання КВТ і температурою повітря на вході в двигун слід на сталому режимі зафіксувати температуру повітря на вході в ГТД ($t_{\text{п.вх}}$) і частоту обертання КВТ ($n_{\text{КВТ зам}}$).

Використовуючи графік $n_{\text{КВТ}} = f(t_{\text{п.вх}})$, наведений у формулярі ГТД (рис. 60), можна визначити потужність у наступній послідовності:

з точки, відповідної до заміряної температури повітря на вході в ГТД ($t_{\text{п.вх.зам}}$), провести вертикальну лінію;

з точки, відповідної до заміряної частоти обертання КВТ ($n_{\text{КВТ зам}}$), провести горизонтальну лінію до перетину з лінією температури;

визначити відносну потужність ГТД за формулою

$$\bar{N} = \frac{\bar{N}_1 \times l_2 + \bar{N}_2 \times l_1}{l_1 + l_2},$$

де \bar{N}_1 – постійна потужність, лінія якої знаходиться вище від точки 1; \bar{N}_2 – постійна потужність, лінія якої знаходиться нижче від точки 1; l_1 – відстань від точки 1 до лінії потужності \bar{N}_1 , мм; l_2 – відстань від точки 1 до лінії потужності \bar{N}_2 , мм;

визначити фактичну потужність за формулою

$$N_{\phi} = N_e \times \bar{N} = 25\bar{N} \text{ МВт},$$

де N_e – номінальна потужність.

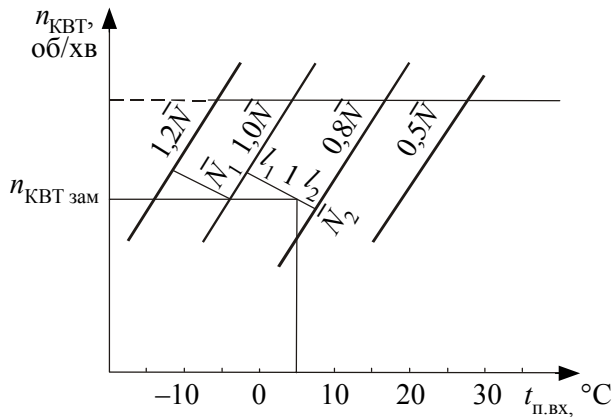


Рис. 60. Залежність частоти обертання компресора виского тиску від температури повітря на вході в двигун

Визначення попереджувальної та аварійної вставок за перевищенням рівня вібрації двигуна необхідно проводити або уточнювати під час пуско-налагоджувальних робіт на об'єкті й заносити в графу "Особливі відмітки" формуляра двигуна.

Величини відповідно попереджувальної та аварійної вставок визначаються таким чином:

$$П = a + 3 \text{ мм/с} < 20 \text{ мм/с}; A = v + 5 \text{ мм/с} < 26 \text{ мм/с},$$

де a – максимальний рівень вібрації (за будь-яким з трьох вібродатчиків) на режимі номінальної потужності установки; v – максимальний рівень вібрації у всьому діапазоні навантаження від холостого ходу до режиму максимальної потужності.

4.4. Підготовка газотурбінного двигуна до дії

Підготовка ГТД до дії виконується з метою приведення його в регламентований строк у стан, що забезпечує надійний пуск ГТД і подальшу безаварійну роботу. Вона повинна виконуватися в строгій відповідності до

інструкції з експлуатації ГТД. Підготовка ГТД до дії складається з приведення в готовність до пуску ГТД усіх допоміжних механізмів і систем, обслуговуючих ГТД, послідовного введення їх у дію та приведення в готовність до дії самого ГТД. Не дозволяється починати підготовку до дії ГТД із виявленими раніше, але неусуненими несправностями.

Загальні вказівки

Для змащення ГТД слід використовувати:

як основне – масло МС-8П ОСТ 38.01163–78 або масло ТП-22 ГОСТ 9972–74;

як дублюючий варіант – масло для судових газових турбін ГОСТ 10289–79 або ТП-22с ТУ 38.101.821–83.

Увага! Забороняється використання масел без паспорта. Перед кожною заправкою або дозаправкою масляної системи ГТД необхідно провести фізико-хімічний аналіз масел, що заправляються. При невідповідності характеристик масел до норм нормативно-технічної документації (НТД) їх використання забороняється.

Як паливо для ГТД слід застосовувати транспортований природний газ, що задовольняє вимогам ГОСТ 29328–92 і ГОСТ 5542–87. Газ має бути очищений від механічних домішок з тонкістю фільтрації не більше 10 мкм, з нього мають бути видалені волога і конденсат.

Температура паливного газу повинна бути в межах 293...333 К (20...60 °С), тиск паливного газу – $3,00 \pm 0,05$ МПа ($30,0 \pm 0,5$ кгс/см²).

Запуск ГТД забороняється при наступному:

неусунених до моменту пуску дефектах, незавершених монтажних або регламентних роботах;

несправності хоча б одного із захистів ГТД;

пошкодженні або ослабленні кріплення чи контрєння окремих елементів і вузлів ГТД;

несправності контрольно-вимірювальних приладів (КВП), непроведеній у строк їх переатестації або виробленні ними встановленого ресурсу;

пошкоджених оболонках кабелів або зниженні опору ізоляції електричних ланцюгів й окремих агрегатів нижче за допустимі значення;

забруднених масляних фільтрах (МФ);

виявлених витоків газу або загазованості в блоці турбоагрегата вище за допустиму норму;

відхиленні параметрів паливного газу від вимог НТД;

несправності хоча б однієї із систем, що забезпечують роботу і захист ГТД;

неусуненому до моменту запуску відхиленні хоча б одного з параметрів від норм, вказаних у табл. 1.

Усі операції з підготовки ГТД до роботи необхідно фіксувати в добовій відомості й журналі змінного інженера.

Таблиця 1. Параметри роботи газотурбінного двигуна

Найменування параметра	Одиниці вимірювання	Режими		Примітка
		XX	1,0 N _e	
Тиск паливного газу	МПа (кгс/см ²)	3,05 ± 0,05 (30 ± 0,5)	3,05 ± 0,05 (30 ± 0,5)	–
Частота обертання:				
КНТ	с ⁻¹ (об/хв)	54...68 (2700...3400)	(7500)	За формуляром ГТД
КВТ		116...120 (5800...6000)	(9200)	
ТГ, не більше		42...46 (2100...2300)	50,0 (3000)	Аварійна настройка 71,0 (3550)
Температура газу за ТНТ, не більше	К (°С)	673 (400)	913 (640)	Аварійна настройка 943 (670)
Перепад тиску паливного газу на форсунках		0,018...0,025 (0,18...0,25)	Не більше 0,4 (4,0)	–
Тиск масла на вході в ГТД	МПа (кгс/см ²)	0,15...0,35 (1,5...3,5)	0,45...0,55 (4,5...5,5)	–
Тиск повітря у розвантажувальних порожнинах КНТ, КВТ		–	0,105...0,130 (1,05...1,30)	Заміряється на режимі 18,75 МВт
Температура масла:				
на вході в ГТД – для масла ТП-22 – для МС-8П		313...323 (40...50) 288...323 (15...50)		
на виході з ГТД, не більше		393 (120)		
на виході з перехідника, не більше		398 (125)		
на виході із заднього корпусу КВТ, не більше		398 (125)		
на виході з опорного вінця ТНТ, не більше		373 (100)		
на виході з опорного вінця ТГ, не більше		373 (100)		
Корпусна вібрація ГТД, не більше	мм/с		20	Аварійна настройка 26
Загазованість в укритті ГТД, не більше	% (СН)		1,0	
Перепад тиску на паливному фільтрі, не більше			0,15 ± 0,01	–
Перепад тиску на МФ, не більше	МПа		0,15 ± 0,01	

Порядок підготовчих операцій

1. Перевірити виконання всіх робіт з технічного обслуговування й усунення несправностей.
2. Підготувати до роботи КПОП згідно з інструкцією з експлуатації КПОП. Оглянути шахту забору повітря. Знаходження сторонніх предметів, вологи, бруду в шахті забору повітря і порушення цілісності захисної сітки на вхідному пристрої ГТД не допускаються.
3. Підготувати до роботи САК згідно з інструкцією з експлуатації цієї системи.
4. Підготувати і включити в роботу систему контролю загазованості.
5. Підготувати до дії систему пожежогашіння.
6. Увімкнути автомати споживачів змінного струму 220/380 В і постійного струму 24/27 В.
7. Підготувати до роботи електрогенератор і його системи.
8. Підготувати до роботи масляну систему ГТД і генератора. Перевірити відсутність сигналізації САК про мінімальний рівень масла у маслоцистернах циркуляційних двигуна й генератора (МЦД і МЦГ). Кількість масла у МЦД повинна бути 600...900 л, у МЦГ – 525...825 л. Перевірити за мірним склом кількість масла в МЦД і щупом у виносній коробці приводів електро-стартерів. У виносній коробці приводів кількість масла має скласти 3,5 л, що приблизно відповідає середньому рівню масла між нижньою і верхньою рисками щупа.
За потреби слід дозаправити МЦД, МЦГ і виносну коробку приводів до необхідного рівня. При дозаправці МЦД на непрацюючому двигуні необхідно врахувати кількість масла, що йде на заповнення систем і холодильників. Перед запуском ГТД температура масла на вході в двигун має бути не нижче 308 К (35 °С) при використанні для змащення ГТД масла ТП-22 або ТП-22с і не нижче 288 К (15 °С) – при використанні масла МС-8П або масла для судових газових турбін; за необхідності масло підігріти, ввімкнувши електронагрівач у МЦД. При цьому слід перемкнути систему перекачування масла на циркуляцію його в маслобаку і ввімкнути електромаслонасос перекачування. Рукоятка фільтра системи змащення двигуна повинна знаходитися в положенні 1 або 2.
9. Підготувати до роботи масляну систему електрогенератора.
10. Підготувати до роботи систему підготовки паливного газу станції, при цьому кран № 12 має бути закритий, а кран № 9 – відкритий.
11. Підготувати до роботи систему паливного газу двигуна, стоп-кран повинен бути закритий, клапани подачі газу на перетворювачі тиску – відкриті. Відкрити клапани підведення паливного газу до одного з вхідних фільтрів, клапани другого фільтра мають бути закриті. За командою оператора "ПІДГОТОВКА ГТД ДО ПУСКУ" САК видає сигнал на закриття клапанів регулюючих (КР) у систему автоматичного регулювання (САР).

12. Переконатися, що ВНА знаходиться в положенні "–10" за лімбом на двигуні. При іншому положенні лопаток ВНА запуск ГТД забороняється до усунення несправності системи керування ВНА.

13. Провести ручне прокручування роторів КНТ і КВТ за допомогою штатних спецключів. Ротори повинні обертатися легко, без заїдань і сторонніх шумів.

14. Після виконання перерахованих операцій, якщо є сигнал про справність технічних засобів САК і САР й оператором вибраний один з типів масла (є одна з команд "Масло – МС-8п" або "Масло – Тп-22"), система керування формує узагальнений сигнал "ГТД ГОТОВИЙ ДО ПУСКУ".

15. Провести холодне прокручування (ХП) двигуна згідно з підрозділом 4.5.

4.5. Холодне прокручування

Холодне прокручування полягає в повертанні ротора КНТ електро-стартерами. При цьому за рахунок створення повітряного потоку перевіряється ротор КВТ. Воно виконується в наступних випадках:

при нормальній підготовці до пуску;

за необхідності прослуховувати ротори ГТД і навішані агрегати при їх обертанні;

після аварійної зупинки для охолодження ГТД;

для видалення з проточної частини паливного газу у випадках невдалого запуску і відсутності горіння палива, а також після проведення робіт, пов'язаних з подачею паливного газу в проточну частину непрацюючого ГТД (продування);

для промивки проточної частини ГТД;

при консервації та розконсервації ГТД.

Тривалість ХП (170 або 900 с) вибирається оператором, окрім випадків, спеціально обумовлених інструкцією. Для проведення ХП необхідно подати живлення 380 В на коробки контакторів, 220В – на САК.

Після подачі оператором команди "ПІДГОТОВКА ГТД ДО ХП" САК видає сигнал на закриття КР і контролює:

наявність живлення стартерів 380 В;

наявність напруги живлення 24 В постійного струму після блоків живлення САК;

закрите положення СК;

рівень масла в циркуляційній цистерні, який повинен бути вище від мінімального;

температуру масла на вході в двигун, яка має бути не нижче 308 К (35 °С) при використанні для змащення ГТД масла ТП-22с і не нижче 288 К (15 °С) – при використанні масла МС-8п;

частоту обертання ротора КНТ, яка повинна бути нижче 5 с^{-1} (300 об/хв).

Після виконання перерахованих операцій, якщо є сигнал про справність технічних засобів САК і САР й оператором вибраний один з типів масла (є одна з команд "Масло – МС-8п" або "Масло – ТП-22с"), САК формує повідомлення "ГТД ГОТОВИЙ ХП".

Холодне прокручування ГТД виконується за командою оператора "ХП ГТД", якщо є повідомлення "ГТД ГОТОВИЙ ДО ХП". Час ХП задається оператором (170...900 с), за умовчанням – 170 с.

У процесі виконання ХП слід проконтролювати:

- появу повідомлення "ХП ГТД";
- увімкнення електромаслонасоса відкачування (ЕМНВ);
- увімкнення електромаслонасоса нагнітання (ЕМНН);
- почергове ввімкнення стартерів на 1-у швидкість;
- збільшення частоти обертання КНТ до $13,3...20,0 \text{ с}^{-1}$ (800...1200 об/хв);
- тиск масла на вході в ГТД при сталій частоті обертання КНТ, який має бути не менше 0,06 МПа (0,6 кгс/см²);
- відключення електростартерів на 170 с (або 900 с);
- зняття повідомлення "ХП ГТД" після зниження частоти обертання КНТ до 5 с^{-1} (300 об/хв);

відключення ЕМНН двигуна через 300 с після зниження частоти обертання ротора КНТ до $n_{\text{КНТ}} = 0$ об/хв;

відключення ЕМНВ двигуна через 300 с після зниження частоти обертання ротора КНТ до $n_{\text{КНТ}} = 0$ об/хв (відключення ЕМНВ блокується, якщо не відключений ЕМНН).

За необхідності проведення ХП відразу після зупинки двигуна допускається виконувати прокручування з вибігу, тобто при незупинених роторах, при цьому $n_{\text{КНТ}}$ не повинна перевищувати 5 с^{-1} (300 об/хв).

Процес ХП може бути перерваний автоматично за наступних умов:

- тиск масла на лінії ЕМНВ менше 0,02 МПа (0,2 кгс/см²) і закінчилися 10 с із моменту початку виконання програми ХП;
- короточасне зникнення живлення електростартерів;
- не пройшла команда на ввімкнення контактора прискорення через 4 с після ввімкнення будь-якого електростартера на 1-у швидкість;
- зниження тиску масла на вході в двигун або в системі відкачування нижче 0,02 МПа (0,2 кгс/см²);
- з'явився сигнал від кнопки аварійної зупинки (АЗ) ГТД.

При цьому САК виконує наступні операції:

- відключення електростартерів;
- відключення ЕМНН двигуна через 300 с після зниження частоти обертання ротора КНТ до $n_{\text{КНТ}} = 0$ об/хв;
- відключення ЕМНВ двигуна через 300 с після зниження частоти обертання ротора КНТ до $n_{\text{КНТ}} = 0$ об/хв (відключення ЕМНВ блокується, якщо не відключений ЕМНН).

Примітка. Відключення ЕМНВ і ЕМНН двигуна можливе за командами оператора, але не раніше ніж через 10 хв після відключення стартерів. При цьому відключення ЕМНВ блокується, якщо не відключений ЕМНН.

4.6. Запуск газотурбінного двигуна

Запуск ГТД необхідно здійснювати з пульта керування згідно з інструкцією ГТД, інструкцією з експлуатації генератора, систем станції та САК. Підготувати ГТД до запуску слід згідно з підрозділом 4.4, а також проконтролювати наявність сигналу "ГТД ГОТОВИЙ ДО ПУСКУ" .

Автоматичний пуск двигуна проводиться за командою оператора "ПУСК ГТД" за наявності повідомлення "ГТД ГОТОВИЙ ДО ПУСКУ". При цьому необхідно проконтролювати:

- появу повідомлення "ПУСК ГТД";
- зняття повідомлення "ГТД ГОТОВИЙ ДО ПУСКУ";
- увімкнення живлення ОРТ;
- увімкнення ЕМНВ і ЕМНН двигуна (ввімкнення ЕМНН блокується, якщо відключений ЕМНВ);
- увімкнення ЕМНГ;
- увімкнення електростартерів на 1-у та 2-у швидкості;
- при частоті обертання ротора КНТ більше від величини вставки $n_{\text{КНТ}} = 60 \text{ с}^{-1}$ (3600 об/хв) відключення ЕМНН, а потім і ЕМНВ двигуна;
- відкриття крана № 12 і через 10 с закриття крана № 9;
- увімкнення системи плазмового запалювання (СПЗ);
- відкриття клапана підведення пускового газу до запальників;
- відкриття СК;
- відкриття КР і кидок тиску паливного газу на форсунках 0,010...0,012 МПа (0,10...0,12 кгс/см²), займання паливного газу в камері згоряння, температура газів за ТНТ не повинна перевищувати 723 К (450 °С);
- плавне збільшення перепаду паливного газу на форсунках, зростання температури газів за ТНТ, але не більше 723 К (450 °С);
- відключення СПЗ і закриття клапана пускового газу;
- відключення електростартерів;
- при частоті обертання ротора КВТ, що дорівнює значенню вставки холостого ходу двигуна $n_{\text{КВТ}}^{\text{ХХД}} = 120 \text{ с}^{-1}$ (6000 об/хв), появу повідомлення "ХОЛОСТИЙ ХІД ДВИГУНА" і "ГТД ПРАЦЮЄ".

Параметри ГТД при цьому повинні відповідати значенням табл. 1. Черговість увімкнення агрегатів і механізмів двигуна в процесі пуску наведена в табл. 2. Відлік часу ведеться з моменту ввімкнення провідного електростартера на 1-у швидкість.

Після досягнення частоти обертання КВТ $n_{\text{КВТ}}^{\text{ХХД}} = 120 \text{ с}^{-1}$ (6000 об/хв) САК забезпечує роботу ГТД на режимі холостого ходу протягом 5 хв.

Таблиця 2

Виконавчі механізми	Увімкнення	Вимкнення	Примітка
Електростартери:	0	285	Відключення також відбувається при $n_{\text{КНТ}} = 41,7 \text{ с}^{-1}$ (2500 об/хв)
1-а швидкість	0	170	
2-а швидкість	170	285	
Кран № 12	160	–	–
Система плазмового запалювання	180	200	
Клапан підведення пускового газу (КПГ) до запальників	185	200	Живлення на КПГ подається імпульсами тривалістю 1 с і з переривами 1 с
Відкриття стоп-крана	195	–	–

Примітка. У процесі запуску САК збільшує показник лічильника кількості пусків на одиницю та вмикає лічильник загального напрацювання при різниці середньої температури повітря за КНТ $t_{\text{КНТ сер}}$ і середньої температури газів за ТНТ $t_{04 \text{ сер}}$ більше від заданої $\Delta T = 80$ град.

Запуск ГТД слід припинити, натиснувши кнопку АЗ, якщо температура газу за ТНТ збільшується вище 813 К (540 °С). Процес запуску ГТД автоматично переривається (при цьому виконується аварійна зупинка ГТД), якщо:

- поступив сигнал від кнопки "АЗ";
- поступив сигнал про спрацювання аварійної зупинки ГТД;
- через 4 с після увімкнення першого стартера на 1-у швидкість відсутній сигнал про вмикання контактора прискорення;
- через 4 с після увімкнення другого стартера на 1-у швидкість відсутній сигнал про вмикання контактора прискорення;
- через 2 с після увімкнення першого стартера на 2-у швидкість відсутній сигнал про вмикання контактора прискорення;
- через 2 с після увімкнення другого стартера на 2-у швидкість відсутній сигнал про вмикання контактора прискорення;
- відсутня напруга 380 В на стартерах;
- частота обертання ротора КНТ менша від вставки $n_{\text{КНТ}} = 15 \text{ с}^{-1}$ (900 об/хв) і закінчилися 170 с із початку виконання циклограми пуску (захист знімається при АЗ або після закінчення пуску);
- частота обертання ротора КВТ менша від вставки $n_{\text{КВТ}} = 11,7 \text{ с}^{-1}$ (700 об/хв) і закінчилися 180 с із моменту виконання програми пуску (захист знімається при АЗ або після закінчення охолодження двигуна при НЗ);
- частота обертання ротора КНТ менша від вставки $n_{\text{КНТ}} = 20 \text{ с}^{-1}$ (1200 об/хв) і закінчилися 180 с із моменту виконання програми пуску (захист знімається при АЗ або після закінчення пуску);

середня температура газу за ТНТ $t_{04\text{сеп}}$ більша від величини вставки 843 К (570 °С);

різниця середньої температури газу за ТНТ $t_{04\text{сеп}}$ і середньої температури повітря за КНТ $t_{\text{КНТсеп}}$ менша від заданої $\Delta T = 80$ град та пройшло 6 с із моменту відкриття стоп-крана (захист знімається при АЗ);

різниця середньої температури газу за ТНТ $t_{04\text{сеп}}$ і середньої температури повітря за КНТ $t_{\text{КНТсеп}}$ менша від заданої $\Delta T = 165$ град та пройшло 35 с із моменту відкриття СК (захист знімається при АЗ);

пройшло 300 с із моменту пуску і немає сигналу "ГТД ПРАЦЮЄ";

перепад тиску газу на форсунках більший від граничного $\Delta P = 0,15$ кгс/см² (0,015 МПа) і пройшло менше 5 с із моменту відкриття СК;

відсутній сигнал відкритого положення СК і пройшло 198 с із моменту початку пуску (знімається при АЗ);

тиск масла на вході в ГТД менший від величини $P < 0,1$ МПа (1,0 кгс/см²) і частота обертання КНТ $n_{\text{КНТ}} > 33,3$ с⁻¹ (2000 об/хв) (сигнал формується із затримкою 2 с, захист знімається при АЗ).

При перериванні запуску видається повідомлення "АВАРІЙНА ЗУПИНКА" і вказується причина припинення запуску.

Необхідно записати в добову відомість значення параметрів запуску:

$\Delta P_{\text{п.г}}$ – кидок тиску паливного газу (перепаду тиску паливного газу і повітря в камері згоряння);

$T_{04\text{макс}}$ – максимальний заброс температури газу за ТНТ;

$t_{\text{ХХ}}$ – час виходу ГТД на ХХ;

$P_{\text{м.вх}}$ – тиск масла на вході в ГТД.

У разі невдалого запуску треба з'ясувати причину та усунути її. Повторний запуск слід проводити за наявності готовності до запуску. Допускається проводити підряд не більше трьох послідовних запусків з інтервалами між вмиканнями електростартерів, визначуваними часом вибігу ротора КНТ двигуна до 5 с⁻¹ (300 об/хв). Подальші запуски і ХП дозволяється проводити тільки після повного охолодження електростартерів (до температури корпусу не більше 333 К (60 °С)).

При першому запуску ГТД після монтажу або заміни необхідно провести перевірку захисту за температурою газу за ТНТ згідно з техдокументацією на САК. Крім того слід проконтролювати параметри двигуна і записати їх в добову відомість (параметри ГТД повинні відповідати табл. 1), при відхиленні параметрів від норми з'ясувати та усунути причину відхилення. Також треба проконтролювати температуру газу за ТНТ за всіма точками, що заміряються, і записати в добову відомість. Допустимі відхилення температурного поля на всіх режимах указані в підрозділі 4.7. Необхідно оглянути ГТД, переконатися у відсутності течі масла, травлення газу і повітря. У процесі запуску двигуна слід проконтролювати ввімкнення вентиляторів обдуву двигуна.

4.7. Виведення газотурбінного двигуна на режим і обслуговування під час роботи

Перш за все слід переконатися за наявністю сигналу САК в тому, що вибрано необхідний режим роботи ГЕУ: "Вихід в автономну мережу", "Вихід у паралельну роботу", "Вихід у велику мережу (вироблення заданої потужності)", "Вихід у велику мережу (відстежування навантаження)".

Виведення ГТД на робочий режим із частотою обертання ротора ТС 3000 об/хв проводить САК автоматично після прогріву ГТД на ХХ генератора і вибору режиму "Вихід у мережу".

Перехід на ручний режим можливий на будь-якому режимі роботи ГТД вище від ХХ двигуна, якщо САР знаходиться в режимі "Очікування" і при цьому є сигнал "Дистанційне керування ВМ", кнопками "БІЛЬШЕ" і "МЕНШЕ" оператор через САР змінює завдання з відкриття регулюючих клапанів РК1 або РК2.

У процесі виходу ГТД на робочий режим ХХ генератора слід проконтролювати:

- виключення сигналізації про ХХ двигуна, якщо частота обертання ротора КВТ більше 6000 ± 50 об/хв;

- відключення ЕМНН і ЕМНВ при частоті обертання КНТ більше 60 с^{-1} (3600 об/хв) і тиск масла на вході в ГТД більше $0,2$ МПа;

- видачу повідомлення про справність ОРТ при частоті обертання турбіни генератора $25,8 \text{ с}^{-1}$ (1550 об/хв). Якщо на вказаній частоті обертання немає повідомлення про справність ОРТ, САК виконує обмежувальний захист ГТД; прогрів ГТД протягом 5 хв.

При досягненні ТС двигуна $n_{\text{ТС}} = 2950$ об/хв формується сигнал ХХ генератора. Після закінчення прогріву на режимі ХХ генератора і вибору режиму "Вихід у мережу" відбуваються збільшення частоти обертання ТС ($n_{\text{ТС}}$) до 3000 об/хв і синхронізація генератора з мережею.

У процесі приймання навантаження ГТД необхідно проконтролювати:

- початок перекладання ВНА, при тиску повітря за КВТ $0,86 \pm 0,10$ МПа ($8,6 \pm 1,0$ кгс/см²) повинен зникнути сигнал "ВНА-10";

- відкриття електромагнітного клапана подачі повітря із-за 7-го ступеня КНТ у МВБ, якщо тиск повітря за КВТ більше $1,05$ МПа;

- закінчення перекладання ВНА, при тиску повітря за КВТ $1,47 \pm 0,10$ МПа ($14,7 \pm 1,0$ кгс/см²) повинен з'явитися сигнал "ВНА+15". Якщо тиск повітря за КВТ більше $1,5$ МПа ($15,0$ кгс/см²) і немає сигналу від кінцевого вимикача положення "ВНА+15", забороняється підвищувати режим вище за режим перекладання ВНА в положення "ВНА+15". Якщо при тиску повітря за КВТ $1,57$ МПа не з'явилася сигналізація про положення "ВНА+15", САК виконує обмежувальний захист ГТД.

Після виходу на робочий режим слід проконтролювати параметри ГТД. Контроль параметрів і запис їх у добову відомість необхідно проводити при всіх змінах режиму ГТД, а також через кожні 2 години на сталому режимі роботи. При невідповідності параметрів роботи ГТД до даних табл. 1, а також зміні параметрів відносно раніше зафіксованих значень при незмінному режимі роботи ГТД треба негайно прийняти заходи до з'ясування причини відхилення параметрів.

Система автоматичного керування в процесі режимної роботи ГТД виконує попереджувальну сигналізацію за наступними параметрами та умовами:

вибіркова температура газу за ТНТ більша від величини вставки $t_{04\text{сер}} + 55 \text{ }^\circ\text{C}$;

вибіркова температура газу за ТНТ менша від величини вставки $t_{04\text{сер}} - 80 \text{ }^\circ\text{C}$;

середня температура газу за ТНТ $t_{04\text{сер}}$ більша від величини вставки 893 K ($620 \text{ }^\circ\text{C}$);

вібрація двигуна більша від вставки $V_{\text{ГТД}} = 15 \text{ мм/с}$ (сигнал від будь-якого з датчиків);

відсутній сигнал справності одного або декількох каналів вимірювання або керування;

перепад тиску паливного газу на фільтрі більше $0,15 \text{ МПа}$ ($1,5 \text{ кгс/см}^2$);

температура масла на зливі з перехідника більша від величини вставки $T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$;

температура масла на зливі із заднього корпусу КВТ більша від величини вставки $T = 393 \text{ K}$ ($120 \text{ }^\circ\text{C}$);

температура масла на зливі з опорного вінця ТНТ більша від величини вставки $T = 368 \text{ K}$ ($95 \text{ }^\circ\text{C}$);

температура масла на зливі з опорного вінця ТГ більша від величини вставки $T = 368 \text{ K}$ ($95 \text{ }^\circ\text{C}$);

температура масла на вході в ГТД (у МЦД) більша від величини вставки $T = 318 \text{ K}$ ($45 \text{ }^\circ\text{C}$);

перепад тиску масла ГТД на фільтрі більший від вставки $0,15 \text{ МПа}$ ($1,5 \text{ кгс/см}^2$);

тиск на лінії відкачування електромаслонасосом менший від вставки $P = 0,02 \text{ МПа}$ ($0,2 \text{ кгс/см}^2$), а також є сигнал "ГТД ПРАЦЮЄ";

є стружка в маслі на зливі нижньої коробки приводів;

є стружка в маслі на зливі з перехідника;

є стружка в маслі на зливі із ЗК КВТ;

є стружка в маслі на зливі з ОВ ТНТ;

є стружка в маслі на зливі з ОВ ТГ;

максимальний рівень масла у МЦД.

За сигналами попереджувальної сигналізації САК виконує кольорову сигналізацію і формує відповідне повідомлення. При появі застережливих

сигналів на панелі керування САК про збільшення перепаду тиску на фільтрах системи змащення ГТД до 0,15 МПа (1,5 кгс/см²) необхідно ввімкнути в роботу чисту секцію фільтра. Забруднений фільтроелемент масляного фільтра слід замінити. При появі сигналу про збільшення перепаду тиску на фільтрі паливного газу до 0,15 МПа (1,5 кгс/см²) необхідно перемкнути систему на другий фільтр. При першій же зупинці двигуна треба замінити фільтруючий елемент.

У процесі роботи ГТД при отриманні сигналу від будь-якого з п'яти датчиків сигналізаторів стружки магнітних (ССМ) необхідно провести демонтаж і огляд відповідного датчика. Роботи можна проводити на працюючому двигуні, заздалегідь знизивши режим роботи до ХХ. Одночасно слід оглянути секцію масляного фільтра, що працювала.

У процесі експлуатації не можна допускати забруднення проточної частини ГТД вище за граничні значення. Стан проточної частини характеризується зміною наступних параметрів у порівнянні з формулярними, одержаними при першому виході на робочий режим:

зміною "ковзання" роторів КНТ і КВТ
 або зростанням температури газу за ТНТ,
 або спадом тиску повітря за КВТ,
 або всіма ознаками.

Установлені наступні граничні відхилення параметрів від формулярних при забрудненні проточної частини:

зміна "ковзання" – не більше 3,3 с⁻¹ (200 об/хв);

спад тиску повітря за КВТ – не більше 0,1 МПа (1,0 кгс/см²);

збільшення температури газів за ТНТ – не більше ніж на 30 град, при цьому температура газів за ТНТ не має перевищувати її значення для максимальної частоти обертань КВТ при температурі повітря на вході в ГТД 288 К (15 °С) і вище, а система термообмеження не повинна вступати в роботу.

Порядок визначення стану проточної частини наведений у підрозділі 4.3. При перевищенні допустимих значень хоча б одного з перерахованих параметрів необхідно провести промивку проточної частини ГТД. У процесі роботи ГТД на будь-якому режимі один раз у зміну слід контролювати температури газів за ТНТ у вимірювальних точках.

Допустимі відхилення температурного поля на всіх режимах не повинні перевищувати наступних значень:

$$t_{04\text{верх}} = t_{04\text{макс}} - t_{04\text{сер}} = 50 \text{ град};$$

$$t_{04\text{низ}} = t_{04\text{сер}} - t_{04\text{мін}} = 50 \text{ град},$$

де $t_{04\text{макс}}$, $t_{04\text{мін}}$ – відповідно максимальна та мінімальна температури у вимірювальних точках; $t_{04\text{сер}}$ – середня температура за покажчиком.

Увага! Якщо в розділі формуляра "Індивідуальні особливості" вказана інша норма нерівномірності температурного поля, то слід орієнтуватися на неї.

У разі відхилення температури газу за ТНТ в окремих точках вище за допустимі межі необхідно зупинити двигун, визначити номер форсунки, що створює відхилення температурного поля, і провести її огляд. Один раз на зміну слід контролювати справність ланцюга датчиків ССМ згідно з експлуатаційною документацією на САК. Не рідше двох разів на зміну необхідно оглядати працюючий ГТД і контролювати рівень масла в МЦД, а результати оглядів заносити в добову відомість.

Через кожні 160...170 год роботи (один раз на тиждень) треба проводити фізико-хімічний аналіз масла в системі змащення ГТД на відповідність до стандартів. Заміну масла слід проводити досягнувши наступних граничних значень фізико-хімічних показників:

в'язкість масла підвищилася до 28 сСт для масла ТП-22с при температурі 323 К (50 °С), до 42 сСт – для масла ТП-22 при температурі 313 К (40 °С) і до 12 сСт – для масла МС-8п або масла для судових газових турбін при температурі 313 К (40 °С);

кислотне число досягло 1 мг КОН на 1 г масла;

у маслі виявлені водорозчинні кислоти і луги.

4.8. Нормальна зупинка

Нормальна зупинка ГЕУ є основним типом зупинки, оскільки забезпечує рівномірне охолодження ГТД. В умовах, що не є аварійними, необхідно проводити тільки НЗ. Перед зупинкою треба провести перевірку ступеня забруднення проточної частини ГТД. Таку зупинку слід проводити з режиму ХХ двигуна і до максимального режиму після закінчення запуску ГТД.

Дана зупинка може здійснюватися автоматично у таких випадках:

після подачі відповідної команди оператора "Нормальна зупинка ГТЕ";

при досягненні температури газів за ТНТ більше або менше 80 °С від середньої температури газів за ТНТ (за будь-якою із 16 точок);

при несправності всіх датчиків температури повітря.

При цьому відбувається автоматичне зниження режиму ГТД:

а) за наявності режиму "Регулювання активної потужності" САР зменшує завдання регулятора активної потужності до величини 300 кВт;

б) за наявності режимів "Регулювання частоти обертання ТС" і "Охолодження на ХХ генератора" САР підтримує сталою частоту обертання ротора ТС, вставка регулятора при цьому відповідає частоті обертання у момент надходження сигналу "Охолодження на ХХ генератора". За наявності режиму "Регулювання частоти обертання ТС" і відсутності режиму "Охолодження на ХХ генератора" САР зменшує вставку регулятора частоти обертання до величини 2850 об/хв;

в) за наявності режимів "Регулювання частоти обертання ротора КВТ" САР зменшує завдання регулятора частоти обертання КВТ до ХХ двигуна, охолоджує ГТД 900 с і зупиняє його.

На пульт керування САК необхідно ввести команду НЗ та проконтролювати за допомогою САК індикацію відпрацювання алгоритму і параметри НЗ у певній послідовності. При зниженні режиму ГТД до величини 300 кВт слід проконтролювати наступне:

- появу повідомлення "НОРМАЛЬНА ЗУПИНКА";
- закриття крана наддуву МВБ при тиску повітря за КВТ 1,0 МПа;
- початок переключення ВНА (при тиску повітря за КВТ $1,47 \pm 0,1$ МПа ($14,7 \pm 1,0$ кгс/см²) повинен зникнути сигнал "ВНА+15");
- закінчення переключення ВНА (при тиску повітря за КВТ $0,86 \pm 0,1$ МПа ($8,6 \pm 1,0$ кгс/см²) повинен з'явитися сигнал "ВНА-10");
- закриття КР2;
- зниження активної потужності до величини 300 кВт;
- вихід з мережі зі зниженням режиму до ХХ генератора;
- охолодження ГТД на режимі ХХ генератора;
- увімкнення ЕМНВ і ЕМНН системи змащення ГТД при частоті обертання КНТ 60 с^{-1} (3600 об/хв), увімкнення ЕМНН блокується, якщо не ввімкнений ЕМНВ;

при частоті обертання $n_{\text{КВТ}} = 120 \text{ с}^{-1}$ (6000 об/хв) появу повідомлення "ХХ ГТД" та охолодження на режимі ХХ двигуна 900 с.

У процесі охолодження провести наступні перевірки:
проконтролювати параметри ГЕУ, вони повинні відповідати величинам, вказаним у табл. 1;

- оглянути ГЕУ на відсутність течі масла, травлення газу і повітря.
- Після закінчення охолодження ГТД треба проконтролювати:
- закриття КР1, СК;
- відключення живлення приладу ОРТ;
- зменшення частот обертання КВТ, КНТ, ТС;
- виключення сигналізації про НЗ через 15 с після закриття СК;
- при частоті обертання $n_{\text{КВТ}} < 90 \text{ с}^{-1}$ (5400 об/хв) зняття повідомлення "ХХ ГТД";

- відкриття крана № 9 і закриття крана № 12;
- відключення ЕМНН через 3600 с, а ЕМНВ через 3900 с після сигналу із системи регулювання про закінчення охолодження ГЕУ.

Примітка. Відключення електромаслонасосів можливе за командами оператора, але не раніше ніж через 10 хв після закриття СК. При цьому відключення ЕМНВ блокується, якщо не відключений ЕМНН.

Необхідно зафіксувати час вибігу роторів КНТ, КВТ (із частоти обертання 1500 до 500 об/хв) і ТС (із 1000 до 500 об/хв). Для кожного ротора допускається зменшення часу вибігу не більше ніж на 15 % у порівнянні з першими запусками на об'єкті при близьких значеннях температури масла на вході в ГТД.

При зменшенні часу вибігу хоча б одного з роторів більше ніж на 15 % питання про подальшу експлуатацію двигуна слід вирішувати з представниками підприємства-постачальника двигуна.

4.9. Обмежувальні захисти газотурбінного двигуна

Обмежувальний захист (зниження режиму ГЕУ до потужності генератора, що дорівнює 300 кВт) відбувається автоматично при роботі генератора в мережі й досягненні одним з параметрів устаткування ГЕУ величини вставки обмежувального захисту.

Обмежувальне зниження режиму газотурбінної енергетичної установки виконується до того моменту, поки параметр роботи устаткування ГЕУ, що викликав спрацьовування обмеження, не ввійде до діапазону допустимих значень параметра й оператор не вибере режим "Вихід у мережу".

Якщо ГЕУ працює в автономній мережі, тоді виконання обмежувального захисту блокується САК і замість виконання обмежувального захисту виконується сигналізація про досягнення вставки обмежувального захисту.

Обмежувальний захист виконується, якщо:

обороти турбіни генератора рівні й більші від "контрольних" ($n_{ТГ} = 25,8 \text{ с}^{-1}$ (1550 об/хв)), а сигнал "Контроль ОРТ" не видається (розвантаження до ХХ двигуна);

вібрація двигуна більша від вставки $V_{ГТД} = 20 \text{ мм/с}$ (сигнал від будь-якого з датчиків);

вібрація генератора більша від вставки $V_r = 7,1 \text{ мм/с}$ (сигнал від будь-якого з датчиків);

пульсація тиску в КЗ більша від вставки 6 кПа;

розрядження на вході в ГТД більше 1,8 кПа;

тиск за КВТ більший від вставки $P = 1,4 \text{ МПа}$ (14,0 кгс/см²) і немає сигналу від кінцевого вимикача положення "ВНА+15";

несправний датчик частоти обертання ТГ (різниця $n_r - n_{ТГ} > 1,7 \text{ с}^{-1}$ (100 об/хв) або $n_{ТГ} < 16,7 \text{ с}^{-1}$ (1000 об/хв);

температура масла на зливі з перехідника більша від величини вставки $T = 398 \text{ К}$ (125 °С);

температура масла на зливі із заднього корпусу КВТ більша від величини вставки $T = 398 \text{ К}$ (125 °С);

температура масла на зливі з опорного вінця ТНТ більша від величини вставки $T = 373 \text{ К}$ (100 °С);

температура масла на зливі з опорного вінця ТГ більша від величини вставки $T = 373 \text{ К}$ (100 °С);

температура масла на вході в ГТД (у МЦД) більша від величини вставки $T = 323 \text{ К}$ (50 °С);

температура масла на вході в ГТД (у МЦД) менша від величини вставки $T = 313 \text{ К}$ (40 °С) і є сигнал "Масло – Тп-22";

температура масла на виході з ГТД більша від величини вставки $T = 378 \text{ K}$ ($105 \text{ }^\circ\text{C}$);

тиск масла на вході в ГТД не більше $0,2 \text{ МПа}$, частота обертання ротора КНТ більше 3600 об/хв ;

Примітка. При спрацьовуванні обмежувального захисту за тиском (тиск масла на вході ГТД менше $P < 0,2 \text{ МПа}$) САК виконує ввімкнення ЕМНВ і ЕМНН.

тиск масла на лінії відкачування ГТД не менше $0,27 \text{ МПа}$;

перепад тиску між проточною частиною переходника і МВБ ТНТ менше $P = 0,05 \text{ МПа}$ ($0,5 \text{ кгс/см}^2$), а тиск за КВТ більше $P = 0,8 \text{ МПа}$ (сигнал формується із затримкою 2 с).

За сигналами обмежувальних захистів САК видає повідомлення "ОБМЕЖУВАЛЬНИЙ ЗАХИСТ" і, впливаючи на КР, знижує витрату палива. Зниження режиму роботи агрегату відбувається до відновлення нормальних значень параметрів. Сигнал "ОБМЕЖУВАЛЬНИЙ ЗАХИСТ" блокується. При цьому САК переходить у режим ручного керування. Збільшення режиму роботи ГТД можливе тільки після повернення параметрів у норму і деблокування захисту оператором. У процесі скидання режиму необхідно проконтролювати проходження сигналів і відпрацювання виконавчих механізмів згідно з підрозділом 4.8.

4.10. Аварійна зупинка

Аварійна зупинка двигуна відбувається автоматично при спрацьовуванні одного із захистів:

частота обертання ротора генератора більша від вставки $n_r = 71,0 \text{ с}^{-1}$ (3550 об/хв);

частота обертання турбіни генератора більша від вставки $n_{\text{ТТ}} = 71,0 \text{ с}^{-1}$ (3550 об/хв);

частота обертання ротора КНТ менша від вставки $n_{\text{КНТ}} = 15 \text{ с}^{-1}$ (900 об/хв), закінчилися 170 с із початку виконання циклограми пуску (захист знімається при АЗ або після закінчення пуску);

частота обертання ротора КВТ менша від вставки $n_{\text{КВТ}} = 11,7 \text{ с}^{-1}$ (700 об/хв), закінчилися 180 с із моменту виконання програми пуску (захист знімається при АЗ або після закінчення охолодження двигуна при НЗ);

частота обертання ротора КНТ менша від вставки $n_{\text{КВТ}} = 20 \text{ с}^{-1}$ (1200 об/хв), закінчилися 180 с із моменту виконання програми пуску (захист знімається при АЗ або після закінчення пуску);

середня температура газу за ТНТ $t_{04\text{сеп}}$ більша від величини вставки $913 + 30 \text{ K}$ ($640 + 30 \text{ }^\circ\text{C}$);

різниця середньої температури газу за ТНТ $t_{04\text{сеп}}$ і середньої температури повітря за КНТ $t_{\text{КНТ сеп}}$ менша від заданої $\Delta T = 80 \text{ град}$, пройшло 6 с

із моменту відкриття стоп-крана (захист знімається при АЗ або після закінчення охолодження двигуна при НЗ);

різниця середньої температури газу за ТНТ $t_{04\text{сер}}$ і середньої температури повітря за КНТ $t_{\text{КНТ сер}}$ менша від заданої $\Delta T = 165$ град, пройшло 35 с із моменту відкриття СК (захист знімається при АЗ або після закінчення охолодження двигуна при НЗ);

тиск повітря за КВТ менший від вставки $P = 0,75$ МПа (7,5 кгс/см²), ВНА не переключився з положення "+15" у положення "-10" (відсутній сигнал "ВНА-10");

вібрація двигуна більша від вставки $V_{\text{ГТД}} = 26$ мм/с (сигнал від будь-якого з датчиків);

через 4 с після ввімкнення першого стартера на 1-у швидкість відсутній сигнал про ввімкнення контактора прискорення;

через 4 с після ввімкнення другого стартера на 1-у швидкість відсутній сигнал про ввімкнення контактора прискорення;

через 2 с після ввімкнення першого стартера на 2-у швидкість відсутній сигнал про ввімкнення контактора прискорення;

через 2 с після ввімкнення другого стартера на 2-у швидкість відсутній сигнал про ввімкнення контактора прискорення;

відсутня напруга 380 В на стартерах;

пройшло 300 с із моменту пуску і немає сигналу "ГТД ПРАЦЮЄ";

поступив сигнал від кнопки "АЗ ГТД";

оберти турбіни генератора рівні й більші від "контрольних" $n_{\text{ТГ}} = 30,8$ с⁻¹ (1850 об/хв), а сигнал "КОНТРОЛЬ ОРТ" не видається й несправні датчики частоти обертання турбіни генератора і генератора;

несправні всі датчики температури газу за ТНТ або обидва датчики температури повітря за КНТ;

порушений алгоритм пуску;

порушений алгоритм нормальної зупинки;

перепад тиску газу на форсунках більший від граничного $\Delta P = 0,15$ кгс/см² (0,015 МПа), пройшло менше 5 с із моменту відкриття СК;

відсутній сигнал відкритого положення СК, пройшло 198 с із моменту початку пуску (знімається при АЗ або після закінчення охолодження ГТД при НЗ);

температура масла на зливі з перехідника більша від величини вставки $T = 403$ К (130 °С);

температура масла на зливі із заднього корпусу КВТ більша від величини вставки $T = 403$ К (130 °С);

температура масла на зливі з опорного вінця ТНТ більша від величини вставки $T = 383$ К (110 °С);

температура масла на зливі з опорного вінця ТГ більша від величини вставки $T = 383$ К (110 °С);

температура масла на вході в ГТД (у МЦД) більша від величини вставки $T = 333$ К (60 °С);

тиск масла на вході в ГТД менший від величини $P < 0,1$ МПа ($1,0$ кгс/см²), частота обертання КНТ $n_{\text{КНТ}} > 33,3$ с⁻¹ (2000 об/хв), сигнал формується із затримкою 2 с, захист знімається при АЗ або після закінчення охолодження двигуна при НЗ;

тиск масла на лінії відкачування навішеним маслонасосом менший від величини $P < 0,05$ МПа ($0,5$ кгс/см²), частота обертання КНТ $n_{\text{КНТ}} > 60$ с⁻¹ (3600 об/хв), сигнал формується із затримкою 2 с, захист знімається при АЗ або після закінчення охолодження двигуна при НЗ;

тиск масла на лінії відкачування ЕМНВ менший від величини $P < 0,02$ МПа ($0,2$ кгс/см²), немає сигналу "ГТД ПРАЦЮЄ" і 10 с видається сигнал на ввімкнення відкачуючого насоса або 10 с присутній сигнал про ввімкнення насоса (сигнал формується із затримкою 2 с);

тиск масла на вході у підшипники генератора $P < 0,015$ МПа, пройшло 245 с із початку запуску ГЕУ;

аварійний рівень масла у маслоцистерні двигуна (сигнал формується із затримкою 35 с);

температура обмоток статора генератора (за всіма фазами у будь-якій з точок) більше 140 °С;

температура повітря на виході з повітроохолоджувача генератора (у будь-якій з точок) більше 50 °С;

температура бабіту переднього і заднього підшипників генератора більше 80 °С;

корпусна вібрація генератора більше $11,2$ мм/с;

пульсація тиску в КЗ більше 8 кПа.

Крім того, двигун може зупинитися аварійно при спрацьовуванні захистів генератора або систем станції. При спрацьовуванні захисту за граничною частотою обертання ТГ додатково відкриваються два клапани перепуску повітря за КВТ. При спрацьовуванні захисту за тиском масла на лінії відкачування ЕМНВ $P < 0,02$ МПа ($0,2$ кгс/см²). Після спрацьовування захисту необхідно з'ясувати та усунути причину аварійної зупинки. До з'ясування й усунення причини, що викликала аварійну зупинку, запуск ГТД забороняється.

Після видачі повідомлення "АВАРІЙНА ЗУПИНКА ГТД" слід проконтролювати:

зняття поточних повідомлень "ГТД ПРАЦЮЄ", "ПУСК ГТД", "НОРМАЛЬНА ЗУПИНКА", "ОБМЕЖУВАЛЬНИЙ ЗАХИСТ";

формування повідомлення "АВАРІЙНА ЗУПИНКА ГТД";

закриття СК;

закриття КР;

закриття крана № 12 і відкриття крана № 9;

увімкнення ЕМНВ і ЕМНН;

зафіксувати час вибігу роторів КНТ, КВТ (із частоти обертання 1500 до 500 об/хв) і ТС (із 1000 до 500 об/хв);

відключення ЕМНН через 3600 с;

відключення ЕМНВ через 3900 с (відключення ЕМНВ блокується, якщо не відключений ЕМНН).

Примітка. Відключення електромагнітних насосів можливе за командами оператора, але не раніше ніж через 10 хв після закриття СК. При цьому відключення ЕМНВ двигуна блокується, якщо не відключений ЕМНН.

Після приведення систем станції у готовність до ХП і якщо час вибігів роторів не менший від часу, одержаного при перших запусках, необхідно провести ХП тривалістю 900 с, не чекаючи закінчення обертання роторів, із частоти обертання КНТ 5 с^{-1} (300 об/хв).

При неможливості проведення ХП після закінчення вибігів треба провести провертання роторів ГТД вручну за допомогою спецключів прокручування протягом однієї години при ввімкнених ЕМНН, ЕМНВ.

При аварійних зупинках ГТД з високих режимів і неможливостях проведення ХП після закінчення вибігів можлива приклинка роторів. У цьому випадку перед черговим запуском необхідно переконатися у вільному обертанні роторів КНТ і КВТ, для чого слід повернути ротор КНТ вручну. Якщо ротор КНТ не обертається, виконання ХП і запуску забороняється. Якщо ротор КНТ повертається вручну, далі необхідно виконати ХП для перевірки обертання ротора КВТ, якщо ротор КВТ не обертається – виконати ще одне ХП. Забороняється запуск ГТД із заклиненим ротором КВТ.

4.11. Екстрена зупинка

Екстрена зупинка ГТД виконується автоматично при відмові мікропроцесорної частини САК або від кнопки. Кнопкою екстреної зупинки двигун може бути зупинений з будь-якого режиму без попереднього охолодження на ХХ у наступних випадках:

- при виникненні небезпеки для обслуговуючого персоналу;
- при виникненні небезпеки виходу з ладу агрегату;
- при прослуховуванні шумів, нехарактерних для нормальної роботи ГТД, різкому збільшенні вібрації ГТД;
- при неприпустимих вибоках масла або газу;
- при виникненні пожежі й неможливості його ліквідації на працюючому агрегаті;
- у випадках, спеціально обумовлених у галузевих правилах експлуатації цехів з газотурбінним приводом.

При натисненні кнопки екстреної зупинки видається повідомлення "ЕКСТРЕНА ЗУПИНКА ГТД". Після видачі повідомлення "ЕКСТРЕНА ЗУПИНКА ГТД" необхідно діяти відповідно до підрозділу 4.10.

4.12. Особливості експлуатації газотурбінного двигуна в умовах низьких температур зовнішнього повітря

При негативній температурі та підвищеній вологості зовнішнього повітря можливе обмерзання вхідного тракту КПОП, захисної сітки і лопаток

КНТ. Небезпека обмерзання особливо велика, якщо при температурі навколишнього повітря 258...278 К (-15...5 °С) є опади у вигляді дощу, туману або мокрого снігу. Обмерзання зазвичай супроводжується зростанням розрідження на вході КНТ і зниженням потужності ГТД.

Для попередження обмерзання ГТД або всмоктуючого тракту на працюючому агрегаті необхідно ввімкнути антиобледенілу систему при температурі зовнішнього повітря 263...278 К (-10...5 °С) і відносній вологості 80...100 %. При роботі ГТД на ХХ і малих режимах антиобледеніла система малоєфективна через недостатню кількість підведеного тепла. Тому в умовах, коли можливе обмерзання, треба обмежити час роботи ГТД на цих режимах.

При температурі навколишнього повітря 263...278 К (-10...5 °С) і підвищеній вологості повітря можливе примерзання лопаток КНТ до корпусу на непрацюючому ГТД. У цьому випадку необхідно подати на вхід проточної частини ГТД гаряче повітря, підігріте до 333...353 К (60...80 °С), та перевірити ротори ключами ручного прокручування з ввімкненими ЕМНН і ЕМНВ. Провертання слід проводити тільки після підігріву масла в МЦД до температури не нижче 308 К (35 °С) – при використанні для змащення ГТД масла ТП-22, не нижче 15 °С – при використанні масла МС-8П.

При температурі зовнішнього повітря 278 К (5 °С) і нижче треба забезпечити надійний підігрів паливного газу і видалення з нього конденсату, оскільки можливе замерзання газового конденсату в паливній апаратурі ГТД. При температурі зовнішнього повітря 278 К (5 °С) і нижче для запобігання обмерзання циліндра ВНА необхідно перевести систему керування ВНА на "зимові" умови роботи. При температурі зовнішнього повітря вище 278 К (5 °С) слід перевести систему керування ВНА на "літні" умови роботи.

Якщо при низьких температурах зовнішнього повітря не відбувається переключення ВНА, необхідно припинити набір потужності, знизити режим ГТД або зупинити його і прогріти блок охолодження та очищення повітря. В умовах низьких температур зовнішнього повітря при огляді ГТД особливо увагу слід звернути на стан з'єднань, що мають сальникові й гумові ущільнення.

4.13. Регулювання агрегатів і систем газотурбінного двигуна

У процесі експлуатації регулюються наступні параметри ГТД у разі їх відхилення від експлуатаційних норм:

- автоматичний запуск ГТД;
- частота обертання КВТ на ХХ;
- тиск у розвантажувальних порожнинах КНТ і КВТ;
- перепади тиску на контактних ущільненнях заднього корпусу КВТ й опорного вінця ТНТ;
- тиск масла у ГТД;
- максимальна витрата паливного газу.

Перед регулюванням систем і агрегатів ГТД необхідно переконатися в достовірності показників і справності контрольно-вимірювальних приладів (КВП). Після проведення регулювання слід законтрити всі регулювальні елементи, а результати регулювання систем і агрегатів ГТД записати в добуву відомість.

4.14. Заміна вузлів і агрегатів

Перед заміною вузлів і агрегатів ГТД необхідно зняти електроживлення із САК, кранів паливного й технологічного газу, а також прийняти заходи проти випадкової подачі електроживлення до САК, кранової обв'язки і механізмів ГТУ. При заміні вузлів або агрегатів слід використовувати тільки спеціальний інструмент і пристосування, що входять у комплект постачання ГТУ. Перед установленням нового вузла або агрегату треба перевірити в його паспорті або етикетці дані щодо його настройки, регулювання та приймання відділом технічного контролю (ВТК), переконатися в наявності консервації і технологічних транспортувальних заглушок. Установлення на ГТД вузлів, агрегатів, на яких не було заглушок транспортувань або за відсутності на них паспортних документів, не допускається.

Усі отвори, що відкриваються при демонтажі агрегатів і вузлів, слід глушити спеціальними заглушками або хлорвініловою плівкою, щоб уникнути попадання в ці отвори сторонніх предметів і бруду. Усі елементи кріплення знову встановлюваних вузлів і агрегатів необхідно законтрити. При цьому не допускається використання вживаних контрувальних замків, контрувального дроту, ущільнювальних кілець і прокладок. Після монтажу агрегатів і вузлів треба перевірити їх працездатність. За необхідності слід провести контрольний запуск ГТД. Після проведення перевірки працездатності заміненого вузла та агрегату необхідно зробити відповідні записи в його паспортній документації, формулярі ГТД, указати причину заміни, напрацювання заміненого вузла, заводський номер знову встановлюваного вузла, результати його перевірки або регулювання.

4.15. Можливі несправності

Перелік можливих несправностей, перерахованих у цьому розділі, не є вичерпним і наведений як приблизне керівництво для обслуговуючого персоналу при виявленні й усуненні в умовах об'єкта найбільш вірогідних несправностей ГТД. У всіх випадках виникнення несправностей агрегатів ГТД слід переконатися в правильності функціонування САК, КВП і сигналізації. При виникненні несправностей у системі електроустаткування необхідно, перш за все, заміряти опір ізоляції електричних ланцюгів. Усі роботи з усунення несправностей слід відзначати у відповідних розділах формуляра ГТД. Можливі несправності й способи їх усунення вказані в табл. 3.

Таблиця 3. Можливі несправності та способи їх усунення

Несправності й зовнішній прояв	Імовірна причина	Дії оператора за пультом керування	Спосіб усунення
<p>1. При запуску відсутнє займання паливного газу</p>	<p>1.1. Обрив або поганий контакт у колі живлення свічки. 1.2. Пробій або пошкодження ізоляції свічки. 1.3. Збільшений міжелектродний зазор у свічці. 1.4. Несправний блок живлення СПЗ. 1.5. Засмігився дросель пускового газу</p>	<p>Дії оператора за пультом керування</p> <p>Припинити запуск, після зняття частоти обертання КНТ до 5 с^{-1} (300 об/хв) і нижче виконати ХП</p>	<p>1.1. Перевірити пробником коло між високовольним виводом імпульсного трансформатора і центральним електродом свічки. Підтягти накидні гайки роз'ємів блока живлення СПЗ і свічки. 1.2. Від'єднати екрануючий провід від свічки, вивернути свічку із запальника, з'єднати з керуючим високовольним дротом і короткочасно подати живлення й сигнал на блок живлення СПЗ (на 10...15 с). За відсутності розрядів зняти живлення з блока живлення СПЗ, роз'єднати свічку від високовольного дрота, промити електроди й ізолятор свічки спиртом, просушити стисненим повітрям. Якщо розряд не відновився, свічку замінити. 1.3. Підтягти на свічці різьбові з'єднання. 1.4. Усунути несправність згідно з рекомендаціями інструкції з експлуатації і технічного опису СПЗ. 1.5. Очистити дроселі пускового газу</p>
<p>2. У процесі запуску перепад тиску паливного газу на робочих форсунках (перший кидок) перевищив 0,02 МПа ($0,2 \text{ кгс/см}^2$) і спрацював захист з перевищення першого кидка</p>	<p>2.1. Обрив або засмічення трубки відведення повітря від КНТ до дифманометра. 2.2. Не відрегульований КР. 2.3. Засмітилися робочі форсунки</p>	<p>Припинити запуск, після зняття частоти обертання КНТ до 5 с^{-1} (330 об/хв) і нижче виконати ХП</p>	<p>2.1. Від'єднати і продути трубку. При обриві трубки відновити її зварюванням, не допускаючи зменшення площі перерізу. 2.3. Демонтувати й оглянути форсунки, за необхідності – прочистити їх</p>

3. Не відкрився СК	3.1. Не подається живлення на електромагніт відкриття СК. 3.2. Засмітився фільтр подачі газу на керування СК	Припинити запуск	3.1. Перевірити коло живлення електромагніта відкриття СК. 3.2. Очистити фільтр
4. Знижена інтенсивність розкручування КНТ на запуску ГТД	Поламаний блок керування електростартером	Припинити запуск, після зняття частоти обертання КНТ до 5 с^{-1} (300 об/хв) виконати ХП	Замінити блок керування електростартером новим із запасними інструментами і приладами (ЗІП)
5. На режимній роботі температура масла на виході з окремих опор ГТД вища за норми	5.1. Несправність у колах вимірювання. 5.2. Мала витрата масла через опори ГТД		5.1. Перевірити кола вимірювання і КВП. Перевірити справність термометровувачів опору. 5.2. Промити фільтри опор ГТД. Перевірити в'язкість масла, при відхиленні від норм, указаних у підрозділі 4.7, масло замінити
6. Малий тиск масла на вході в ГТД	6.1. Засмітився масляний фільтр на лінії нагнітання. 6.2. Порушене регулювання навішеного маслоагрегату ГТД. 6.3. Витік масла з маслопроводу	6.1. Знизити режим ГТД до ХХ. 6.2, 6.3. Знизити режим ГТД до ХХ або виконати нормальну зупинку ГТД	6.1. Перемкнути фільтр на чисту секцію. 6.2. Виконати регулювання згідно з технологічною картою. 6.3. Усунути витік масла
7. Коливання тиску масла в масляній системі	Попадання повітря в маслосистему	Знизити режим ГТД до ХХ	Перевірити кількість масла в циркуляційній цистерні ГТД. Ущільнити з'єднання на всмоктуючій магистралі маслоагрегату

5. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

5.1. Вибір періодичності й обсягу планового технічного обслуговування та види робіт

З метою підтримки ГТД у стані постійної готовності до дії, попередження появи дефектів, які можуть призвести до виходу з ладу двигуна при його експлуатації, а також контролю стану матеріальної частини проводиться його планове технічне обслуговування (ТО). Періодичність і обсяг ТО визначаються з особливостей конструкції двигуна, умов його експлуатації та обслуговування з урахуванням досвіду експлуатації ГТД аналогічного типу. При виконанні робіт з технічного обслуговування ГТД слід використовувати спеціальний інструмент, що поставляється в комплекті з ГТД, а також підйомні й монтажні пристосування. Застосування іншого інструменту і пристосувань не допускається. Передбачаються два види ТО: технічне обслуговування ГТД, що знаходиться в експлуатації, і технічне обслуговування ГТД при недіянні.

Технічне обслуговування ГТД, що знаходиться в експлуатації, передбачає наступні види робіт:

ТО через кожні 3000 год напрацювання;

ТО через кожні 6000 год напрацювання або один раз на рік;

ТО за станом матеріальної частини.

Технічне обслуговування один раз на рік проводиться за календарними термінами і не залежить від напрацювання двигуна.

Технічне обслуговування ГТД при недіянні залежить від терміну безперервного недіяння двигуна і передбачає наступні види робіт:

ТО при знаходженні ГТД у резерві до 10 діб;

ТО при знаходженні ГТД у резерві до 30 діб;

ТО при знаходженні ГТД у резерві більше 30 діб.

При проведенні робіт, пов'язаних з розкриттям проточної частини і внутрішніх порожнин ГТД або навішаних агрегатів, слід прийняти необхідні заходи, що виключають можливість попадання сторонніх предметів у проточну частину. Необхідно своєчасно проводити заміну агрегатів, вузлів і приладів, що мають обмежений термін служби та відпрацювали свій ресурс до моменту проведення ТО двигуна.

Окрім робіт з технічного обслуговування ГТД, наведених у даному розділі, слід проводити ТО агрегатів, вузлів і механізмів, які входять до складу ГТД та мають власні експлуатаційні документи (паспорти, формуляри), що обумовлюють регламент їх технічного обслуговування. Ці роботи залежно від їх періодичності необхідно суміщати з одним з видів ТО.

Усі роботи з технічного обслуговування ГТД, результати оглядів, виявлені недоліки, витрату ЗІП слід фіксувати у відповідних розділах формуляра ГТД, паспортах і етикетках вузлів, що поставляються з ГТД. При ТО всі огляди, перевірки, очищення, регулювання, промивки треба проводити згідно з технологічними картами.

Технічне обслуговування через кожні 3000 год напрацювання включає у себе:

ознайомлення з останніми записами в журналі про проведені огляди, зауваження під час режимної роботи, виявлені несправності й дефекти;

усунення несправностей;

зовнішній огляд двигуна;

огляд опор і фіксаторів двигуна;

огляд захисної сітки на вхідному пристрої ГТД і лопаток КНТ, що проглядаються;

промивання ССМ двигуна;

очищення фільтра підведення газу на керування СК;

огляд електроустаткування й електрокомунікацій ГТД;

перевірку опору ізоляції електроустаткування;

перевірку блокувань і захистів на непрацюючому ГТД згідно з інструкцією з експлуатації САК;

огляд форсунок;

огляд кріплення і конструкції газовідводу;

огляд проточної частини ГТД за допомогою оптичних приладів;

промивку блока очищення й охолодження повітря ВНА і клапана перепуску повітря;

перевірку перепаду тиску на контактних ущільненнях заднього корпусу КВТ та опорного вінця ТНТ.

Вихід на режим заміру, що дорівнює 18,75 МВт, необхідно проводити при наборі частоти обертання. Через 10 хв після виходу на режим слід визначити величини перепадів тиску на контактних ущільненнях за формулами

$$\Delta P_{\text{ЗК.КВТ}} = P_{\text{КНТ}} - P_{\text{МВБ}} - 0,025 \text{ МПа (0,215 кгс/см}^2\text{)};$$

$$\Delta P_{\text{ОВ.ТНТ}} = P_{\text{КНТ}} - P_{\text{МВБ}} - 0,035 \text{ МПа (0,350 кгс/см}^2\text{)},$$

де $P_{\text{КНТ}}$ – заміряний тиск повітря за КНТ; $P_{\text{МВБ}}$ – заміряний тиск у МВБ; $\Delta P_{\text{ЗК.КВТ}}$, $\Delta P_{\text{ОВ.ТНТ}}$ – перепад тиску на контактних ущільненнях відповідно заднього корпусу КВТ й опорного вінця ТНТ.

Якщо ці величини дорівнюють 0 або більше 0,08 МПа (0,8 кгс/см²), необхідно відрегулювати тиск у масловіддільному баку ТНТ.

Технічне обслуговування через кожні 6000 год напрацювання або один раз на рік включає у себе:

перевірку центрування в з'єднаннях "ГТД–генератор" згідно з технологією проєктанта об'єкта;

перевірку спрацьовування всіх датчиків тиску;
перевірку технічного стану і виконання регламентних робіт за СПЗ згідно з інструкцією з експлуатації цієї системи;
огляд стану електростартерів;
очищення МЦД і, за необхідності, заміну масла;
огляд і промивання захисних МФ;
огляд статичного масловіддільника;
запуск ГТД із перевіркою алгоритму запуску;
перевірку захистів ГТД згідно з інструкцією з експлуатації САК;
перевірку параметрів ГТД на режимах від ХХ до номінального (параметри занести у формуляр ГТД);
перевірку стану і консервації ЗІП двигуна;
замір рівня вібрації на ГТД (результати заміру занести у формуляр ГТД, у разі перевищення допустимих рівнів вібрації питання про подальшу експлуатацію вирішувати з підприємством-постачальником ГТД).

Технічне обслуговування за станом матеріальної частини виконується при досягненні граничних параметрів забруднення проточної частини, перепадів тиску на фільтрах та інших параметрів, контролюючих стан двигуна і його систем. Необхідно проводити заміну агрегатів, що відпрацювали встановлений ресурс або термін служби, а також агрегатів, які вимагають заміни за своїм технічним станом.

Промивку проточної частини двигуна, заміну фільтруючих пакетів і заміну агрегатів слід проводити за відповідними технологічними картами.

5.2. Обслуговування газотурбінного двигуна при недіянні

Технічне обслуговування ГТД при недіянні здійснюється з метою запобігти можливій корозії життєво важливих вузлів і агрегатів двигуна (підшипникових вузлів, паливної апаратури) при максимально можливому збереженні готовності до дії. У зв'язку із цим і обсяг цього виду ТО залежить від передбачуваної тривалості недіяння ГТД.

Якщо двигун виводиться з дії на строк до 10 діб зі збереженням готовності, то на ньому щодня на 600 с треба вмикати ЕМНВ і ЕМНН та провертати ротори КНТ і КВТ уручну. Якщо двигун виводиться з дії на строк до 30 діб, то необхідно через кожні 10 діб підготувати ГТД до холодного прокручування згідно з підрозділом 4.5 і провести його. Якщо двигун виводиться з дії на строк понад 30 діб, то необхідно:

провести внутрішню консервацію двигуна;
закрити вхідну частину двигуна і газовихлоп брезентовими чохлами (за відсутності штатних кришок) для запобігання просмоктуванню зовнішнього повітря через проточну частину;
щомісячно оглядати двигун згідно з технологічними картами.

При знаходженні двигуна в резерві 6 місяців і більше слід провести його переконасервацію.

5.3. Технічна діагностика газотурбінного двигуна

Для визначення технічного стану ГТД та їх окремих вузлів у даний момент часу, а також прогнозування стану ГТД у перспективі використовується технічне діагностування. Воно може здійснюватися шляхом вимірювання та аналізу зміни штатних параметрів ГТД, а також за допомогою застосування спеціальних засобів діагностування.

Діагностування технічного стану ГТД за допомогою штатних вимірвальних параметрів проводиться через 10...15 хв після виходу на будь-який сталий режим роботи, для якого в інструкції з експлуатації та формулярі двигуна вказані параметри і контрольні допуски, одержані в період випробувань ГТД. При оцінці й порівнянні фактичних параметрів із заданими необхідно враховувати температуру атмосферного повітря.

Зміна значень параметрів двигуна зі збільшенням напрацювання може бути природною (через знос чи забруднення проточної частини) або бути наслідком відмови елементів і вузлів двигуна. При цьому двигун певний час може залишатися працездатним. Двигун вважається справним, якщо відхилення замірних параметрів не виходять за межі контрольного допуску.

На ГТД застосовуються наступні засоби технічного діагностування:

сигналізатори стружки магнітні;

термокомплект сигналізації температурного поля;

апаратура вимірювання вібрації;

ендоскопи технічні (оптичні оглядові прилади);

стетоскопи технічні (прилади для прослуховування підшипникових вузлів роторів).

Сигналізатори стружки магнітні використовуються постійно під час роботи ГТД. Вони дозволяють контролювати стан підшипникових вузлів двигуна, зубчатих передач та інших деталей і вузлів, омиваних маслом. Сигналізатори забезпечують видачу світлового сигналу на ПК про наявність стружки в маслі на зливах з вузлів двигуна. При виявленні стружки після спрацювання ССМ й огляду магнітних датчиків, масляних фільтрів і магнітних пробок питання про подальшу експлуатацію вирішується за участі постачальника ГТД.

Термокомплект сигналізації температурного поля спільно з датчиками вимірювання температури газів за ТНТ забезпечують під час роботи ГТД контроль рівномірності температурного поля з трипозиційною сигналізацією відхилення від середнього значення температури газів за ТНТ кожної контрольованої точки температурного поля, вимірювання середньої температури поля і вибіркового вимірювання температурних точок. При оцінці температурного поля необхідно керуватися рекомендаціями інструкції з експлуатації ГТД.

Штатна або переносна віброапаратура служить для вимірювання корпусної вібрації ГТД. Порядок вібраційного обстеження двигуна, його обсяг

та допустимі норми рівнів вібрації визначаються інструкцією з експлуатації ГТД і методикою вібраційного обстеження в експлуатації, що входять у комплект документації, який поставляється з двигуном. Дії оператора при підвищеній вібрації двигуна вказані в інструкції з експлуатації ГТД.

Огляди ГТД ендоскопами проводяться на непрацюючому двигуні у таких випадках:

при виконанні технічного обслуговування, але не рідше одного разу на рік;

при підвищеній вібрації, нехарактерному шумі при обертанні роторів, появі стружки в маслі, зміні температурного поля або термогазодинамічних параметрів.

При роботі з ендоскопами необхідно керуватися технічним описом й інструкцією з експлуатації ендоскопів, методикою огляду ГТД оптичними оглядовими приладами та інструкцією з експлуатації ГТД.

6. ВІДПРАВЛЕННЯ В РЕМОНТ І ТРАНСПОРТУВАННЯ

Газотурбінні двигуни, вузли та агрегати, що направляються в ремонт, мають бути повністю укомплектовані матеріальною частиною і техдокументацією. Остання повинна бути заповнена відповідним чином з указанням причини відправлення в ремонт, напрацювання, дати й способу консервації і терміну її закінчення. Двигуни й агрегати, що направляються в ремонт, мають бути законсервовані та упаковані згідно з технологічними картами. Технічну документацію слід упаковувати в поліетиленові мішки та відправляти разом із ГТД і агрегатами, що направляються в ремонт.

Газотурбінний двигун, упакований у спеціальний ящик підприємства-постачальника (транспортну тару), дозволяється транспортувати автомобільним, залізничним, повітряним і водним видами транспорту без обмеження відстані та зниження працездатності за умови збереження цілісності упаковки. Виріб упаковується згідно з ГОСТ 23170–78. Двигун в упаковці заводу-постачальника допускає наступні умови транспортування щодо дії кліматичних чинників:

дія низької температури до 213 К (–60 °С);

різка зміна температур від 333 К (60 °С) до 213 К (–60 °С).

При завантаженні й вивантаженні ГТД, упакованого в ящик, підйом ящика повинен проводитися за чотири вушки, розташовані на підставці ящика, краном вантажопідйомністю не менше 15 т відповідно до схеми стропування, вказаної на ящику ГТД. Опускати ящик із ГТД слід плавно, не допускаючи ударів. Двигуни і ЗІП до нього законсервовані й поставляються в упаковці для зберігання згідно з інструкцією, допускається зберігання протягом п'яти років з дня відвантаження із заводу-постачальника.

При транспортуванні ГТД будь-яким видом транспорту ящик має бути надійно закріплений відповідно до креслення підприємства-постачальника ГТД і під контролем представника транспортного підприємства. При транспортуванні, вантаженні й перевалках треба враховувати вимоги попереджувального маркування, нанесеного на пакувальній тарі (ящиках).

Перевезення ГТД автомобільним транспортом дозволяється проводити зі швидкістю не більше 30 км/год по ґрунтових дорогах і дорогах з покриттям буліжником, а також зі швидкістю не більше 60 км/год по дорогах з асфальтовим або бетонним покриттям. Вантажопідйомність автомобіля, використовуваного для транспортування ГТД, не повинна перевищувати масу вантажу, що перевозиться, більше ніж у два рази. Допускається застосування баластного вантажу для автомобілів більшої вантажопідйомності.

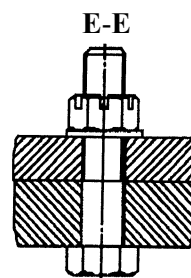
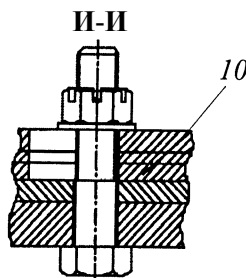
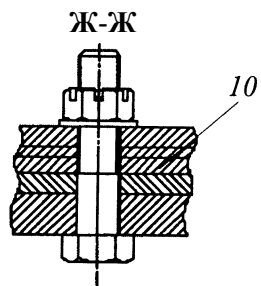
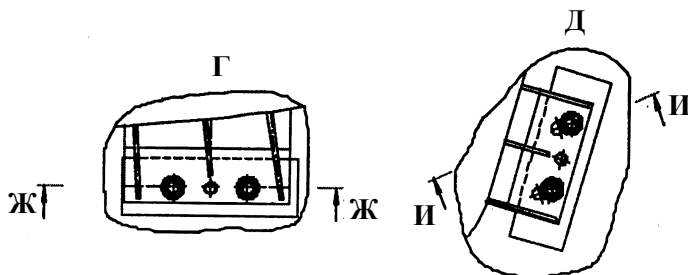
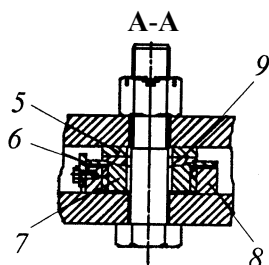
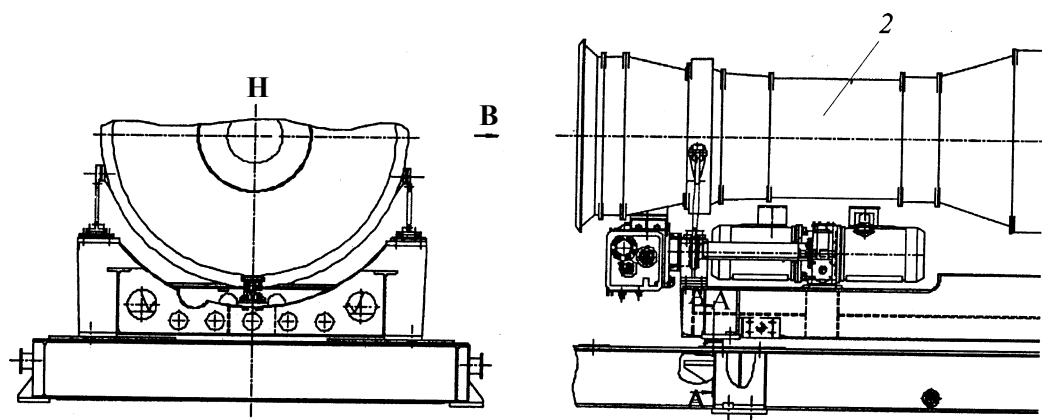
Забороняється переміщати ящик із ГТД по землі тягачем (волоком), оскільки ящик не обладнаний полозами. Кріплення ящика з ГТД при пере-

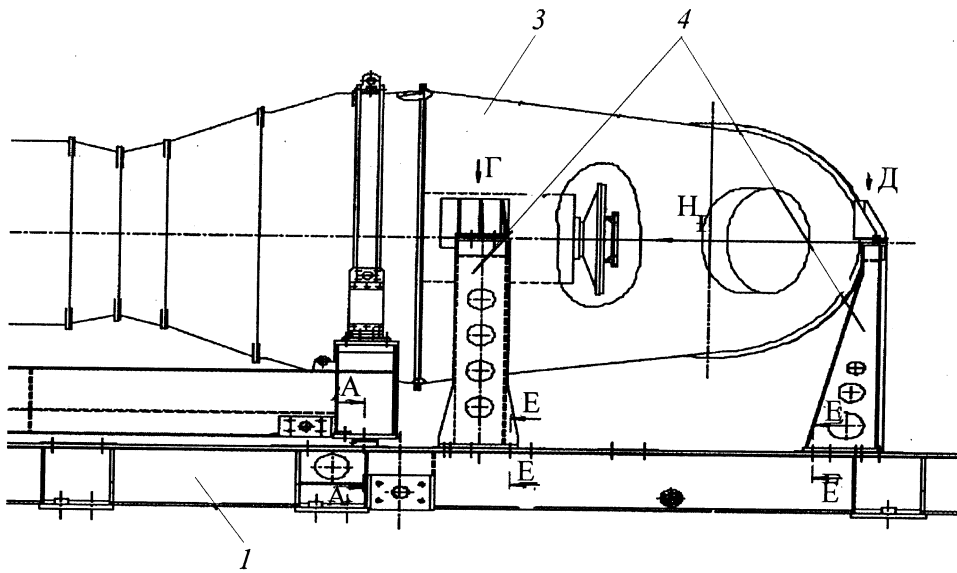
везенні повітряним транспортом має проводитися з урахуванням особливостей транспортного засобу, але так, щоб виключити можливість мимовільного переміщення ящика при транспортуванні. Допускається перевезення ГТД повітряним транспортом при знятій кришці на підставці ящика. У цьому випадку ГТД повинен бути упакований у брезентовий чохол, що виключає пошкодження пакувальної плівки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Артемов, Г. А.** Совершенствование судовых газотурбинных установок [Текст] / Г. А. Артемов. – Л. : Судостроение, 1984. – 240 с.
 2. **Артемов, Г. А.** Судовые газотурбинные установки [Текст] / Г. А. Артемов, В. П. Бойков, А. Г. Гильмутдинов. – Л. : Судостроение, 1978. – 248 с.
 3. **Артемов, Г. А.** Судовые установки с газотурбинными двигателями [Текст] : учеб. пособие / Г. А. Артемов, В. М. Горбов, Г. Ф. Романовский. – Николаев : УГМТУ, 1997. – 233 с.
 4. **Вудворд, Дж.** Морские газотурбинные установки [Текст] / Дж. Вудворд. – Л. : Судостроение, 1979. – 360 с.
 5. **Горелов, В. И.** Эксплуатация корабельных газотурбинных установок [Текст] / В. И. Горелов. – М. : Воениздат, 1972. – 312 с.
 6. **Спіцин, В. Є.** Будова газотурбінного двигуна типу UGT 25000E [Текст] : у 2 ч. Ч. 1 : Конструкція газотурбінного двигуна : навч. посіб. / В. Є. Спіцин, В. І. Харченко. – Миколаїв : НУК, 2007. – 52 с.
 7. Справочник инженера-механика судовых газотурбинных установок [Текст] ; под ред. В. Д. Речистера. – Л. : Судостроение, 1985. – 366 с.
 8. **Романовський, Г. Ф.** Камери згоряння судових газотурбінних двигунів [Текст] : навч. посіб. / Г. Ф. Романовський, С. І. Сербін. – Миколаїв : УДМТУ, 2000. – 259 с.
 9. Техническая эксплуатация судовых газотурбинных установок [Текст] ; под ред. Г. Ш. Розенберга. – М. : Транспорт, 1986. – 222 с.
 10. **Філоненко, О. О.** Будова газотурбінного двигуна типу UGT 25000E [Текст] : у 2 ч. Ч. 2 : Системи газотурбінного двигуна : навч. посіб. / О. О. Філоненко, В. І. Харченко. – Миколаїв : НУК, 2007. – 68 с.
-

ДОДАТОК





Розташування газовідводу на лівий бік

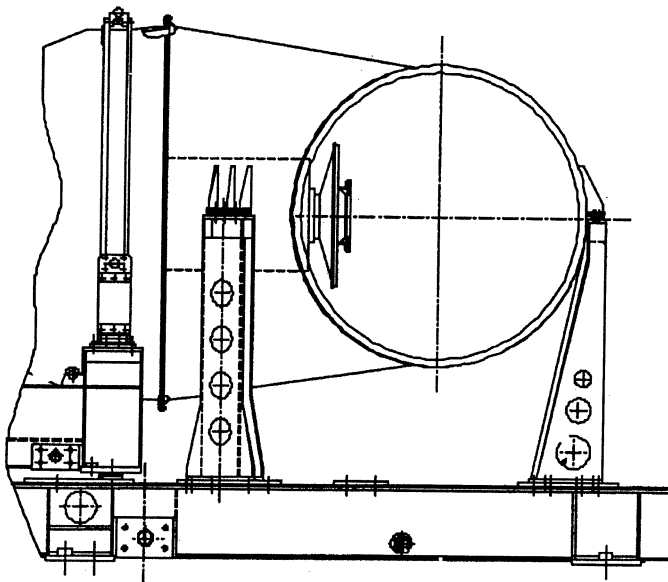
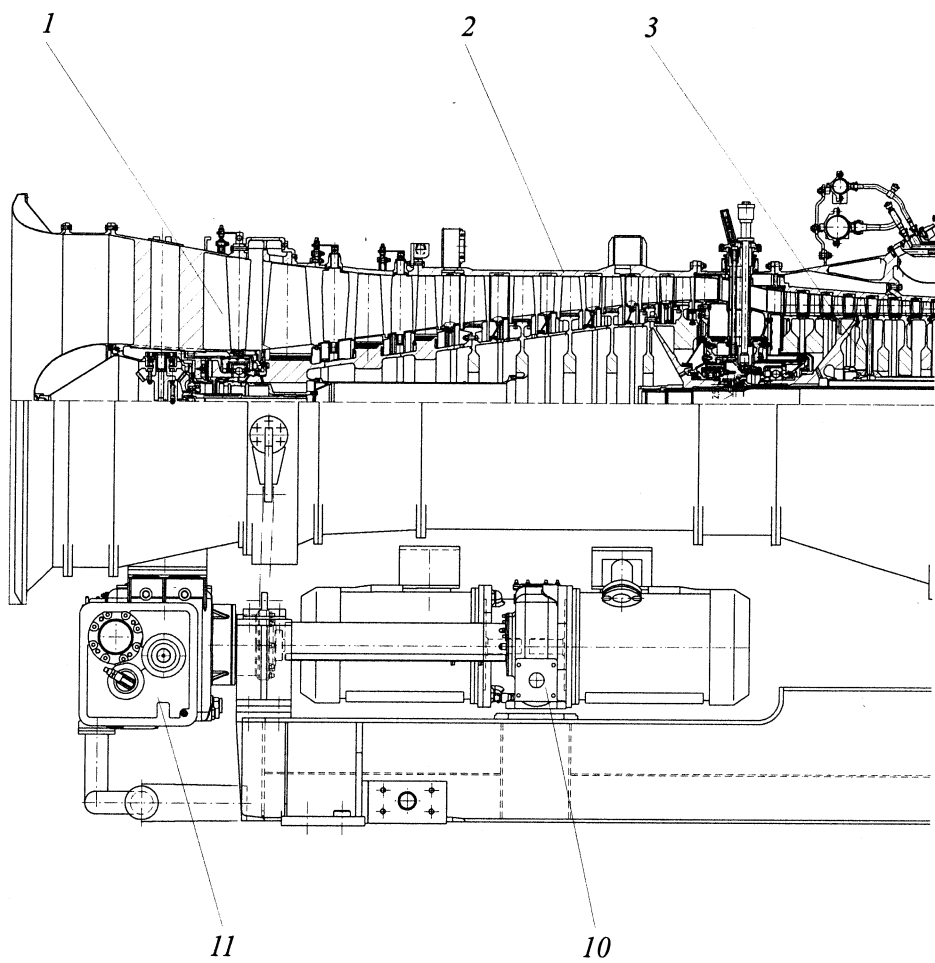


Рис. 3Д. Установлення двигуна ДГ80Л на рамі блока:

1 – рама блока двигуна; 2 – двигун; 3 – газовідвід; 4 – опора; 5, 9, 10 – прокладки;
6 – фіксатор; 7 – гвинт; 8 – гайка



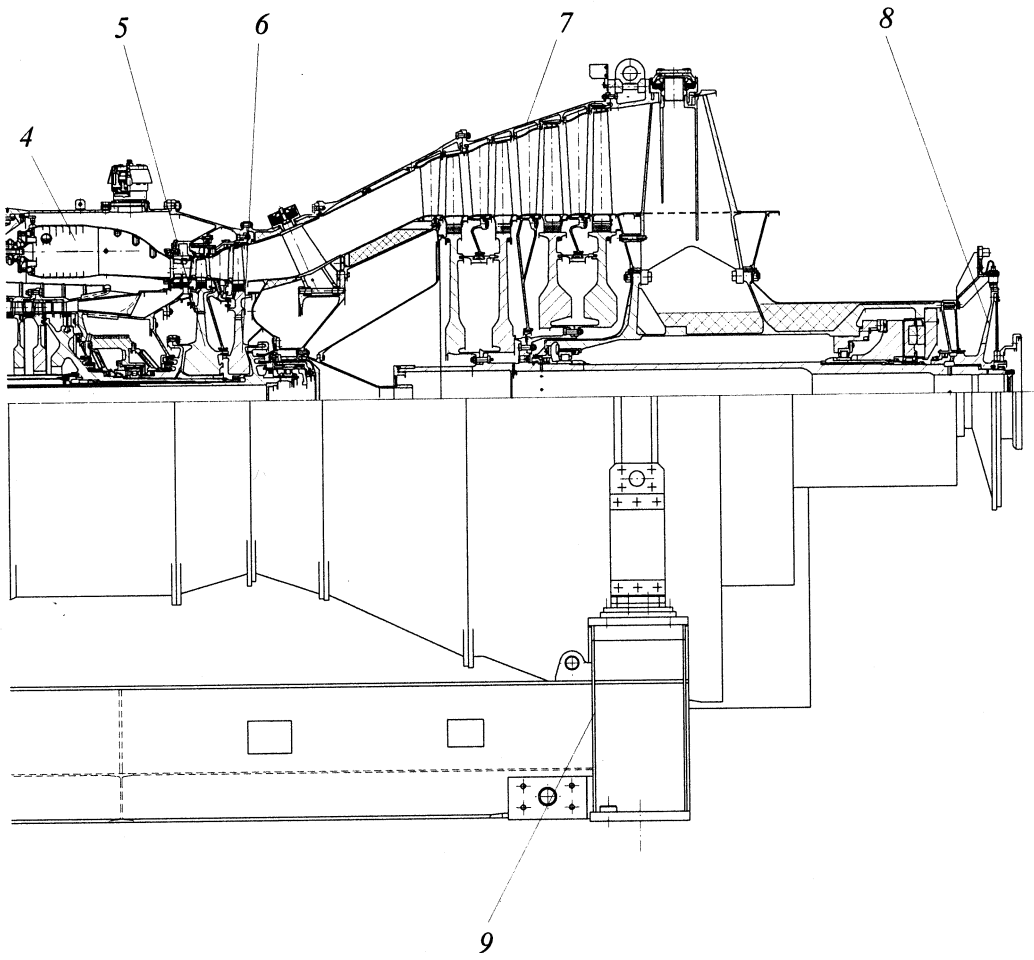
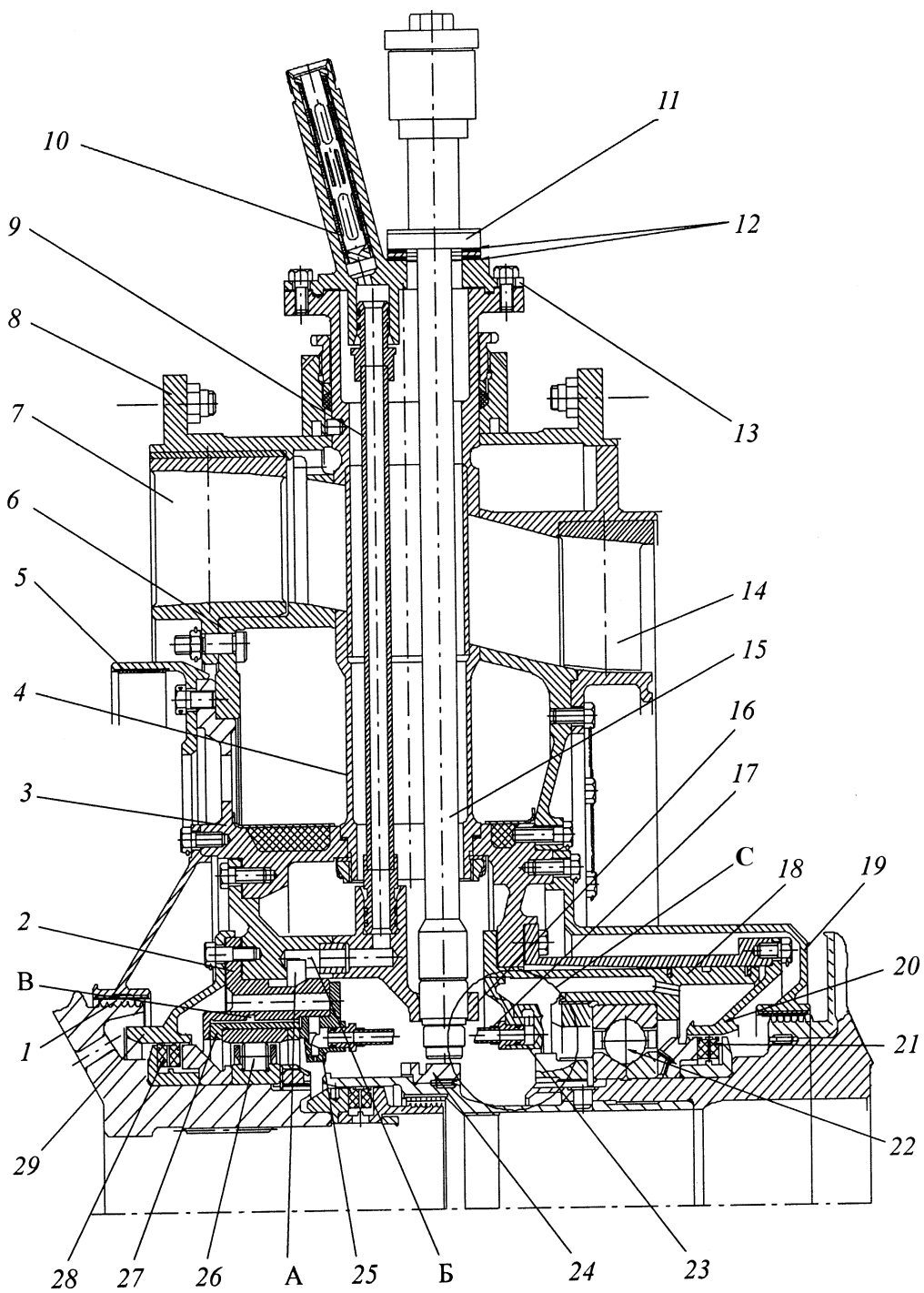


Рис. 4Д. Двигун ДГ80Л на рамі



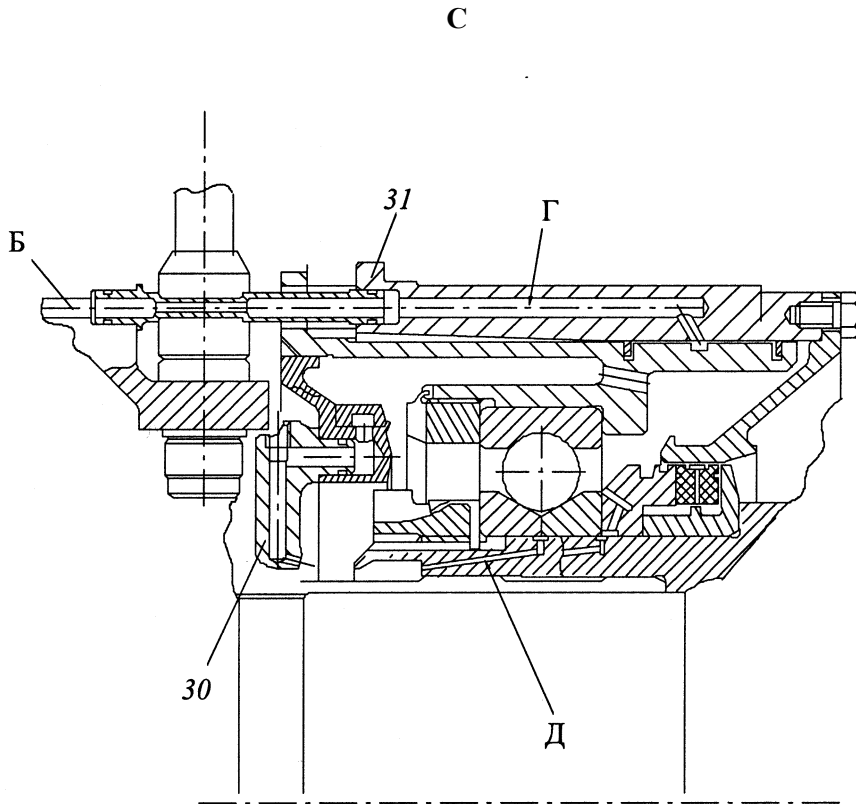
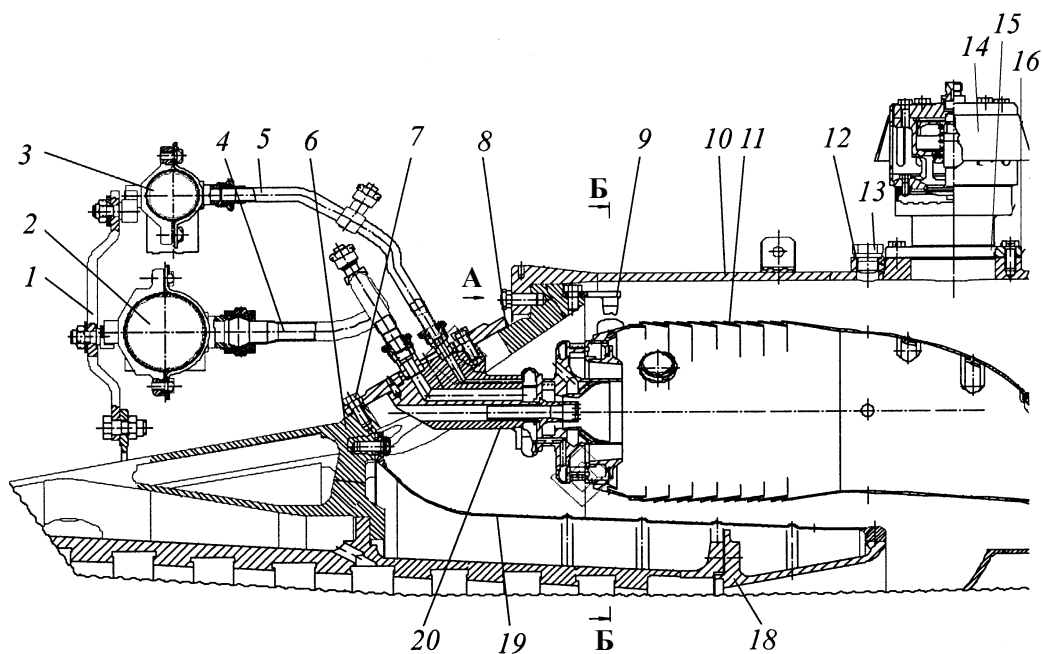


Рис. 10Д. Перехідник (розріз по підведенню масла й датчику):

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 шариковий 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

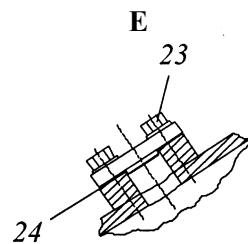
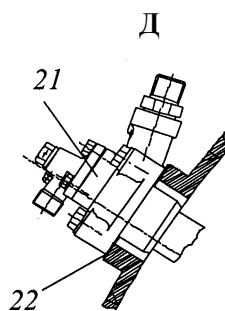
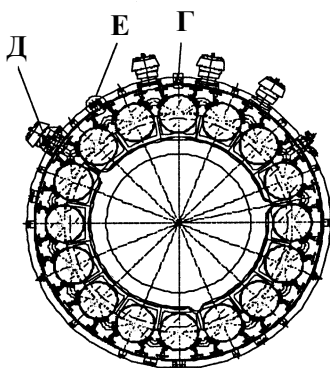


Схема розташування паливних колекторів
(вид за ходом газу)

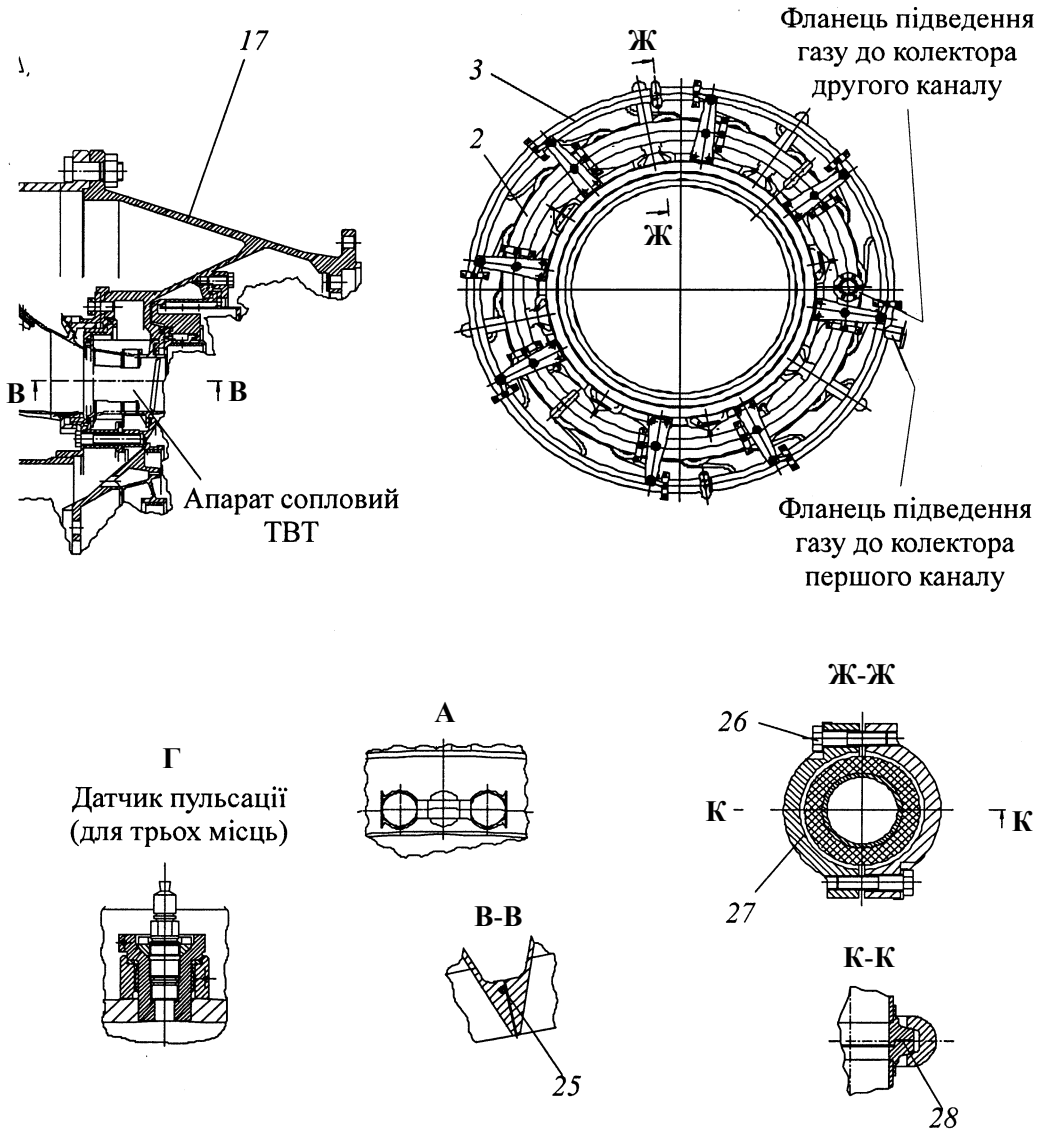


Рис. 12Д. Камера згоряння:

1 – підвіска; 2, 3 – колектор другого й першого каналів відповідно; 4, 5 – трубки підвідні другого й першого каналів відповідно; 6 – корпус КВТ; 7, 26 – гвинти; 8, 12, 16, 22, 24, 28 – прокладки; 9 – фіксатор; 10 – кожух камери згоряння; 11 – труба жарова; 13, 23 – заглушки; 14 – клапан перепуску повітря; 15 – стакан; 17 – корпус силовий; 18 – дифузор; 19 – кожух; 20 – пристрій пальниковий; 21 – запальник; 25 – елемент пружний; 27 – скоба

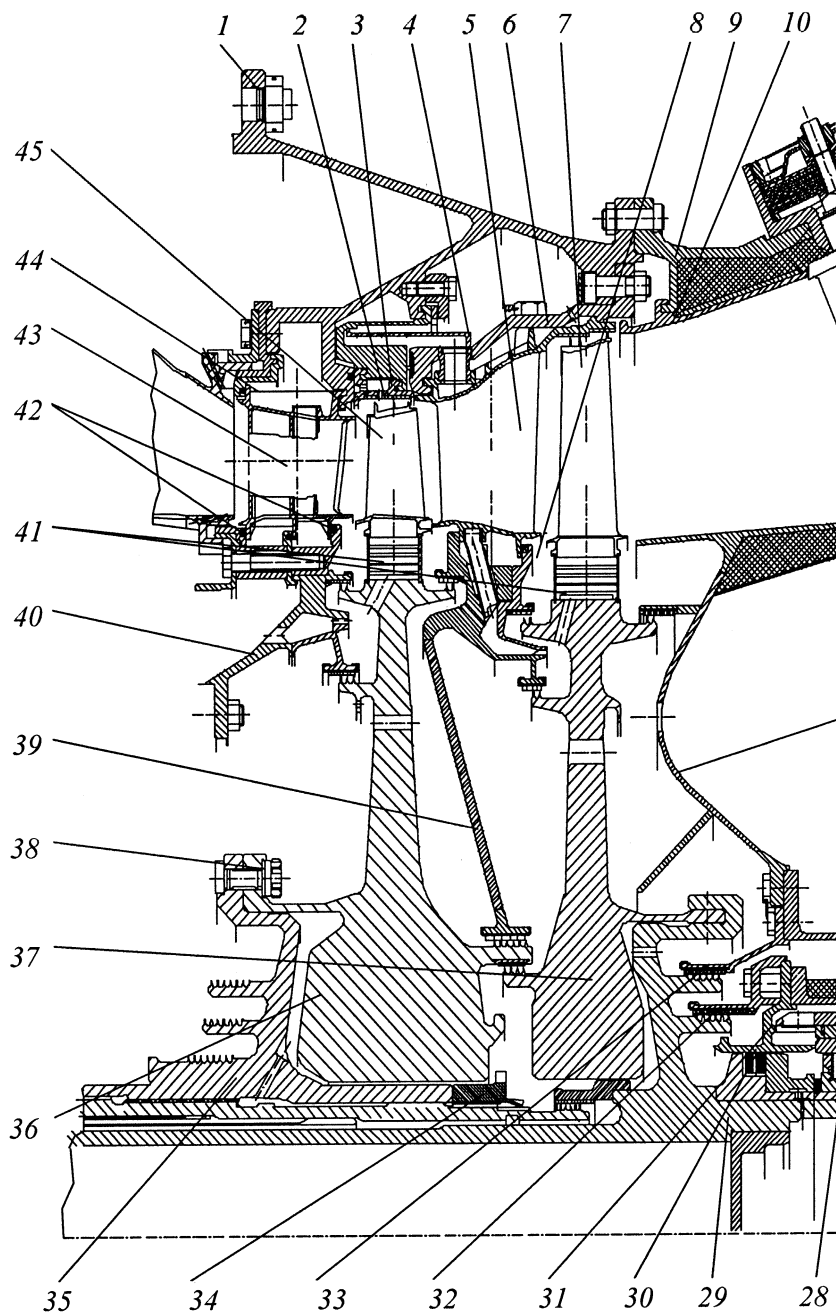
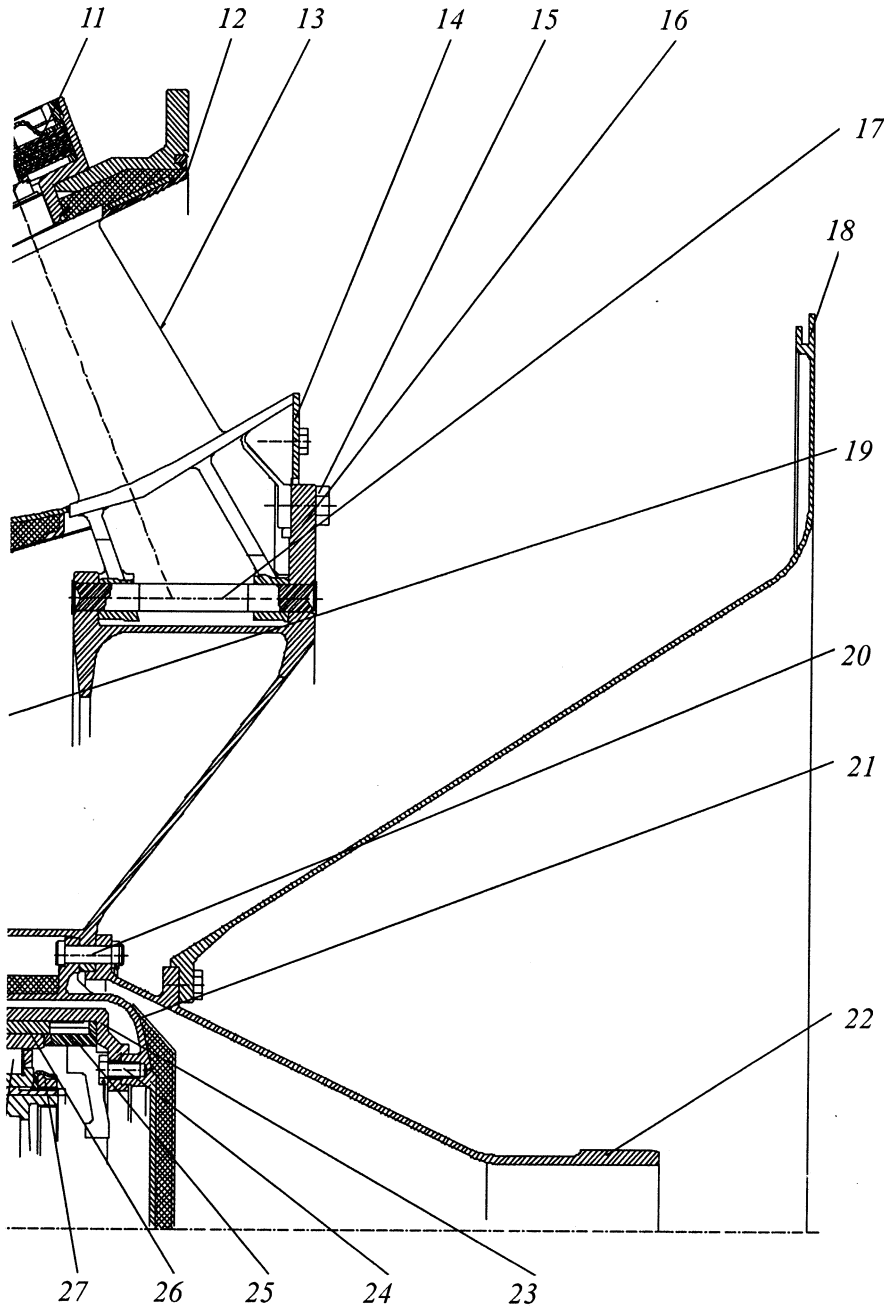


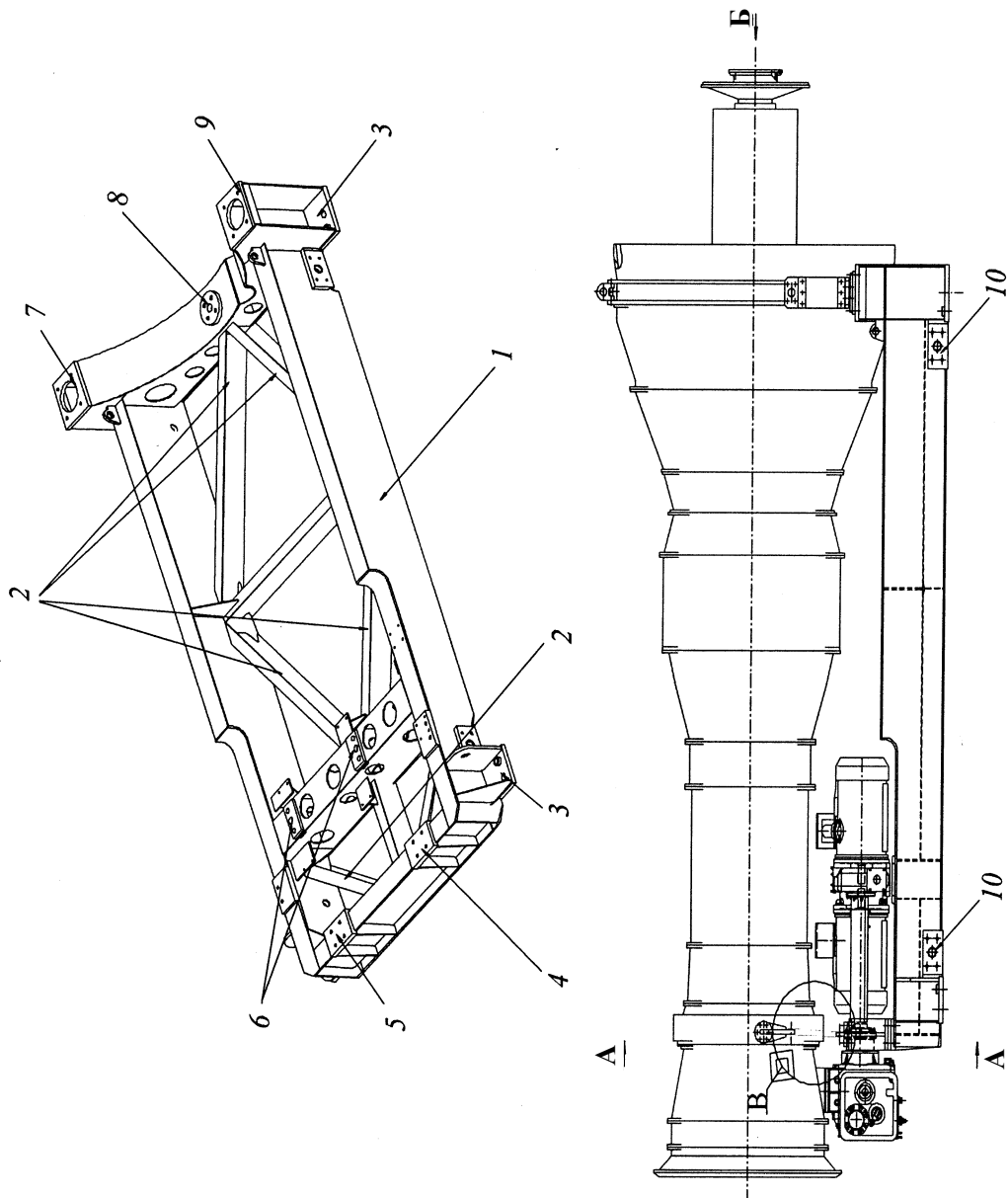
Рис. 17Д. Турбіна високого тиску

1 – корпус силловий; 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 соплова



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; і робоча ТВТ відповідно



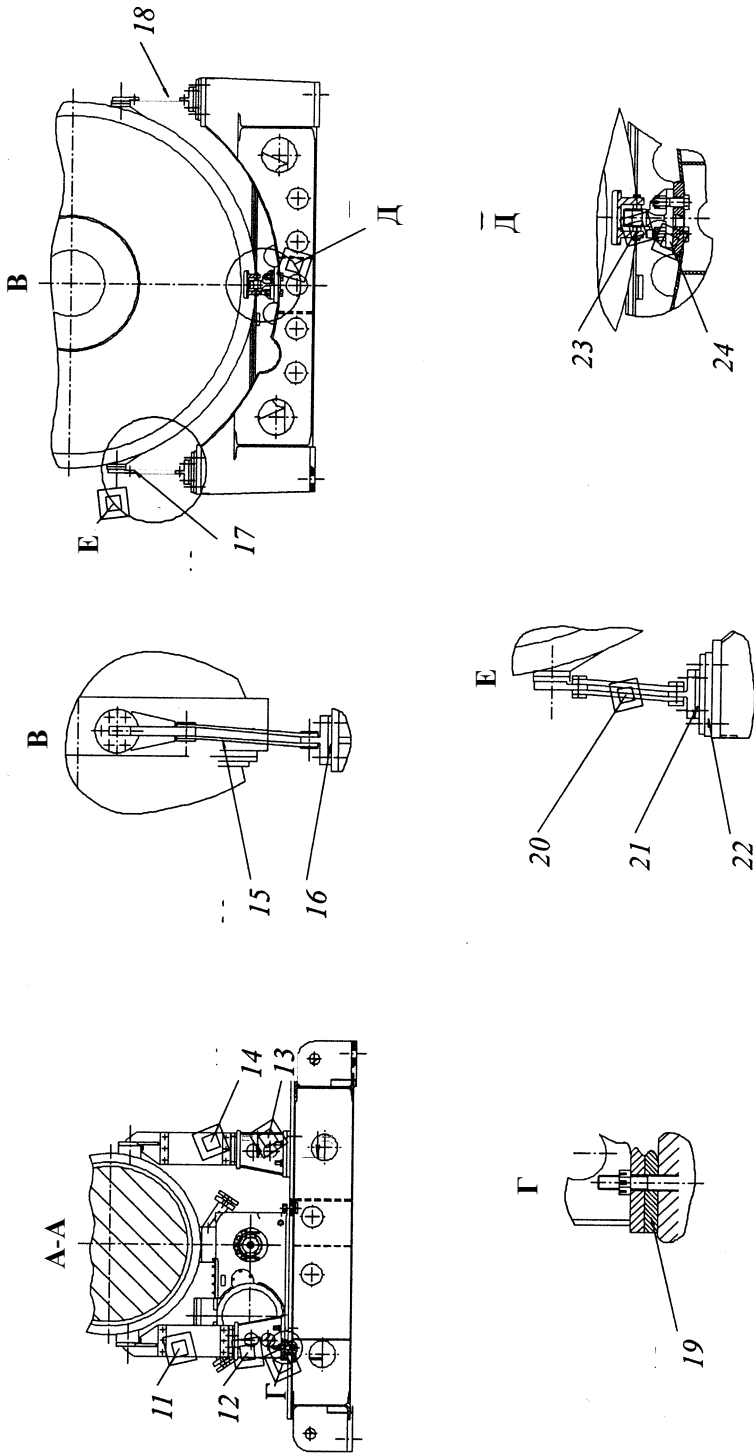
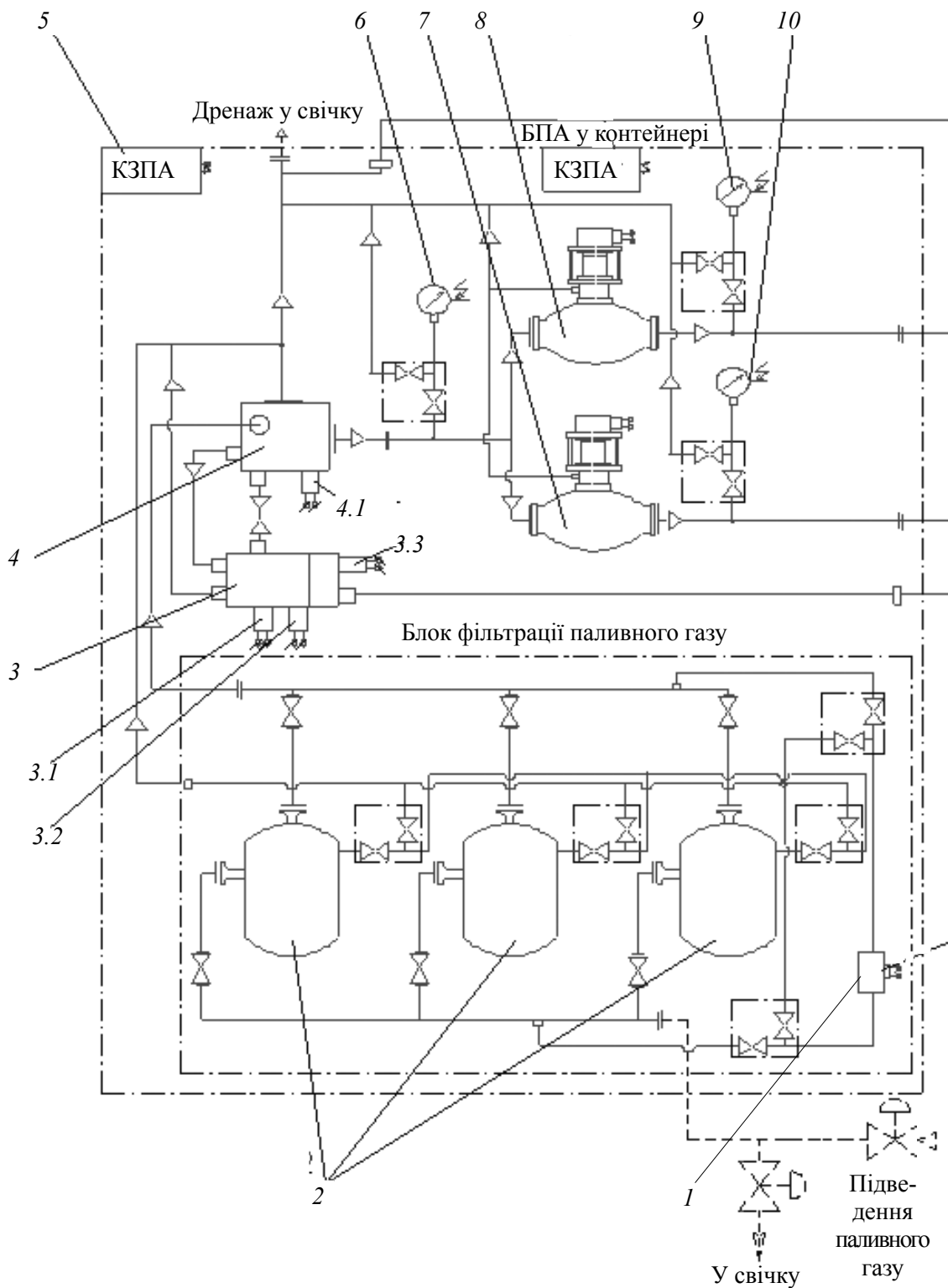


Рис. 21Д. Рама й опори двигуна



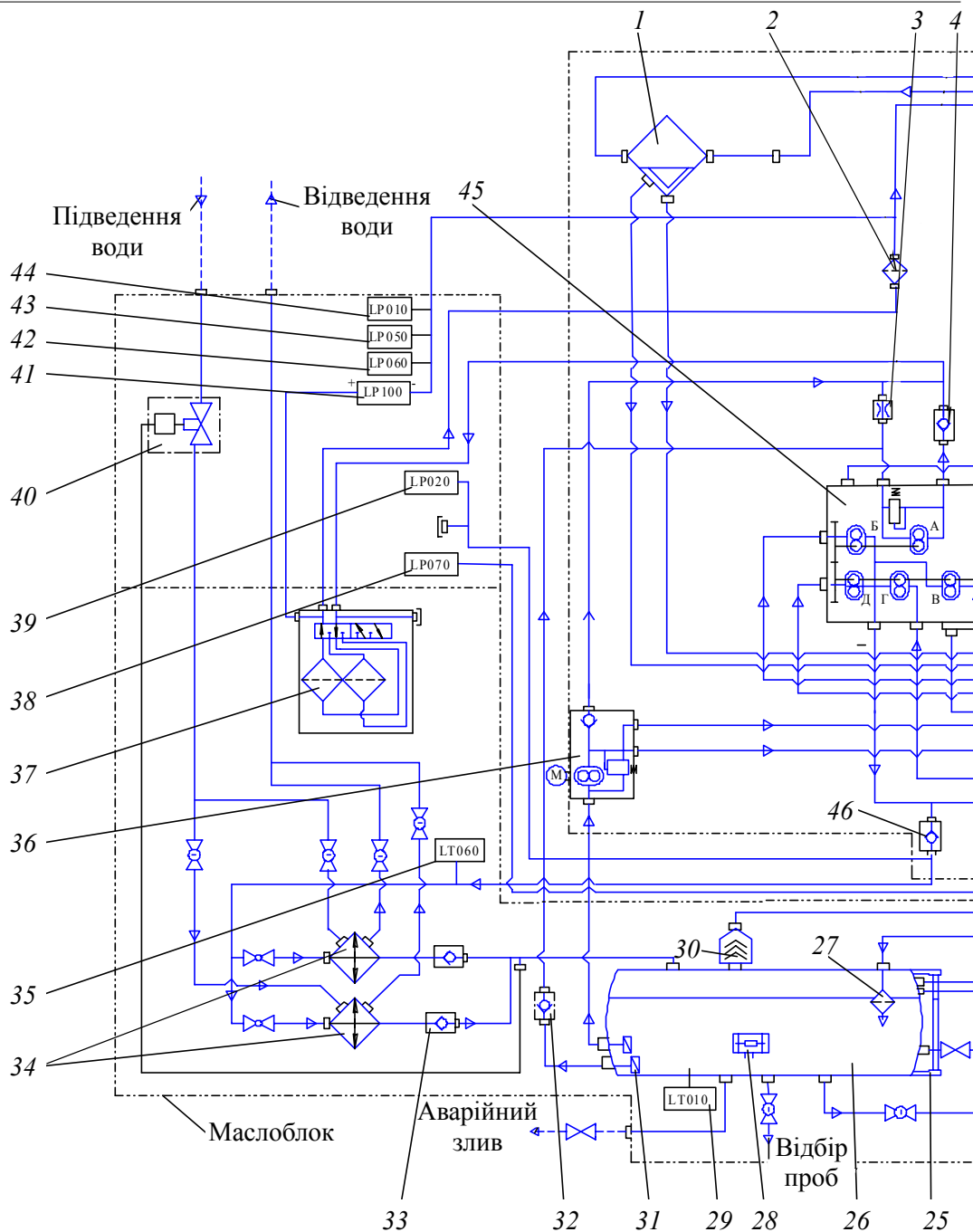
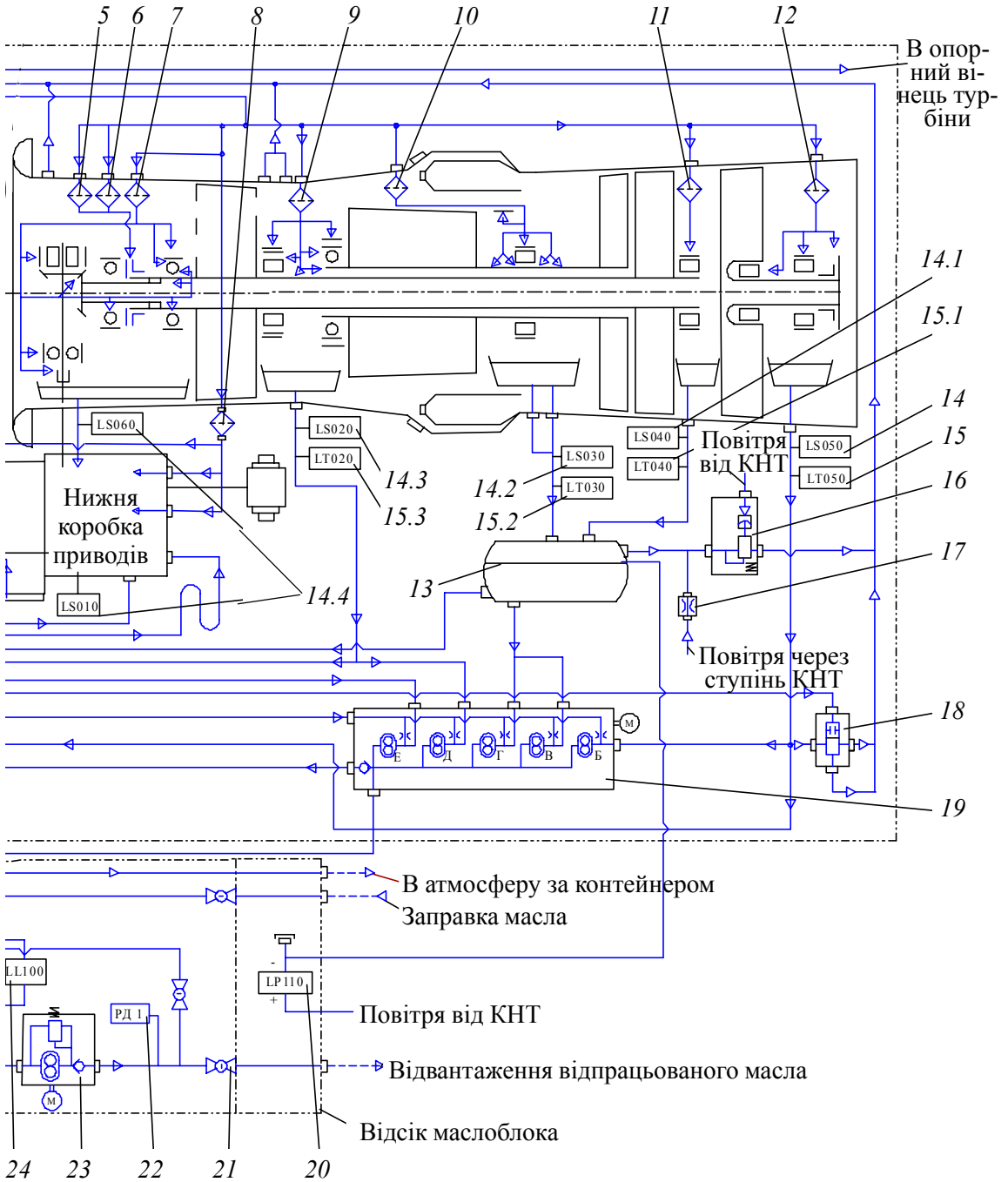


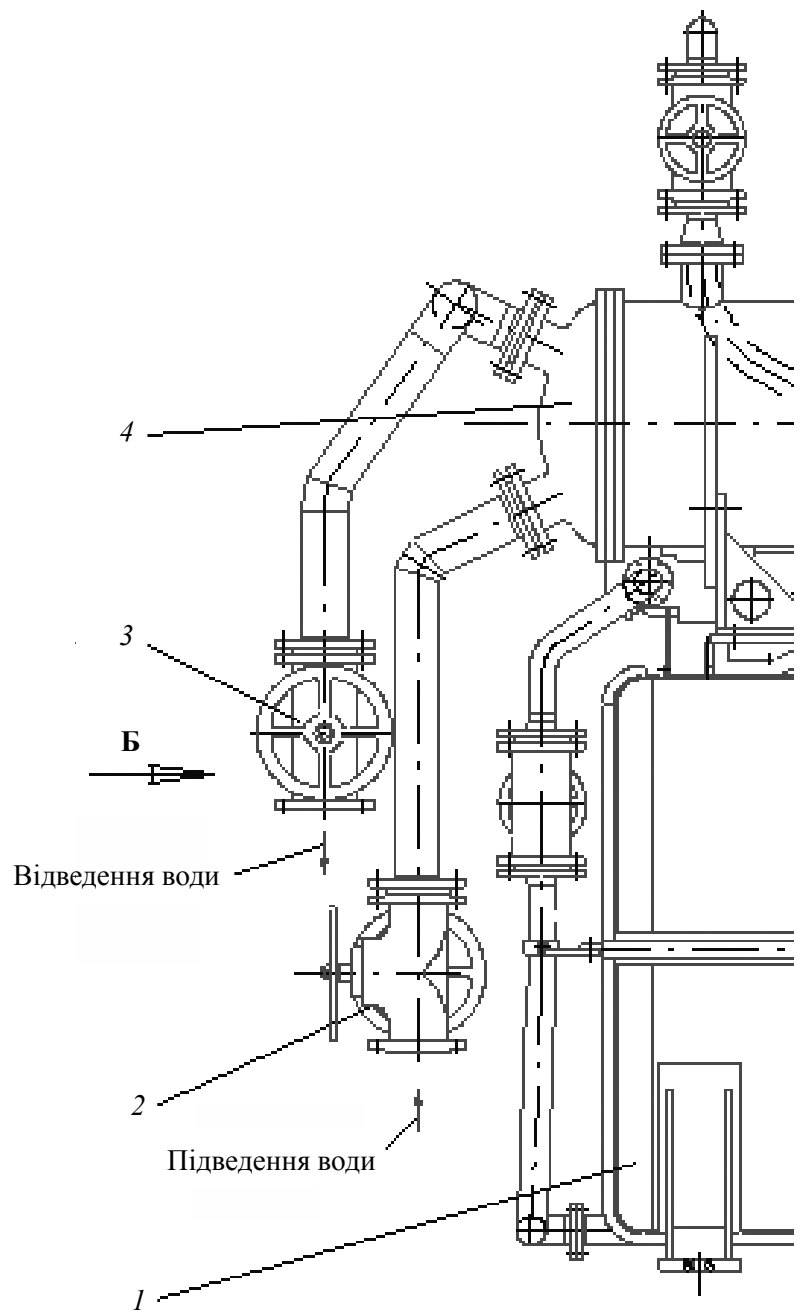
Рис. 31Д. Схема змащення

1 – статичний масловіддільник; 2, 37 – фільтри; 3, 17 – дросельні шайби; 4, 32, 33, 46 – зворотні стружки; 15, 15.1...15.3, 29, 35 – термометрові опори; 16 – регулятор перепаду тиску; 18 – клапан; 22 – реле тиску; 23 – маслоагрегат з електроприводом; 24 – сигналізатор мінімального і 30 – суфляр; 31 – приймальна сітка; 34 – маслоохолоджувачі; 36 – нагнітальний маслоагрегат; 38, 42, 41 – реле різниці тисків; 45 –



двигуна:

клапани; 5...12 – захисні фільтри; 13 – масловіддільний бак; 14, 14.1...14.5 – магнітні сигналізатори автоматичний клапан; 19 – відкачувальний маслоагрегат; 20 – датчик різниці тисків; 21 – запірний максимального рівня масла; 25 – стовпчик; 26 – циркуляційний бак; 28 – підігрівник масла; 43 – сигналізатори тиску; 39, 44 – датчики надлишкового тиску; 40 – регулятор температури; маслоагрегат



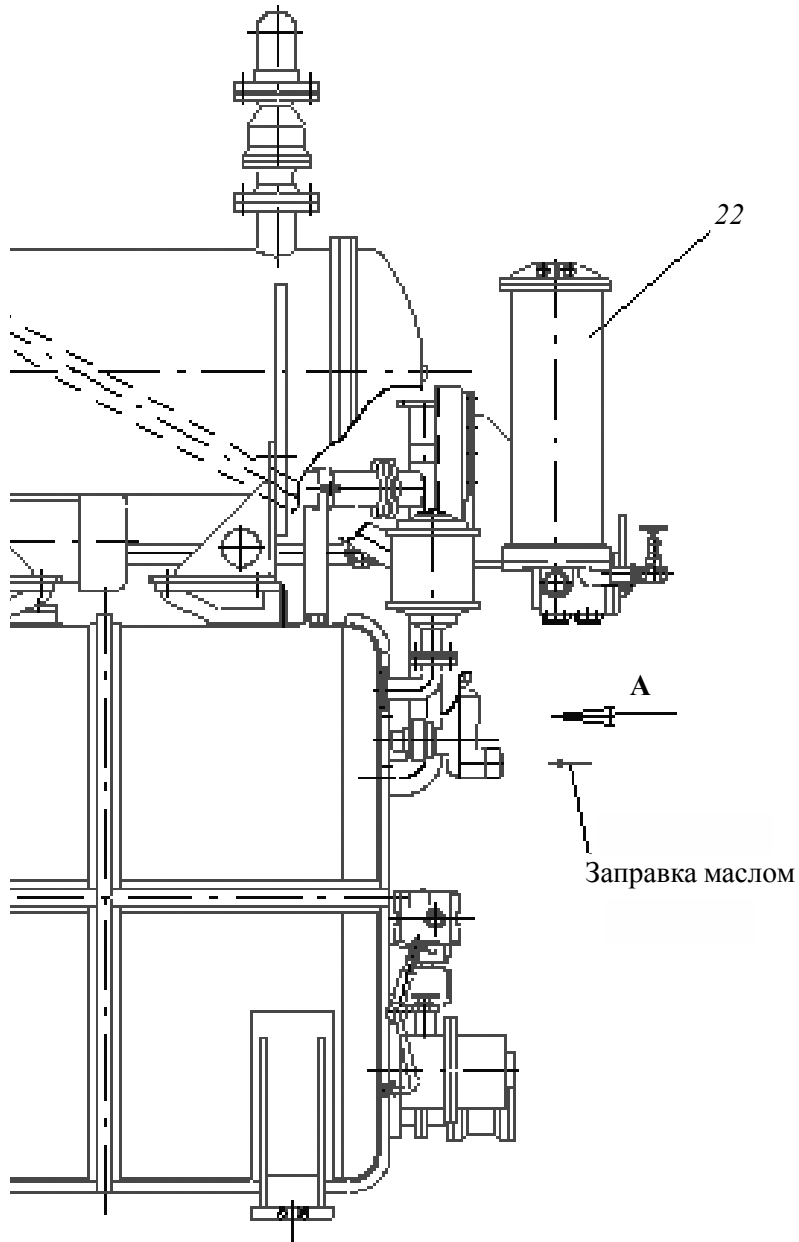
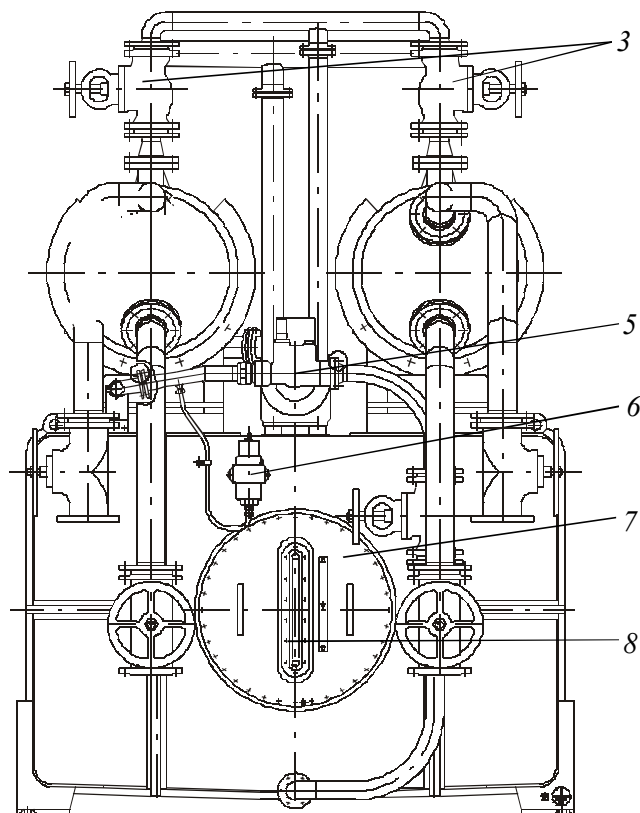


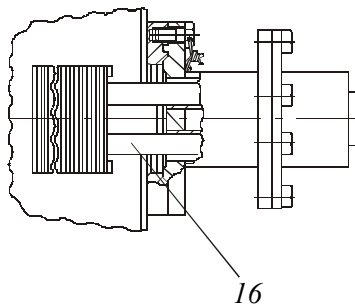
Рис. 32Д. Маслоблок:

- 1 – маслобак; 2, 3 – запірні клапани; 4 – маслоохолоджувачі; 5 – маслоагрегат з електроприводом; 6 – реле різниці тисків; 7 – кришка; 8 – мірне скло;
 9, 10, 12, 21 – запірні клапани; 11 – датчик різниці тисків; 13 – термоперетворювач опору; 14 – суфляр; 15, 18 – зворотні клапани; 16 – підігрівник масла;
 17, 19, 20, 22 – фільтри

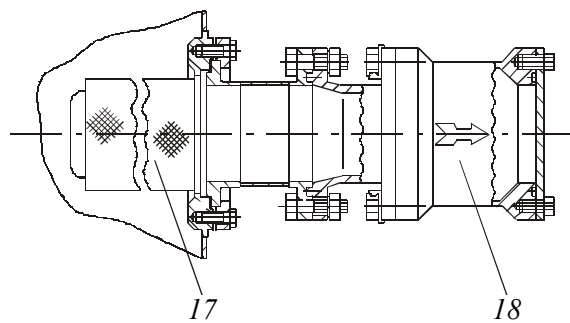
А



Д-Д



Ж-Ж



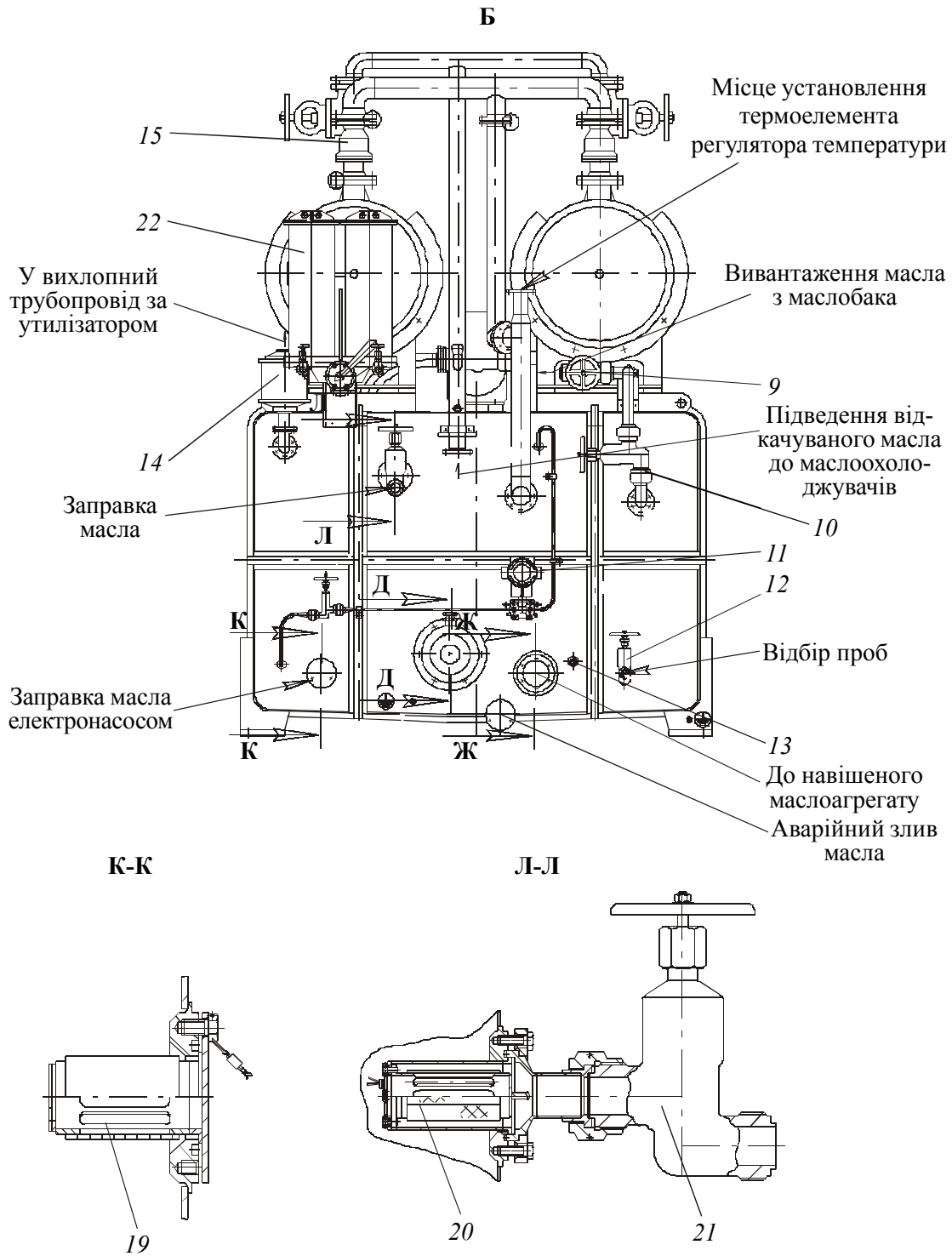
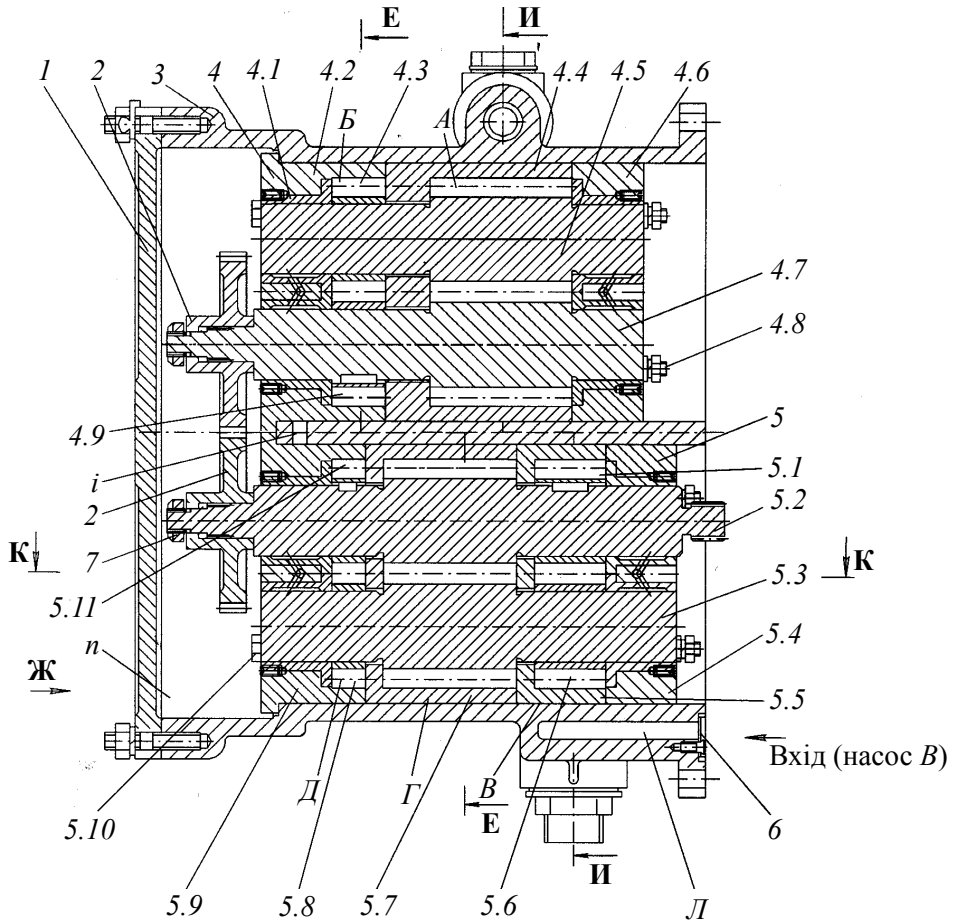
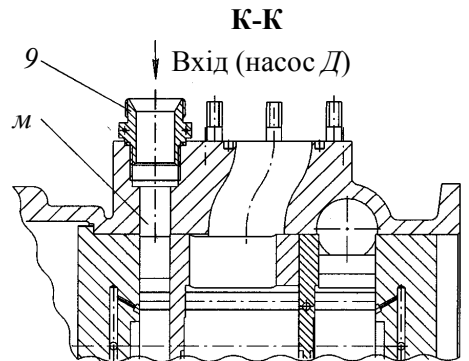
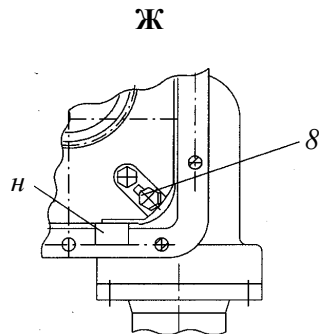


Рис. 33Д. Маслоблок



Кришка 1 умовно не показана



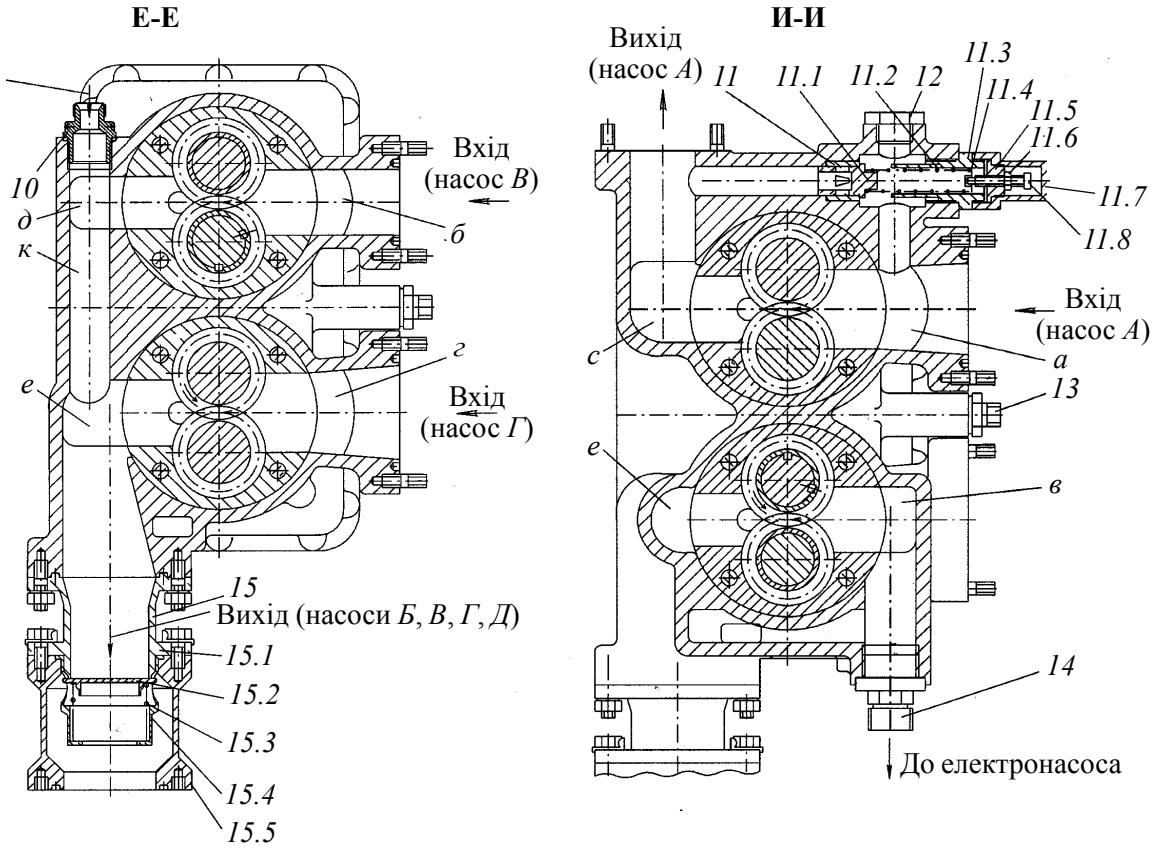
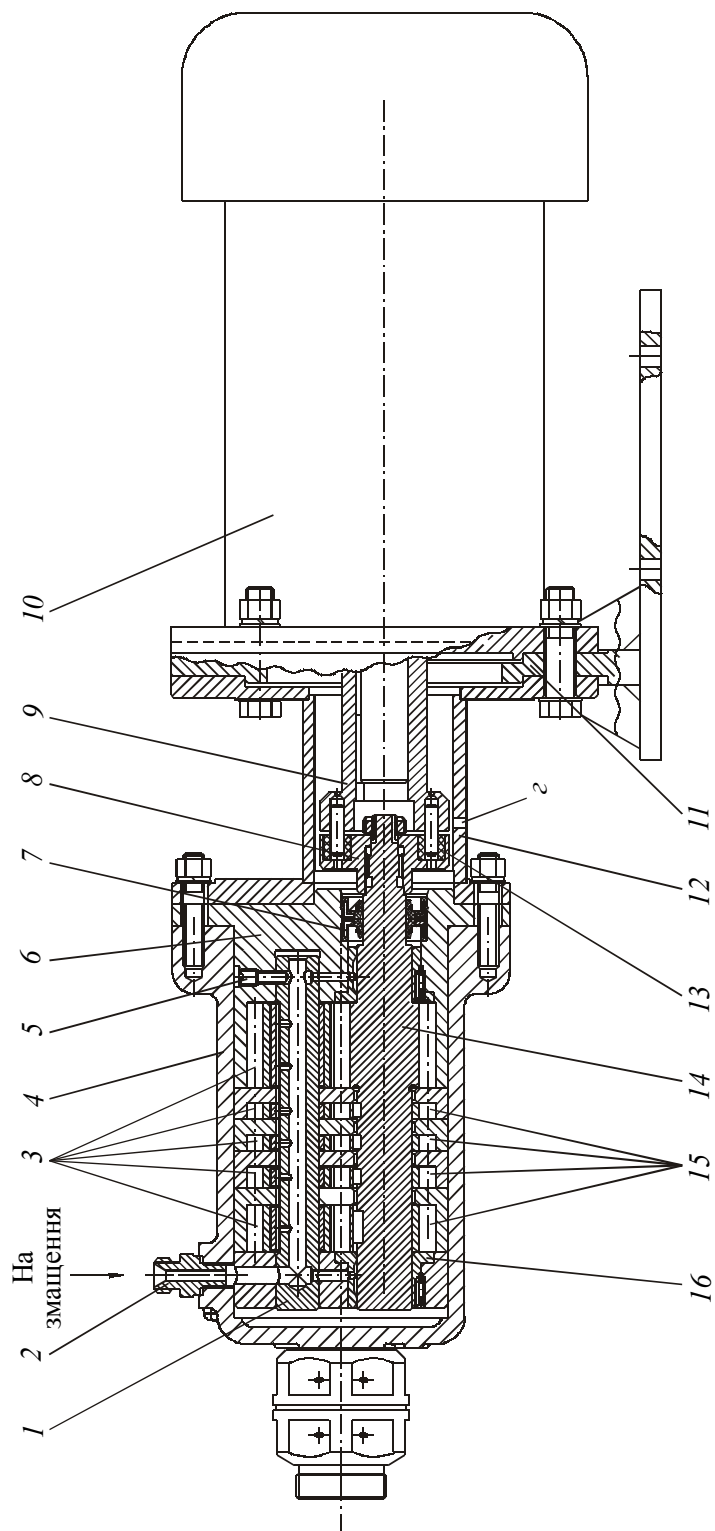


Рис. 34Д. Маслоагрегат:

А – нагнітальний насос; *Б, В, Г, Д* – відкачувальні насоси; *а, б, в, г, м* – порожнини всмоктування; *с, д, е* – порожнини нагнітання; *і, к, н* – канали; *п, л* – порожнини; *1* – кришка; *2* – привідна шестірня; *3, 15, 15.4, 15.5* – корпуси; *4, 5* – пакети насосів; *4.1* – втулка; *4.2, 5.9* – верхні проставки; *4.3, 4.5, 4.7, 4.9, 5.1, 5.2, 5.3, 5.6, 5.8, 5.11* – шестерні; *4.4, 5.5, 5.7* – середні проставки; *4.6, 5.4* – нижні проставки; *4.8, 5.10* – болти; *6* – сітка; *7, 11.6* – гайки; *8* – гвинт; *9, 10, 11.5, 13, 14* – штуцери; *11* – редукційний клапан; *11.1, 15.2* – клапани; *11.2, 15.3* – пружини; *11.3* – корпус клапана; *11.4* – тарілка; *11.7* – ковпачок; *11.8* – регулювальний гвинт; *12* – заглушка



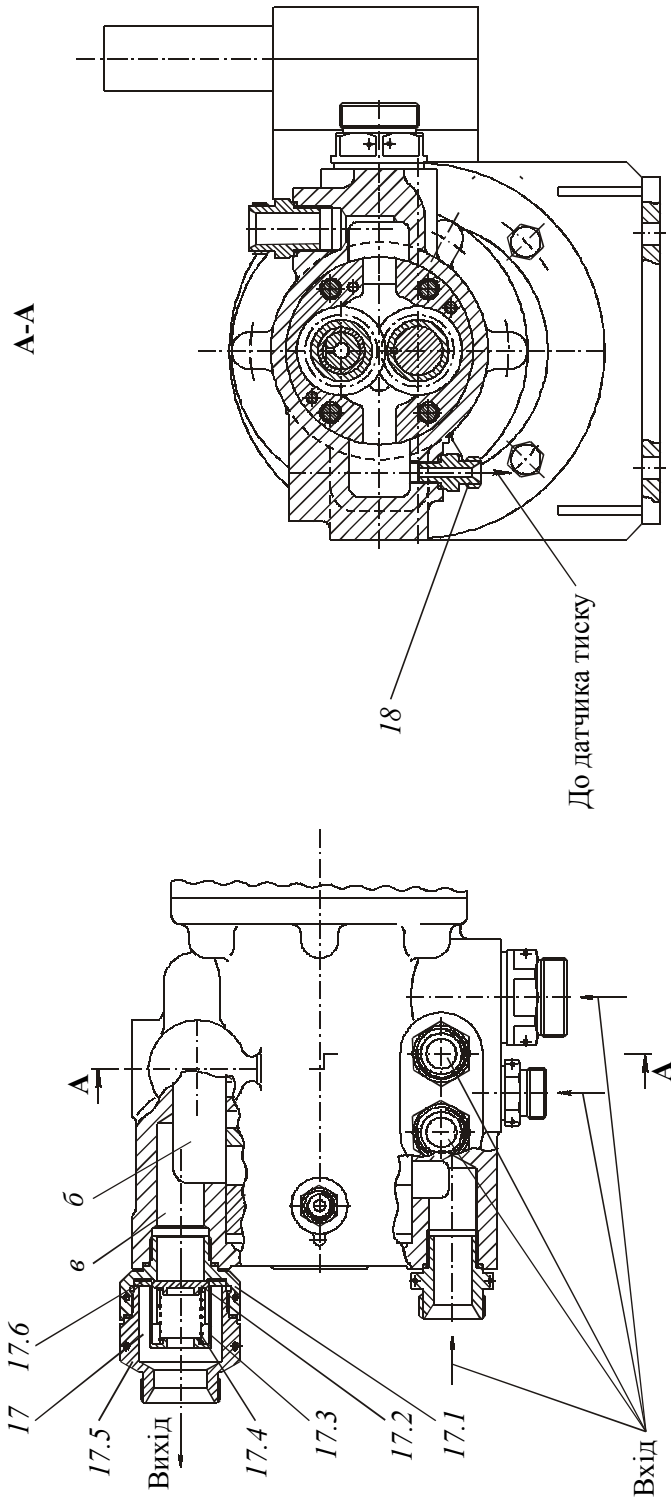
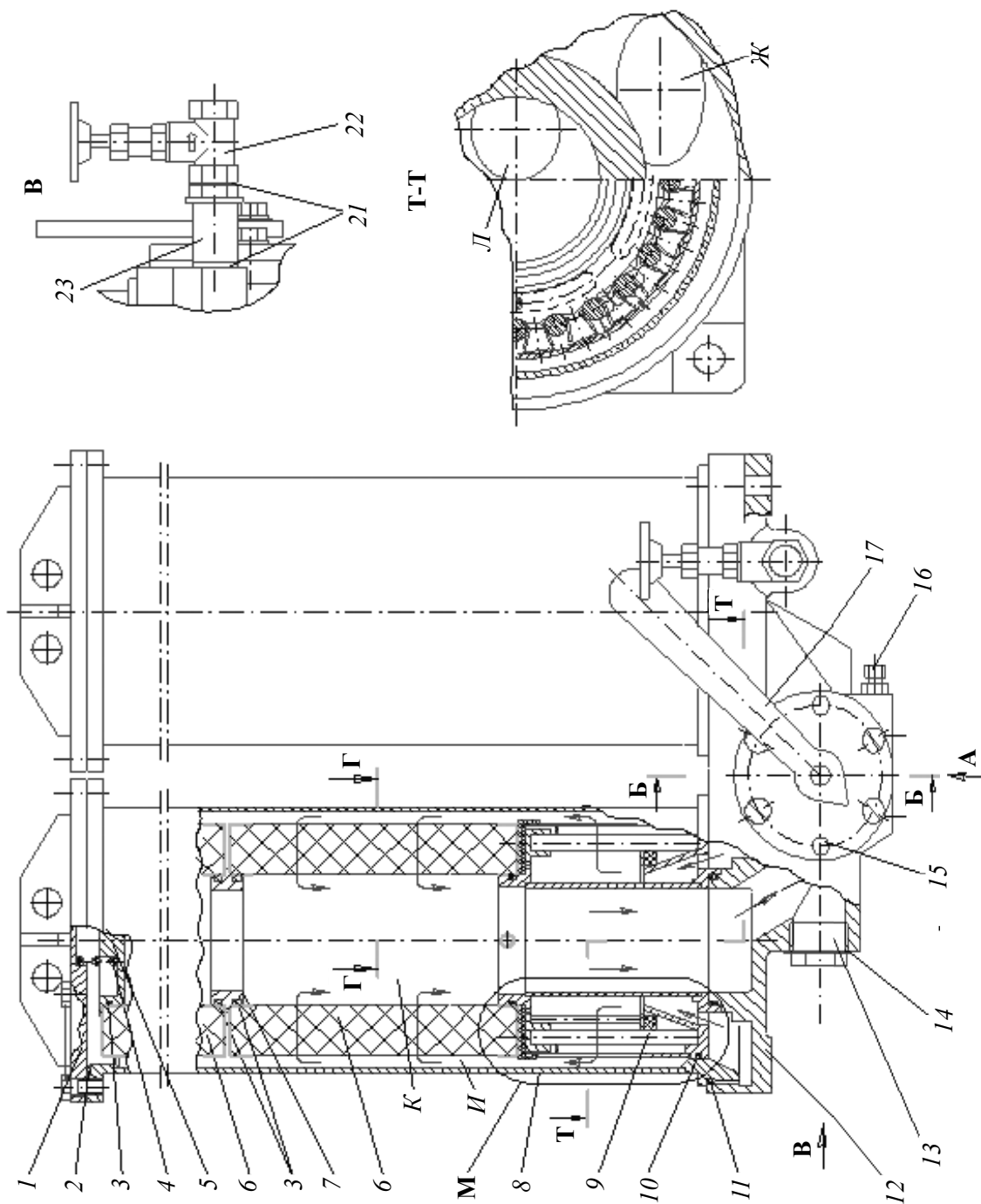


Рис. 36Д. Відкачувальний маслоагрегат з електроприводом:

6 – порожнина; 6 – канал; 2 – отвір; 1 – вісь; 2, 17.1, 18 – шпунцери; 3 – ведені робочі шестірни; 4, 17.5 – корпуси; 5 – гвинт; 6 – пакет відкачувальних насосів; 7 – сальник; 8, 9 – півмуфти; 10 – електродвигун; 11 – кронштейн; 12 – перехідник; 13 – гумовий палець; 14 – вал-шестірна; 15 – робоча ведуча шестірна; 16 – втулка; 17 – зворотний клапан; 17.2 – клапан; 17.3 – стакан; 17.4 – пружина; 17.6 – пружинна шайба



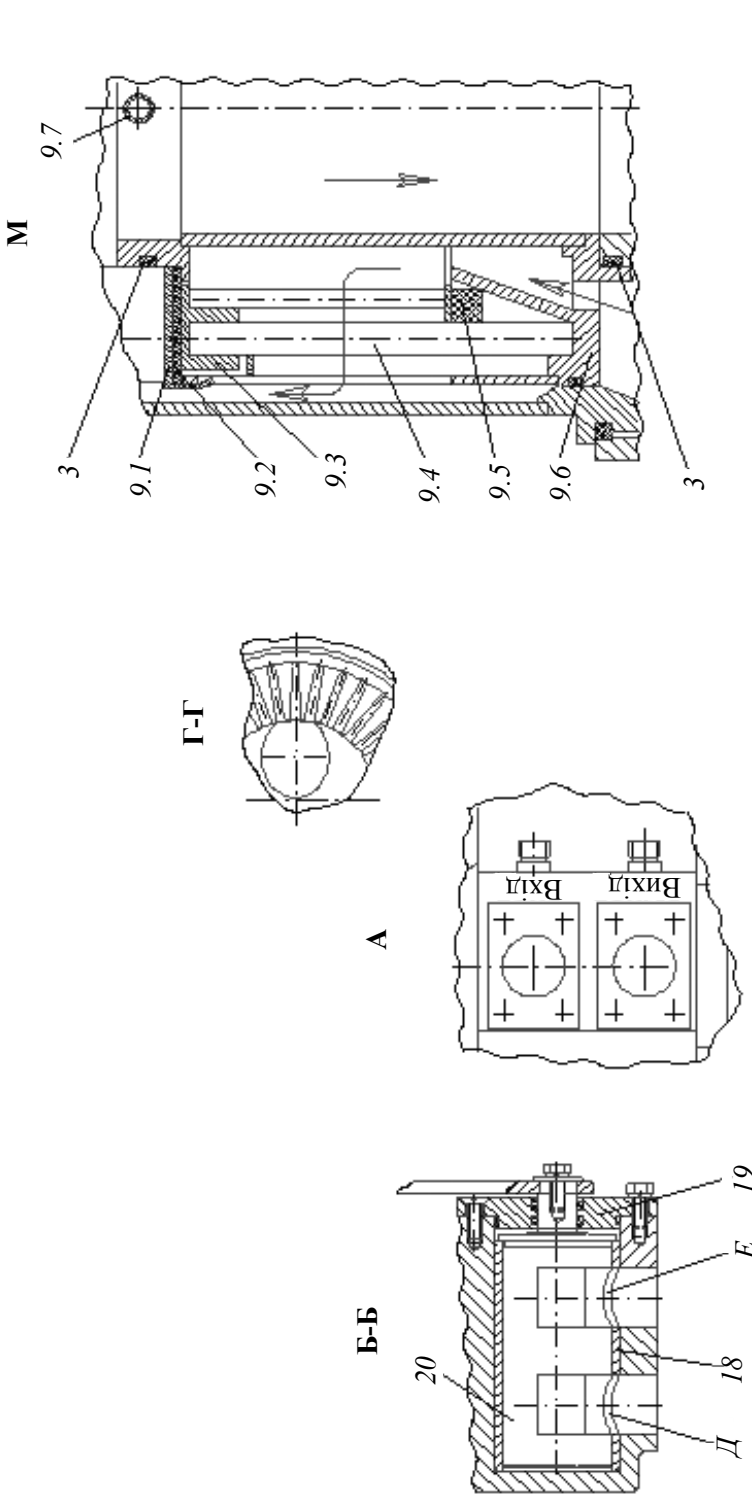
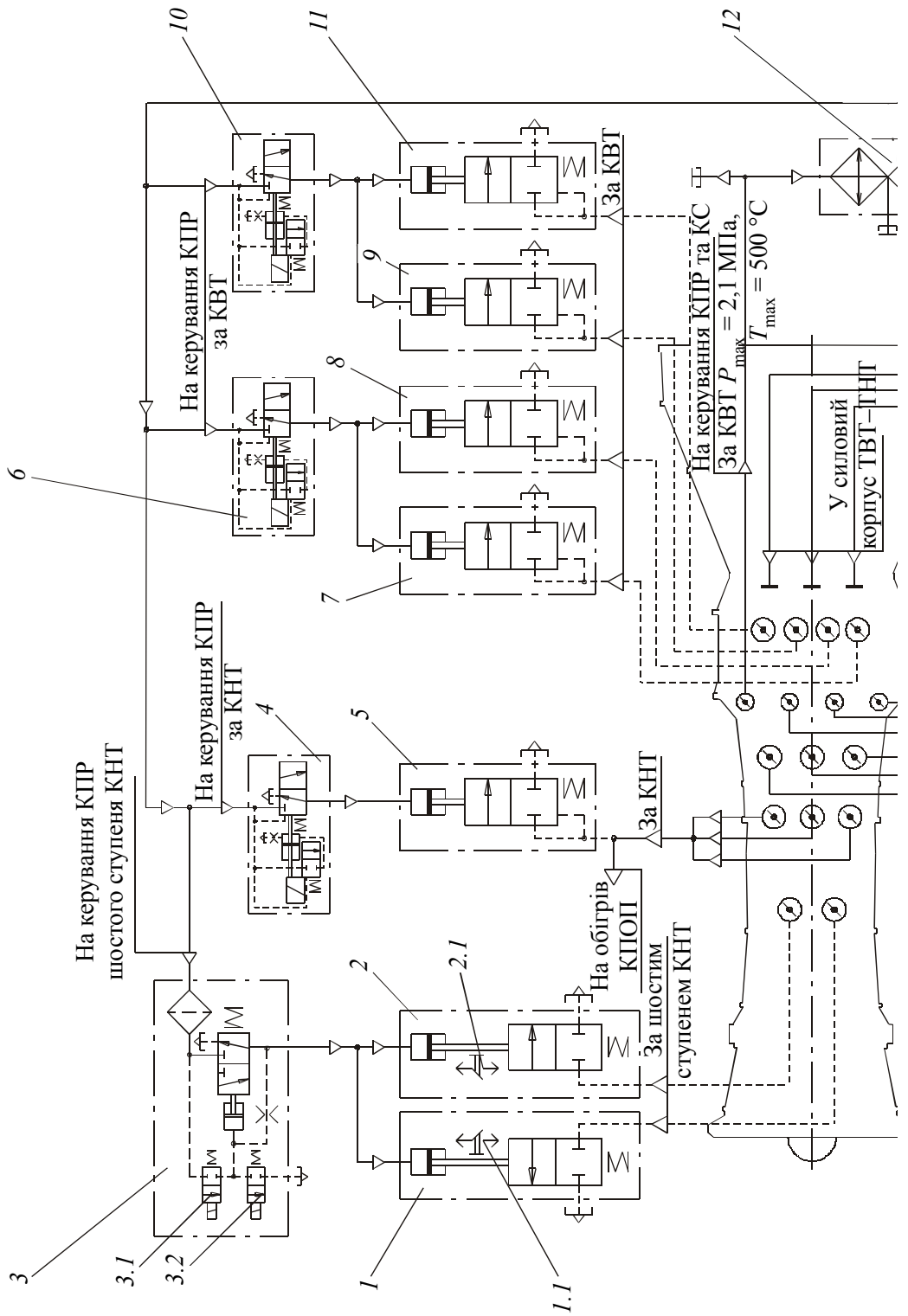


Рис. 38Д. Масляний фільтр:

Д – вікно відведення масла від фільтрувальних елементів; *Е* – вікно підведення масла до фільтрувальних елементів; *Ж*, *Л* – канали відповідно підведення та відведення масла; *К* – внутрішня порожнина фільтроелемента; *И* – кільцева порожнина навколо фільтроелементів; *1, 5, 9.1, 9.3, 19* – кришки; *2, 3, 10, 11, 14* – ущільнювальні кільця; *4* – пружина; *6* – фільтрувальний елемент; *7* – проставка; *8* – циліндр; *9* – магнітний фільтропакет; *9.2, 21* – прокладки; *9.4, 21* – прокладки; *9.5* – затвор; *9.6, 12* – корпуси; *9.7* – ручка; *13* – заглушка; *15* – гвинт; *16, 23* – штуцери; *17* – рукоятка; *18* – втулка; *20* – кран; *22* – клапан



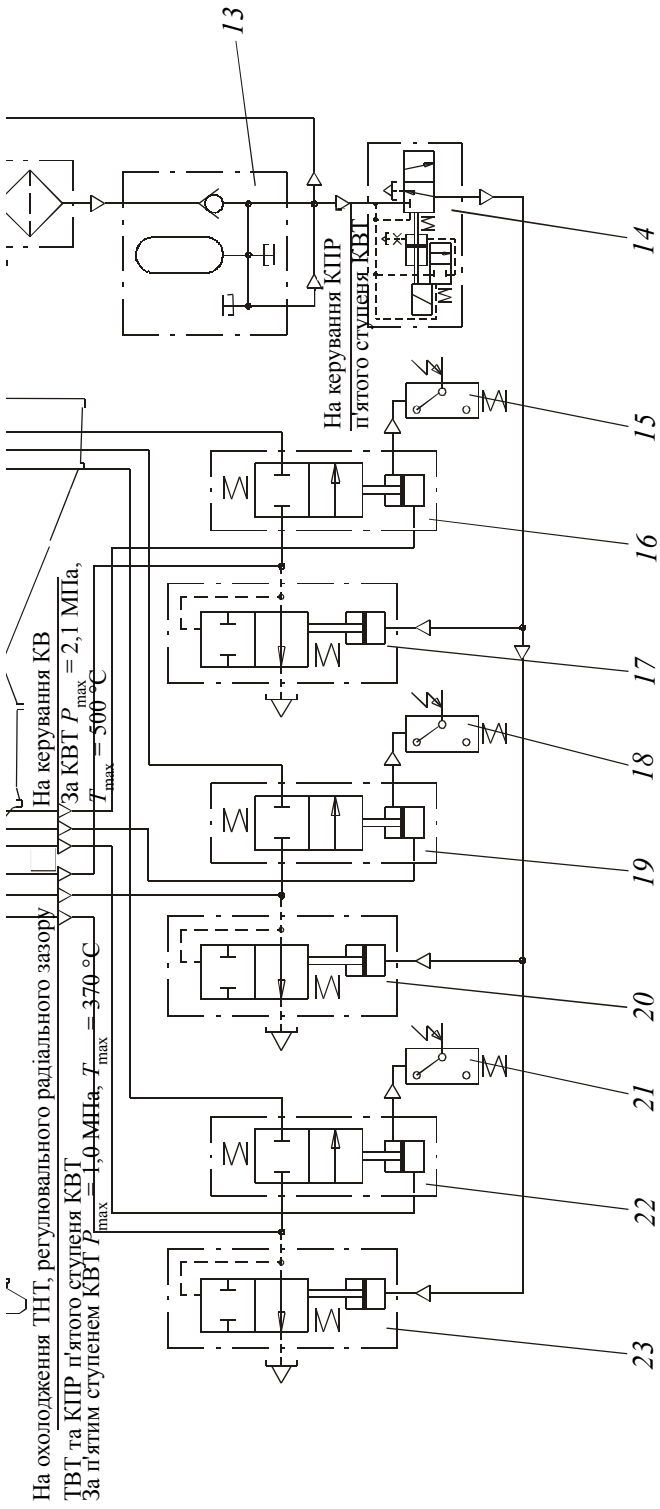


Рис. 46Д. Система пневмокерування двигуном

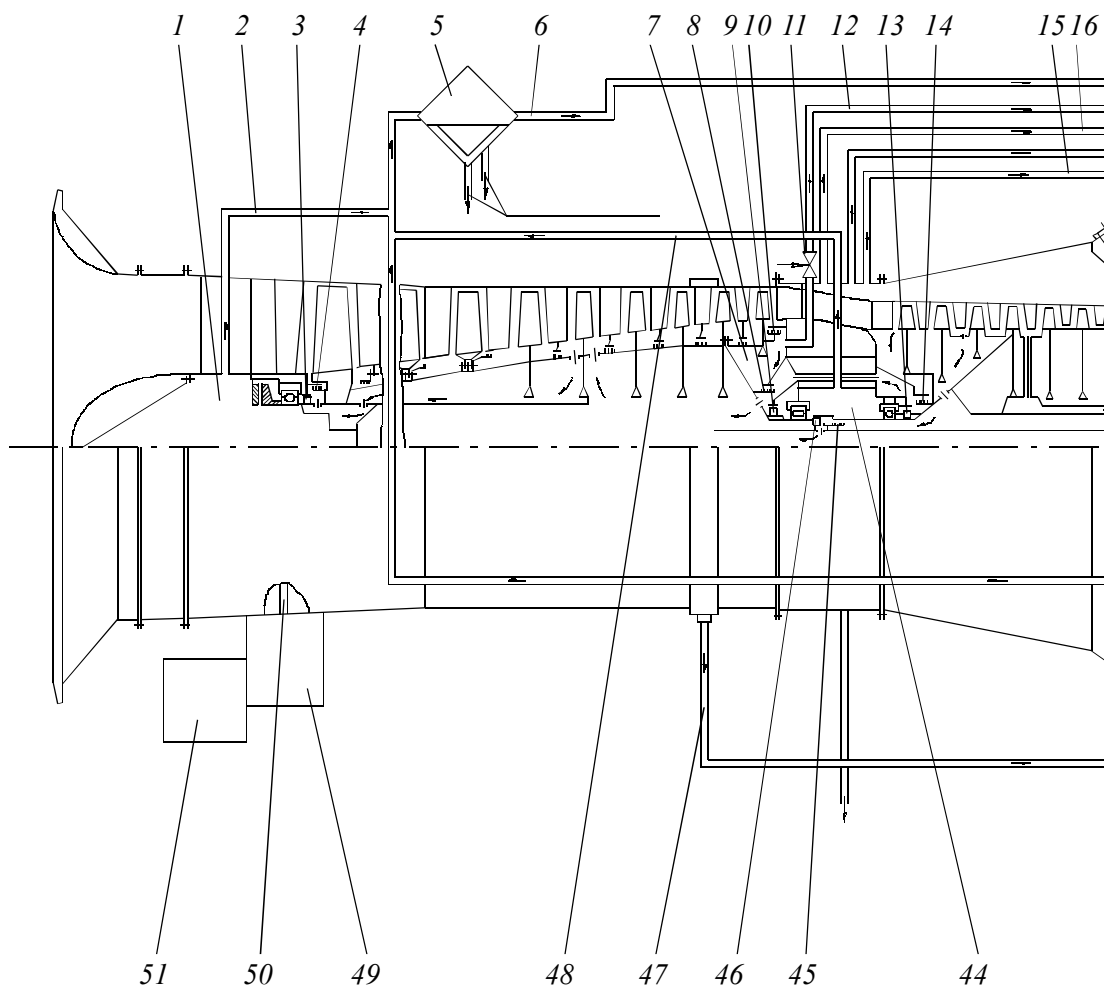
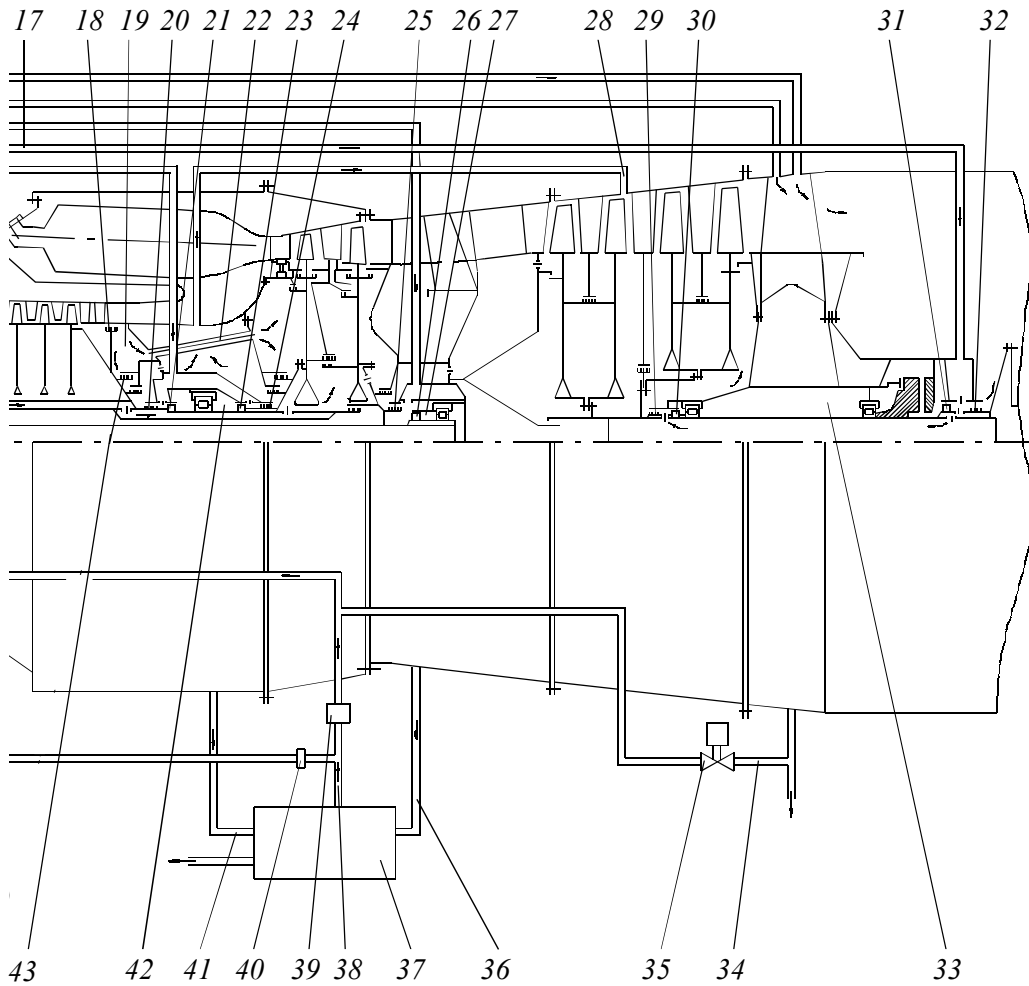


Рис. 51Д. Система суфлювання

6 – труба відведення повітря зі статичного масловіддільника; 7 –
 11 – регулювальний кран; 12 – труба стравлювання повітря з розвантажувальної
 28 – труба стравлювання повітря з міжлабіринтових



і розвантаження:

розвантажувальна порожнина КНТ; 10, 18, 43 – лабіринтові ущільнення;

порожнини КНТ; 22 – труба перепуску повітря;

порожнин заднього корпусу КВТ; інші позиції описані в тексті

ЗМІСТ

Передмова	3
Перелік прийнятих скорочень	4
1. Опис і робота газотурбінного двигуна типу UGT 25000E	6
1.1. Призначення двигуна	6
1.2. Основні технічні характеристики	6
1.3. Склад ГТЕ-25НГ80	8
1.4. Робота ГТЕ-25НГ80	9
2. Опис і робота складових частин ГТЕ-25НГ80	10
2.1. Комплексний повітроочисний пристрій	10
2.2. Блок двигуна. Устаткування	12
3. Системи газотурбінного двигуна	42
3.1. Паливна система двигуна	42
3.2. Система змащення двигуна	48
3.3. Система пневмокерування двигуном	63
3.4. Системи суфлювання і розвантаження двигуна	70
3.5. Система промивання двигуна	71
3.6. Система контролю загазованості	72
3.7. Система вентиляції блока газотурбінного двигуна	74
3.8. Система пожежного захисту газотурбінної установки	75
3.9. Електроустаткування газотурбінної установки	79
4. Експлуатація газотурбінного двигуна	83
4.1. Загальні питання керування газотурбінним двигуном	83
4.2. Вказівки заходів безпеки	84
4.3. Основні експлуатаційні характеристики газотурбінного двигуна	86
4.4. Підготовка газотурбінного двигуна до дії	91
4.5. Холодне прокручування	95
4.6. Запуск газотурбінного двигуна	97
4.7. Виведення газотурбінного двигуна на режим і обслугову- вання під час роботи	100
4.8. Нормальна зупинка	103
4.9. Обмежувальні захисти газотурбінного двигуна	105
4.10. Аварійна зупинка	106
4.11. Екстрена зупинка	109
4.12. Особливості експлуатації газотурбінного двигуна в умо- вах низьких температур зовнішнього повітря	109
4.13. Регулювання агрегатів і систем газотурбінного двигуна	110

4.14. Заміна вузлів і агрегатів	111
4.15. Можливі несправності	111
5. Технічне обслуговування газотурбінного двигуна	114
5.1. Вибір періодичності й обсягу планового технічного обслу- говування та види робіт	114
5.2. Обслуговування газотурбінного двигуна при недіянні	116
5.3. Технічна діагностика газотурбінного двигуна	117
6. Відправлення в ремонт і транспортування	119
Список рекомендованої літератури	121
Додаток	122

Навчальне видання

РОМАНОВСЬКИЙ Георгій Федорович
СУЛТАНСЬКИЙ Юрій Олегович
ХАРЧЕНКО Валерій Іванович

**БУДОВА, ПРАВИЛА ТЕХНІЧНОЇ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ**

Навчальний посібник

Редактор *Т.Б. Митрофанова*
Комп'ютерне складання та верстання *В.Г. Мазанко*
Коректор *М.О. Паненко*

Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 12,7. Тираж 100. Вид. № 24. Зам. № 379.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9

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

