

A large green industrial engine, likely a ship's internal combustion engine, is mounted on a blue metal stand in a factory setting. The engine has multiple cylinders and complex piping. A worker in a green uniform is visible on the right, working on the engine. The background shows industrial structures and other equipment.

ТИМОШЕВСЬКИЙ Б. Г.
МИТРОФАНОВ О. С.
ПРОСКУРІН А. Ю.

ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ТИМОШЕВСЬКИЙ Б. Г., МИТРОФАНОВ О. С.,
ПРОСКУРІН А. Ю.

**ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРЯННЯ**

Навчальний посібник

Рекомендовано Вченою радою НУК

Миколаїв – 2024

УДК 621.431 (076)
Т41

Автори:

Б. Г. Тимошевський, д-р техн. наук, проф. каф. ДВЗ, У та ТЕ НУК;

О. С. Митрофанов, д-р техн. наук, доц. каф. ДВЗ, У та ТЕ НУК;

А. Ю. Проскурін, канд. техн. наук, доц. каф. ДВЗ, У та ТЕ НУК

Рецензенти:

Р. А. Варбанець, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки і технічна експлуатація» Одеського Національного морського університету

О. І. Воронков, д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри «Двигуни внутрішнього згоряння» Харківського Національного автомобільно-дорожнього університету

О. К. Чередніченко, д-р техн. наук, проф., професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Тимошевський Б. Г. Основи технічної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / Б. Г. Тимошевський, О. С. Митрофанов, А. Ю. Проскурін. – Миколаїв : Видавець Торубара В.В., 2024. – 302 с.

ISBN 978-617-8355-02-9

Розглянуто загальні практичні питання технічної експлуатації, обслуговування та ремонту суднових двигунів внутрішнього згоряння, а також можливі несправності, причини й способи їх усунення, експлуатаційні характеристики і режими роботи. Подано узагальнені рекомендації з експлуатації основних систем та агрегатів. Наведено фізико-хімічні властивості й особливості використання палив, мастил та охолоджуючих рідин, рекомендованих для суднових двигунів.

Посібник призначено для здобувачів денної та заочної форм навчання спеціальностей 142 Енергетичне машинобудування, 135 Суднобудування та 271 Морський та внутрішній водний транспорт.

ISBN 978-617-8355-02-9

© Тимошевський Б. Г., Митрофанов О. С.,
Проскурін А. Ю., 2024

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1 Теоретичні та нормативні основи технічної експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння	7
1.1. Основні тенденції розвитку суднового двигунобудування та його технічної експлуатації.....	7
1.2. Визначення поняття технічної експлуатації суднових двигунів та основні завдання.....	11
1.3. Загальні положення правил технічної експлуатації суднових двигунів.....	16
1.4. Причини зміни технічного стану суднових двигунів.....	18
1.5. Організація робіт з монтажу, експлуатації та ремонту суднових двигунів.....	21
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>25</i>
Розділ 2 Технічна експлуатація суднових двигунів внутрішнього згоряння.....	27
2.1. Підготовка та монтаж суднових двигунів на фундамент.....	27
2.2. Консервація, зберігання та розконсервація суднових двигунів.....	39
2.3. Підготовка та введення у дію суднових двигунів	45
2.4. Пуск суднових двигунів.....	57
2.5. Технічне обслуговування суднових двигунів під час роботи та у непрацюючому стані.....	65
2.6. Підготовка до маневрів і зупинка суднових двигунів	83
2.7. Особливості експлуатації суднових двигунів на паливі з підвищеною вихідною в'язкістю	87
2.8. Технічне використання суднових двигунів на режимах і в умовах, які відрізняються від нормальних	90

2.9.	Контроль за роботою та регулювання суднових двигунів, а також вимоги до приладів контролю й регулювання.....	99
2.10.	Можливі несправності в роботі суднових двигунів, причини та способи їх усунення.....	114
2.11.	Експлуатаційні характеристики та режими роботи суднових двигунів.....	128
	<i>Контрольні питання.....</i>	<i>161</i>
Розділ 3	Технічне обслуговування і ремонт деталей, механізмів та пристроїв суднових двигунів внутрішнього згоряння.....	163
3.1.	Загальні вказівки щодо технічного обслуговування та ремонту суднових двигунів.....	163
3.2.	Колінчастий вал.....	167
3.3.	Втулка робочого циліндра.....	179
3.4.	Кришка робочого циліндра.....	188
3.5.	Поршень.....	192
3.6.	Шатун.....	202
3.7.	Підшипники.....	206
3.8.	Механізм газорозподілу.....	211
3.9.	Паливна апаратура.....	213
3.10.	Агрегати наддуву.....	222
3.11.	Кожухотрубні охолоджувачі.....	226
3.12.	Допоміжні агрегати.....	248
3.13.	Збирання суднових двигунів після ремонту.....	251
3.14.	Регулювання суднових двигунів.....	255
3.15.	Запасні частини і технічна документація.....	262
	<i>Контрольні питання.....</i>	<i>265</i>

Розділ 4 Паливо, масло та охолоджуючі рідини.....	267
4.1. Загальні вказівки щодо використання палив, масел та охолоджуючих рідин.....	267
4.2. Паливо.....	267
4.3. Масло.....	275
4.4. Прийом, зберігання, облік витрат і запасів палива й масла	284
4.5. Очищення палива та масла.....	286
4.6. Охолоджуюча рідина.....	290
<i>Контрольні питання.....</i>	<i>298</i>
Список літератури.....	300

ВСТУП

Навчальний посібник присвячено важливому напрямку суднового двигунобудування та призначено для підготовки фахівців з експлуатації, обслуговування й ремонту суднових двигунів внутрішнього згорання. Цей тип поршневих двигунів на сьогодні набув домінуючого поширення як на більшості цивільних суден різного призначення, так і на військових кораблях.

Грамотна й висококваліфікована технічна експлуатація головних та допоміжних суднових ДВЗ дозволяє не тільки зберегти їх моторесурс і знизити матеріальні витрати на експлуатацію, в тому числі пов'язані з ремонтом, а й подекуди безпосередньо впливає на безпеку життя людей.

Під технічною експлуатацією ДВЗ розуміють сукупність заходів, спрямованих на підтримку і підвищення їх технічного стану, техніко-експлуатаційних та економічних показників. Інакше кажучи, головним завданням технічної експлуатації поршневих ДВЗ є забезпечення мінімальної питомої витрати палива, високої надійності та великої тривалості їх роботи на номінальній потужності.

Високого рівня технічного стану ДВЗ і його експлуатації досягають:

- точним і неухильним виконанням рекомендацій та настанов, представлених в інструкції заводу-виготовлювача;
- дотриманням установлених термінів профілактичних оглядів і ремонтів ДВЗ;
- проведенням планово-попереджувальних заводських ремонтів у терміни, що відповідають правилам з технічної експлуатації ДВЗ.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1.1. Основні тенденції розвитку суднового двигунобудування та його технічної експлуатації

Від суднових двигунів внутрішнього згорання (СДВЗ) вимагається безперервна, надійна і безпечна робота при тривалих періодах між плановими капітальними ремонтами. Вони повинні забезпечувати працездатність протягом значних періодів часу при частковому навантаженні, крім того, в них мають застосовуватися різні сорти палив, при цьому зберігатися висока теплова ефективність. Для забезпечення цих вимог необхідний постійний розвиток і вдосконалення конструкції, тому нові покоління моделей суднових двигунів створюють з урахуванням досягнень у сфері досліджень і досвіду експлуатації.

Зміни у світовій торгівлі сприяли появі різних типів суден з особливими вимогами до їх енергетичних установок. Сучасні суднові двигуни виробляються з різними розмірами і кількістю циліндрів у кожній моделі, щоб забезпечити широкий вибір потужності та інших параметрів.

Здебільшого сучасні СДВЗ можна розділити на два основних типи: малообертові двотактні двигуни (МОД) з прямою передачею потужності на гребний гвинт, та середньо- і високообертові двигуни (СОД і ВОД), що працюють через знижувальні передачі.

Завдяки високій економічності, простоті конструкції та надійності МОД домінують у секторі великотоннажних суден, а саме танкерах, балкерах, контейнеровозах, газовозах тощо. З кінця 90-х років XX століття на міжнародному ринку представлено лише три компанії (та їхні ліцензіати), які займаються виробництвом МОД: MAN Energy Solutions, Winterthur Gas & Diesel Ltd і Japan Engine Corporation.

Компанія MAN B&W Diesel була витіснена 2007 року компанією MAN Diesel, але зберегла як торгову марку назву MAN B&W для своїх МОД. Із 2018 року MAN Diesel почала працювати вже як MAN Energy Solutions зі

збереженням бренда MAN B&W. Двигуни MAN B&W виробляються вісьмома ліцензіатами в Китаї, чотирма в Японії і трьома в Південній Кореї.

У 1997 році компанія Sulzer стала частиною корпорації Wartsila і бренд Sulzer перестав існувати. Швейцарська компанія Wartsila Switzerland Ltd., що відповідала за виробництво МОД у складі Wartsila, була об'єднана з Китайською державною суднобудівельною корпорацією (CSSC), одним з основних ліцензіатів, на початку 2015 року і перейменована на Winterthur Gas & Diesel Ltd. (WinGD). У 2016 р. корпорація Wartsila передала свої акції, що залишилися в WinGD, компанії CSSC, у результаті чого WinGD стала на 100 % належати CSSC. Бренд двигуна було змінено з Wartsila на WinGD.

Третім великим виробником МОД є Japan Engine Corporation. Цю компанію було створено в 2017 році в результаті злиття Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery та її основного ліцензіата Kobe Diesel. Крім того, що Mitsubishi є самостійним розробником і виробником двигунів, вона також раніше була ліцензіатом компанії Wartsila і співпрацювала з нею в проєктах.

Двигуни MAN Energy Solutions – значна частка ринку МОД, яка складає у середньому понад 70 % усіх продажів, частка WinGD складає близько 20 %, а залишок припадає на Japan Engine Corporation.

Малообертові двигуни всіх трьох компаній мають спільну базову конфігурацію. Це двотактні двигуни з ізобарним турбонаддувом і прямоточно-клапанною системою продувки. Усі три компанії на сьогодні пропонують переважно двигуни з електронним керуванням.

Поточні модельні ряди МОД наведені в табл. 1.1.

Як уже було зазначено, більшість типів великотоннажних суден, за винятком круїзних лайнерів, як головні двигуни використовують МОД. З точки зору споживання палива і вироблюваної потужності ці судна складають 80 % світового флоту, однак у кількісному вираженні – лише 20 %. Переважна більшість суден світового флоту застосовують як головні середньообертові чотиритактні двигуни. Багато з них мають тільки один головний двигун, але дуже часто зустрічаються конфігурації з кількома двигунами. На

великотоннажних суднах з МОД зазвичай установлюють дві або більше середньообертові дизельні генераторні установки для забезпечення електропостачання судна. Тому компаній з виробництва СОД набагато більше, ніж МОД.

Таблиця 1.1. Модельні ряди МОД компаній MAN Energy Solutions, Winterthur Gas & Diesel Ltd і Japan Engine Corporation

Модель	$D_{ц}, \text{ м}$	$S, \text{ м}$	$i_{ц}, \text{ шт.}$	$n, \text{ хв}^{-1}$	$N_{ц}, \text{ кВт/цил}$
MAN B&W					
G95ME	0,950	3,460	6...12	70...80	6870
G90ME	0,900	3,260	6...12	72...84	6240
G80ME	0,800	3,720	6...9	58...72	4710
G70ME	0,700	3,256	5...6	63...80	3170
S70ME	0,700	2,800	5...8	73...91	3430
G60ME	0,600	2,790	5...8	72...103	2840
S60ME	0,600	2,400	5...8	82...105	2490
G50ME	0,500	2,500	5...8	75...100	1720
S50ME	0,500	2,214	5...9	85...125	1900
S46ME	0,460	1,932	5...8	105...130	1390
G45ME	0,450	2,250	5...8	85...111	1390
S40ME	0,400	1,770	5...9	104...146	1135
S35ME	0,350	1,550	5...8	118...167	870
S30ME	0,300	1,328	5...8	148...195	640
WinGD					
X35-B	0,350	1,550	5...8	118...167	870
X40-B	0,400	1,770	5...8	104...146	1135
X52	0,520	2,315	5...8	79...105	1810
X52-S2.0	0,520	2,045	5...8	85...120	1910
X62-S2.0	0,620	2,245	5...8	82...108	2685
X62-B	0,620	2,658	5...8	77...103	2900
X72-B	0,720	3,086	5...8	66...89	3920
X82-2.0	0,820	3,375	6...9	58...84	5500
X92-B	0,920	3,468	6...12	70...80	6450
Japan Engine Corporation					
UEC33LSE-C2	0,330	1,550	5...8	121...167	830
UEC35LSE-C1	0,350	1,550	5...8	118...167	935
UEC45LSE-C1	0,450	1,930	5...8	96...128	1440
UEC50LSE-Eco-B1	0,500	2,050	5...10	93...124	1750
UEC60LSE-Eco-B1	0,600	2,400	5...8	79...105	2490
UEC80LSE-Eco-B1	0,800	3,150	5...8	60...80	4440

Серед виробників МОД лише MAN Energy Solutions активно займається розробкою і виробництвом СОД. Компанія Wartsila також була активна в обох секторах, але після передання виробництва МОД компанії WinGD вона тепер працює тільки із СОД. Обидві компанії мають сильні позиції у світі, як і Caterpillar, яка володіє MaK. Інші компанії виробляють СОД більше для внутрішнього ринку, ніж продають їх на світовому ринку.

Нові конструкції та модернізовані версії вже наявних моделей зберегли домінуюче застосування СОД як головних двигунів для невеликих суден, а також більших, таких, як круїзні судна, автомобільні/пасажирські поромі і ро-ро перевізники. Зростання сектора швидкісних пасажирських і поромних перевезень сприяло виробникам СОД, які змогли запропонувати конструкції з досить високими співвідношеннями потужності/маси та об'єму, здатністю надійно працювати за повного навантаження впродовж тривалого часу та привабливими експлуатаційними витратами впродовж усього терміну служби.

Середньообертові двигуни також мають перевагу в секторі генераторних установок для потужних суднових енергетичних установок (СЕУ) великих суден, і тільки в установках меншої потужності їм протистоять високообертові чотиритактні двигуни.

Компанії з виробництва СОД наступні: Anglo Belgian Corporation (ABC), Caterpillar, MaK (Caterpillar Marine Power Systems), MAN Energy Solutions, Rolls-Royce/MTU, Wartsila, Daihatsu, General Electric, HiMSEN (Hyundai Heavy Industries), Mitsui, Niigata, Nohab, SEMT-Pielstick, SKL, Yanmar.

Високообертові чотиритактні двигуни широко застосовуються для приведення в рух невеликих спеціалізованих комерційних суден, а також як основні та аварійні приводи генераторних установок на суднах будь-якого тоннажу. Крім того, ВОД зустрічаються в численних конфігураціях пропульсивних установок, включаючи приведення в рух суден за допомогою звичайних гребних гвинтів, рульових гвинтів та для живлення водометів.

Традиційно ВОД поділяються на дві конструктивні категорії: високопродуктивні та надпотужні. Високопродуктивні моделі спочатку були

орієнтовані на військовий сектор, а їхня часто складна конструкція негативно впливала на витрати на виробництво й обслуговування. Застосування в комерційній сфері обмежувалося, оскільки двигуни вимагали частих капітальних ремонтів. Надпотужні ВОД у багатьох випадках були спочатку розроблені для позашляховиків і машин, але потім знайшли свої ніші в стаціонарній енергетиці та локомотивній тязі. Простіша й надійніша конструкція зі скромнішими показниками середнього ефективного тиску порівняно з високопродуктивними конкурентами забезпечує порівняно високе співвідношення вага/потужність. Але міжремонтний період і термін служби деталей є більш прийнятними.

Розробляючи нові моделі, розробники ВОД переслідували по суті ті ж цілі, що і їхні колеги із секторів МОД і СОД: надійність та довговічність, що забезпечує збільшення міжремонтних інтервалів і довговічність компонентів, а отже, низькі витрати на технічне обслуговування (ТО); легкість монтажу й обслуговування; компактність і менша вага; поліпшені характеристики у всьому діапазоні потужностей з вищою економією палива і меншими шкідливими викидами.

Середньо- та високообертові двигуни можуть бути виконані як у рядній, так і у V-подібній конфігурації, і багато виробників постачають усі моделі в будь-якому вигляді.

Компанії з виробництва ВОД наступні: Baudouin, Caterpillar, Cummins, Deutz, HiMSEN, Isotta Fraschini, MAN Energy Solutions, Mitsubishi, MTU, Niigata, Wartsila, Yanmar, Scania, Volvo Penta.

1.2. Визначення поняття технічної експлуатації суднових двигунів та основні завдання

Технічна експлуатація ДВЗ (ТЕ) як наука визначає шляхи і методи найбільш ефективного керування їх технічним станом. Під ТЕ двигунів розуміють сукупність технічних, економічних і організаційних заходів,

спрямованих на підтримку й підвищення їх технічного стану, техніко-експлуатаційних та економічних показників.

Головним завданням ТЕ двигунів є забезпечення мінімальної питомої витрати палива, високої надійності та великої тривалості їх ефективної роботи на номінальній потужності. До цілей ТЕ належать:

- забезпечення своєчасної та якнайповнішої реалізації технічних можливостей конструкції, безпеки при виконанні робіт і заданих рівнів експлуатаційної надійності ДВЗ;
- оптимізація матеріальних і трудових витрат;
- забезпечення мінімального впливу технічного стану ДВЗ на людину й навколишнє середовище.

Високого рівня технічного стану суднового двигуна та його експлуатації досягають:

- точним і неухильним виконанням судновим екіпажем при експлуатації двигуна інструкцій, правил технічної експлуатації заводу-виробника, затверджених відповідними відомствами й пароплавством;
- дотриманням установлених термінів профілактичних оглядів, ревізій та ремонтів двигуна, які виконуються судною машинною командою і береговою базою технічного обслуговування;
- проведенням планово-попереджувальних заводських ремонтів у терміни, передбачені «Положенням про ремонт суден» та відповідними правилами з технічної експлуатації двигунів.

Перші два заходи належать безпосередньо до технічної експлуатації, їх виконують судові екіпажі, ремонтні бригади та берегові бази технічного обслуговування в рейсах, при вантажних операціях у портах і під час профілактичного докування суден.

Складовими ТЕ є обкатка, технічне обслуговування, експлуатаційний ремонт, забезпечення паливом і мастильними матеріалами, техогляди й зберігання в неробочий період. У комплекс робіт з технічного обслуговування двигунів входять:

- контроль зносів, перевірка та налаштування взаємодії деталей і вузлів;
- перевірка й налаштування обслуговуючих пристроїв та систем;
- перевірка і регулювання робочого процесу двигуна з визначенням його техніко-економічних показників.

Безперервно зростаюча вантажопідйомність суден, потужність їх силових установок та енергооснащеність викликають необхідність планування й суворого дотримання правил технічної експлуатації, оскільки в іншому випадку можливі передчасні зноси двигунів, що призводять до аварійних пошкоджень. В основу планування покладено розробку графіка планово-запобіжних оглядів та ремонтів, в якому вказуються номенклатура робіт, періодичність їх проведення, трудоемність, виконавець і термін виконання робіт. Приклад загальної форми графіка планово-попереджувальних оглядів та ремонтів суднового обладнання подано у табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Форма графіка планово-попереджувальних оглядів та ремонтів суднового обладнання

з/п	Найменування обладнання	Періодичність виконання робіт, год	Трудоемність на один агрегат, люд.-год	Загальна трудоемність, люд.-год	Виконавець робіт	Відмітка щодо планування та виконання робіт (місяці оглядово-ремонтного циклу)
1	2	3	4	5	6	7
	...	...	...	...	...	...

У графік входять усі роботи, які необхідні для забезпечення ефективної експлуатації судна протягом усього міжремонтного періоду. Графік розробляють на кожен двигун, механізм, пристрій, вузол з урахуванням середньорічної кількості годин його роботи, періодичності виконання профілактичних робіт та планування на рівні проміжки часу приблизно однакового обсягу робіт.

Графік складають з урахуванням імовірної тривалості стоянок у портах та ходового часу судна на весь період експлуатації, з розбиванням по місяцях. Дані щодо бюджету роботи судна орієнтовно беруть за звітними даними експлуатації судна за попередні роки. Графік оформляють у наступному порядку:

- визначають кількість годин роботи деталі, вузла або механізму до початку ведення графіка. При першому складанні графіка кількість відпрацьованих годин з моменту чергового виконання даної роботи визначають за машинним журналом або іншою судновою документацією. Надалі всі необхідні дані містяться у графіку;

- від кількості годин рекомендованої періодичності робіт, зазначеної у графі 3 (див. табл. 1.2), віднімають кількість годин роботи деталі, вузла або механізму до початку ведення графіка;

- за отриманою кількістю годин роботи деталі, вузла або механізму визначають час проведення робіт (з урахуванням можливої стоянки судна та коефіцієнта використання механізму), який позначають кольоровим прямокутником у графах оглядових періодів. Довжина основи прямокутника визначається часом, протягом якого повинна бути виконана дана робота (місяць, квартал). Після закінчення кожної роботи у графіку проставляють дату фактичного виконання цієї роботи, а відомості про виконану роботу заносять у «Журнал обліку робіт»;

- кількість годин роботи деталі, вузла або механізму враховують помісячно і вказують у відповідних графах оглядово-ремонтного циклу. При перевищенні кількості годин роботи вище від установленної норми графу зафарбовують червоним олівцем.

Під час профілактичних оглядів розбирають потрібні вузли та пристрої, очищують їх, заміряють зазори, обміряють деталі з метою визначення їх зносу й встановлення необхідності ремонту або заміни. Результати оглядів і вимірювань заносять у технічний формуляр механізму.

Установлені графіком огляди здійснюють в обов'язковому порядку незалежно від стану механізму, пристроїв та їхніх деталей. Порушення періодичності оглядів неприпустиме. Якщо з якихось причин були допущені відступи від установленої періодичності, то огляд та ремонт здійснюють у найближчий час. Якщо яка-небудь деталь вийде з ладу до терміну проведення профілактики, механізм позачергово виводять з експлуатації, а деталь, що відмовила, ремонтується або замінюється. Решту деталей механізму профілактично обслуговують у встановлені графіком терміни.

Залежно від експлуатаційних умов і трудоемності роботи з усунення пошкодження можлива й інша схема технічного обслуговування механізму: паралельно із заміною (ремонт) пошкодженої деталі роблять профілактику і деяких інших, термін роботи яких наближається до встановленого. При цьому термін проведення чергового огляду перевірених деталей перепланують та обчислюють з моменту закінчення даної роботи.

Неухильне виконання графіків планово-запобіжних оглядів дає можливість судновим екіпажам підтримувати суднову енергетичну установку в стані, що забезпечує її постійну готовність до тривалої та безаварійної експлуатації.

Періодичність ревізій та перелік необхідних при цьому робіт регламентують заводська інструкція, правила технічної експлуатації двигунів, а також перевірені достовірні дані, затверджені службою суднового господарства пароплавства.

Для проведення профілактичних ревізій, оглядів і ремонтів використовують час стоянки суден під вантажними та допоміжними операціями, а також під час профілактичного докування. Частина робіт, пов'язану з допоміжними механізмами та пристроями, виконують під час рейсів. Зазвичай цього часу достатньо для виконання основних профілактичних робіт.

Для суден, що мають короткочасні стоянки в портах або перебувають у постійній готовності до рейсу (рятувальники, буксири, пасажирські судна,

танкери), в експлуатаційному бюджеті передбачають виведення їх на моточистку – черговий профілактичний огляд двигуна з розкриттям і чищенням циліндрів.

Якщо моточистку проводять без виведення судна з експлуатації, то у більшості судових головних двигунів цю роботу, як правило, виконують окремо по циліндрах. Моточистку високооберткових головних двигунів, а також усіх допоміжних проводять зазвичай поагрегатно.

1.3. Загальні положення правил технічної експлуатації судових двигунів

Правила технічної експлуатації двигунів на судах цивільного флоту України регулюють основні вимоги щодо технічного використання та обслуговування двигунів усіх призначень (головних, допоміжних, аварійних тощо). Правила ТЕ можуть бути впроваджені у дію судовласниками інших форм власності суден, які зареєстровані в морських портах України.

Вимоги правил ТЕ є обов'язковими:

- для фахівців інженерно-технічних служб судовласників, які здійснюють організацію технічного обслуговування та ремонту судових двигунів;
- для фахівців судномеханічної служби екіпажів суден, що здійснюють технічну експлуатацію судових двигунів.

Технічне використання й обслуговування судових двигунів повинно проводитися відповідно до інструкцій з їх експлуатації, розробленими на підприємствах-виробниках. У післягарантійний період в окремих випадках за наявності достатніх технічних обґрунтувань допускаються відхилення від вимог заводських інструкцій, якщо вони узгоджені із заводом-виробником двигуна. За відсутності заводських інструкцій з експлуатації двигунів судовласники зобов'язані надати інструкції або вимоги з експлуатації, які розроблено з урахуванням цих правил ТЕ.

Відповідальність за організацію технічної експлуатації та справний стан двигунів несуть старший механік судна та судові механіки згідно із розподілом зобов'язань. До експлуатації судових двигунів допускаються особи, які пройшли інструктаж на робочому місці, мають документ про спеціальну підготовку, посвідчення про складання технічного мінімуму з техніки безпеки і медичний висновок про стан здоров'я. Порушення правил ТЕ (залежно від ступеня і характеру) тягне за собою відповідальність, установлену чинним законодавством

Технічна експлуатація судових двигунів складається з комплексу заходів, спрямованих на забезпечення справного технічного стану за рахунок ефективного технічного використання, своєчасного та якісного технічного обслуговування і ремонту відповідно до нормативно-технічної документації.

При експлуатації судових двигунів поряд з інструкціями з експлуатації та цими правилами ТЕ необхідно керуватися наступними документами:

- статутом служби на суднах рибпромислового флоту України;
- положенням про технічну експлуатацію суден флоту рибної промисловості;
- правилами технічної експлуатації судових гребних гвинтів регульованого кроку;
- правилами технічної експлуатації судових допоміжних механізмів;
- правилами експлуатації систем та пристроїв автоматизації;
- правилами експлуатації судового електрообладнання;
- правилами техніки безпеки на суднах цивільного флоту.

У частині засобів автоматизації дійсні правила ТЕ регламентують питання тільки їх технічного використання при експлуатації двигунів, а також технічного обслуговування приладів місцевого контролю, регуляторів частоти обертання і терморегуляторів прямої та непрямої дій. Особи, допущені до керування судовими двигунами, крім того несуть відповідальність за правильність технічного використання засобів автоматизації.

Засоби автоматизації двигунів повинні використовуватися в повному обсязі, передбаченому проектом, у тому числі відповідно до знака автоматизації А1, А2 і А3 у символі класу судна та прийнятої форми обслуговування машинного приміщення. Вимкнення засобів автоматизації та перехід на ручне керування допускаються:

- при технічному обслуговуванні або ремонті засобів автоматизації, пов'язаному з усуненням несправностей;
- у технічно обґрунтованих випадках, при цьому має бути оформлений відповідний акт, а також зроблений відповідний запис у машинному журналі.

1.4. Причини зміни технічного стану судових двигунів

Ефективність ТЕ двигуна залежить від його якості та надійності.

Надійність – властивість виконувати задані функції при збереженні первинних технічних характеристик у часі в межах установлених допусків. Кількісними характеристиками надійності можуть бути однорідні (прості) показники і комплексні. Прості показники надійності характеризують тільки одну властивість (напрацювання на відмову, гамма-процентний ресурс та ін.). Комплексні показники характеризують ряд властивостей (безвідмовність, ремонтпридатність і т. д.). До них належать коефіцієнти технічної готовності й використання, середній час відновлення тощо. Надійність є узагальнюючою властивістю, що включає у себе **безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережність**. Рівень надійності закладається при створенні ДВЗ, забезпечується при виробництві та підтримується при експлуатації.

Безвідмовність – властивість, що полягає в безперервному збереженні працездатності протягом деякого напрацювання. Вона характеризується ймовірністю безвідмовної роботи, інтенсивністю відмов, напрацюванням до відмови та іншими показниками.

Довговічність – властивість зберігати працездатність до граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту. Вона характеризується середнім ресурсом, середнім терміном служби тощо.

Ремонтопридатність – властивість, що полягає в пристосованості двигунів до попередження, виявлення та усунення відмов, підтримці й відновленні працездатності шляхом технічного обслуговування і ремонту. Вона оцінюється середнім часом відновлення працездатності.

Збережність – властивість зберігати значення показників безвідмовності, довговічності й ремонтпридатності протягом і після зберігання та транспортування. Оцінюється вона середнім і гамма-відсотковим термінами зберігання.

Надійність залежить від умов експлуатації двигунів, режимів роботи, якості технічного обслуговування і ремонту. До основних постійно діючих причин зміни технічного стану двигуна та інших окремих складальних одиниць машини належать (стосовно транспортних засобів):

- знос – близько 40 % ознак прояву відмов;
- пластична деформація – 26...30 %;
- руйнування від утомленості – близько 18 %;
- інші види руйнувань (тріщини – 12 %, температурні руйнування – 12 %, поломки – 5 %, інші – 4 %).

Найбільше значення при цьому має знос складальних одиниць. **Знос** – процес поступової зміни параметрів виробу, обумовлений дією механічних, теплових і корозійно-механічних видів зносу, що визначаються режимами та умовами експлуатації. Результатом процесу зносу є знос, який зазвичай виражається в одиницях довжини (мікрометрах і міліметрах), але в окремих випадках знос виражають в одиницях маси (міліграмах, грамах і т. д.).

Процес зносу при експлуатації можна розбити на три періоди. **Перший період** пов'язаний з припрацюванням з'єднань деталей та починається при незначному пробігу двигуна. Цей період характеризується досить швидким наростанням зносу, оскільки відбувається згладжування мікрошорсткостей на

робочих поверхнях деталей. Закінчення припрацювання деталей закінчується після обкатки нового двигуна і характеризується стабілізацією зношування деталей, установленням зазору між ними. Цей зазор називається *номінальним*.

Другий період, або **період природного зносу**, – тривалий за часом період нормальної експлуатації двигуна, під час якого зношування деталей наростає.

Темп наростання зносу залежить від багатьох факторів. Кожне погіршення умов експлуатації збільшує темп зносу, тоді як проведення регулювальних робіт, поліпшення умов експлуатації (заміна масла, менші навантаження) знижує темп наростання зносу в даний період. Але загальна закономірність зносу не змінюється, він буде наростати, і знос досягне таких величин, які є допустимими. Подальша робота з'єднань у двигуні проходить при збільшених зазорах, зростанні динамічних навантажень, погіршенні змазування та, як наслідок, підвищеній швидкості зносу деталей.

Третій період роботи з'єднань у двигуні називають періодом аварійного зносу. Робота з'єднань протягом цього періоду може призвести до відмови і вимагає ретельного спостереження. Знос при цьому не повинен перевищувати граничної величини. Числові значення номінального зазору (зносу) задаються конструкцією двигуна, а значення допустимого і граничного зносу визначаються теоретично з умов міцності деталей, умов змащування і надійності з'єднань у двигуні.

Знос деталей поділяють на чотири види:

- *механічний*, за якого внаслідок механічної дії змінюються форма і розміри деталей без істотних фізичних та хімічних змін (наприклад, при роботі поршня);
- *фізико-механічний*, за якого механічний знос супроводжується суттєвими фізичними змінами (наприклад, обломи і викришування поверхонь деталей);
- *хіміко-механічний*, за якого механічний знос супроводжується суттєвими хімічними змінами, тобто зміною структури матеріалу деталей (корозія та ін.);

– *комплексний*, за якого механічний знос супроводжується суттєвими хімічними і фізичними змінами форми й матеріалу деталей.

Пластична деформація пов'язана з перевищенням навантажень над границею плинності, виявляється внаслідок порушень технології виготовлення, недоліків розрахунку на міцність, зниження міцності.

Руйнування від утомленості виникають у результаті впливу циклічних і знакозмінних навантажень (ресори, кронштейни та ін.).

Корозія проявляється під впливом агресивного середовища (кислоти, ґрунту і води, компонентів відпрацьованих газів, солі на дорогах), часто у взаємодії з іншими видами зносів – абразивним тощо.

Старіння матеріалів проявляється під впливом фізико-хімічних і температурних змін. Гумотехнічні вироби втрачають міцність і еластичність під дією температури, паливо-мастильних матеріалів, сонячної радіації, вологості й в результаті окиснення. Мастильні матеріали накопичують продукти зносу, змінюють в'язкість та ін.

Властивості деталей змінюються не тільки при роботі, але і при зберіганні. При цьому знижується міцність гумотехнічних виробів, з'являється корозія матеріалів і т. д. У зв'язку із цим організація зберігання є завданням ТЕ ДВЗ.

1.5. Організація робіт з монтажу, експлуатації та ремонту судових двигунів

У процесі монтажу, експлуатації та ремонту двигунів необхідно дотримуватися вимог техніки безпеки і пожежної безпеки. До обслуговування не допускаються особи, які не мають необхідних навичок і знань обслуговування та експлуатації, а також які не пройшли інструктаж з техніки безпеки і пожежної безпеки. Увесь обслуговуючий персонал повинен пройти медичний огляд, а також бути забезпечений захисними касками, спецодягом і спецвзуттям. Роботи, пов'язані з монтажем механізмів, треба виконувати відповідно до основних вимог безпеки праці при будівництві суден.

При монтажі, експлуатації, проведенні технічних обслуговувань, а також ремонті необхідно виконати наступні загальні вимоги:

- установити запобіжні щитки або кожухи на відкриті обертові деталі (маховик, муфту відбору потужності, фланець вала редуктора, вентилятор та ін.);
- випускна труба, що знаходиться всередині машинного відділення, повинна бути теплоізольована, щоб не допустити випадків опіку;
- установити спеціальні щитки на коробках затискачів високої напруги (від 115 В і вище);
- перед вмиканням навантаження дати заздалегідь обумовлений попереджувальний сигнал;
- користуватися тільки низьковольтним (до 36 В) переносним освітленням;
- залити масло в картер двигуна не вище від верхньої мітки показчика масла.

На працюючому двигуні не дозволяється:

- проводити ремонтні роботи, усувати течі шляхом підтяжки штуцерів, гайок, болтів, змащувати і чистити двигун;
- повертати колінчастий вал двигуна електростартером при незакріплених форсунках;
- ремонтувати електрообладнання, що знаходиться під напругою. Слід регулярно перевіряти надійність з'єднання нульової точки силового генератора із заземлюючим проводом.

При іспитах трубопроводів спочатку необхідно переконатися, що пневмогідравлічний прес та арматура справні, а термін перевірки робочих манометрів не сплив. Якщо трубопровід знаходиться під тиском, не дозволяється підтягувати гайки і фланцеві з'єднання труб.

При виконанні операцій ТО рубильників увімкнення силового генератора й акумуляторних батарей мають бути вимкнені. У машинному відділенні

повинно бути обладнане аварійне освітлення, яке забезпечує спостереження за показаннями приладів під час вимкнення основної освітлювальної мережі.

Забороняється пуск двигуна з використанням легкозаймистих рідин (бензину, ефіру та ін.). Біля двигуна або дизель-генератора не палити, не розливати паливо і масло, не зберігати промаслене ганчір'я та інші легкозаймисті матеріали. Масло, що зайнялося, і паливо необхідно гасити вуглекислотними або порошковими вогнегасниками, піском, полотном, але не заливати водою.

При «розносі» двигуна слід негайно вимкнути подачу палива рукояткою вимикання рейки або рукояткою всережимного регулятора, максимально навантажити двигун і перекрити надходження повітря в двигун серветкою або брезентом. Якщо поруч є гайковий ключ, відгорніть на півоберту накидні гайки трубопроводів високого тиску.

При розконсервації двигуна або інших механізмів на судні в приміщенні мають бути передбачені засоби пожежогасіння. У цей час категорично забороняються зварювальні, газорізальні й інші роботи з відкритим вогнем.

З моменту встановлення і введення в експлуатацію двигуна необхідно вести спеціальний (змінний, вахтовий, машинний) журнал, де поряд з даними, що відображають технічний стан, повинні міститися зведення про здавання і прийняття зміни (вахти), дати, графіки змінності й т. д.

Усі установлені в машинному приміщенні електроустановки (дизель-генератори, електровентилятори, щити і пульти керування) постійного струму напругою не вище 30 В і змінного струму напругою вище 36 В мають бути заземлені. Опір заземлюючого пристрою має бути не більше 25 Ом.

У машинному приміщенні рекомендується мати аптечку з комплектом засобів надання першої медичної допомоги при опіках, ураженнях струмом, подряпинах шкіри, травмах і под.

При екстреній зупинці двигуна, що має температуру охолоджуючої рідини замкнутого контуру 95...105 °С, відбувається викид киплячої рідини через отвори відведення пари корпусу клапана або кришки розширювального

бачка радіатора. Для того щоб уникнути отримання опіків, слід накрити клапан або кришку серветкою.

При організації та проведенні робіт з ремонту двигунів необхідно дотримуватися вимог пожежної безпеки, безпеки праці та санітарних правил і норм. Ремонт агрегатів і вузлів повинен виконуватися в приміщеннях, спеціально оснащених для цих робіт відповідним обладнанням та устаткуванням. При розбиранні агрегатів на деталі слід користуватися знімачами і пристроями, що полегшують працю працівників та забезпечують безпеку проведення робіт.

До роботи з епоксидними смолами та пластмасами на її основі допускаються особи старше 18 років, що не мають шкірних захворювань. Епоксидна смола, що потрапила на шкіру, повинна бути негайно знята паперовими чи матер'яними серветками, змоченими в дибутилфталаті, а шкіра оброблена гарячою водою з милом.

Підйомно-транспортні пристрої, що застосовуються при проведенні ремонтних робіт, мають пройти контроль і бути атестовані органами з нагляду за вимогами безпеки. Забороняється переносити і піднімати вантажі масою більше 50 кг (для чоловіків) і 20 кг (для жінок). Ручний електроінструмент повинен працювати при напрузі струму не вище 36 В. Підключення електрифікованого інструмента до джерела живлення має робити електромонтер. Перед початком роботи інструмент повинен бути перевірений на предмет захисту від пробойів ізоляції та наявності заземлення. У процесі обробки ручним механізованим інструментом деталі мають бути закріплені. Забороняється обробка деталей у висячому положенні.

Стаціонарне обладнання, яке використовується при ремонті, має бути встановлене на фундамент і надійно прикріплене до нього болтами. Корпуси електродвигунів, верстатів й устаткування повинні бути надійно заземлені. Дотримання перерахованих вимог дозволить виконати роботи з ремонту агрегатів без травматизму.

У разі необхідності робочий персонал повинен мати індивідуальні засоби захисту. У приміщенні має бути аптечка, укомплектована медикаментами, що необхідні для надання першої допомоги.

Послідовність проведення робіт з поточного ремонту двигуна, необхідне обладнання та інструмент, а також технічні вимоги на виконання робіт, як правило, вказані в інструкції з ремонту заводу-виробника двигуна. Для якісного виконання ремонту двигунів необхідно використовувати спеціалізований інструмент, розроблений заводом-виробником двигуна.

Контрольні питання

1. Які основні види робіт включає у себе технічна експлуатація?
2. Які основні об'єктивні та суб'єктивні причини зумовлюють вдосконалення системи технічної експлуатації?
3. Якими методами і способами забезпечується надійність двигунів?
4. Опишіть вплив технічного стану двигуна і його складових частин на його вихідні показники.
5. Які основні причини зміни технічного стану двигунів при експлуатації?
6. Опишіть вплив кваліфікації обслуговуючого персоналу на ефективність технічної експлуатації двигуна.
7. Опишіть вплив умов експлуатації на зміну технічного стану двигуна.
8. Опишіть вплив конструктивно-технологічних факторів на технічний стан двигуна при експлуатації.
9. Опишіть види закономірностей зміни технічного стану двигуна.
10. Охарактеризуйте закономірності випадкових процесів зміни технічного стану двигуна.
11. Охарактеризуйте методи забезпечення працездатності двигунів.
12. Що таке технічне обслуговування двигунів?
13. Опишіть види ТО і їх призначення.
14. Опишіть основні види робіт при проведенні ТО і їх особливості.

15. Що таке ремонт двигуна і його складових частин? Які види ремонту виконуються при технічній експлуатації двигуна?

16. Охарактеризуйте капітальний ремонт двигуна.

17. Охарактеризуйте поточний ремонт двигуна.

18. Охарактеризуйте призначення діагностування двигуна.

19. Охарактеризуйте структуру різновидів систем діагностування.

20. Опишіть умови застосування діагностування двигунів.

21. Охарактеризуйте методи діагностування двигунів.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

2.1. Підготовка та монтаж суднових двигунів на фундамент

Місце установлення двигуна повинно забезпечувати вільний доступ до всіх його частин, а також можливість розбирання при обслуговуванні й ремонті (рис. 2.1).

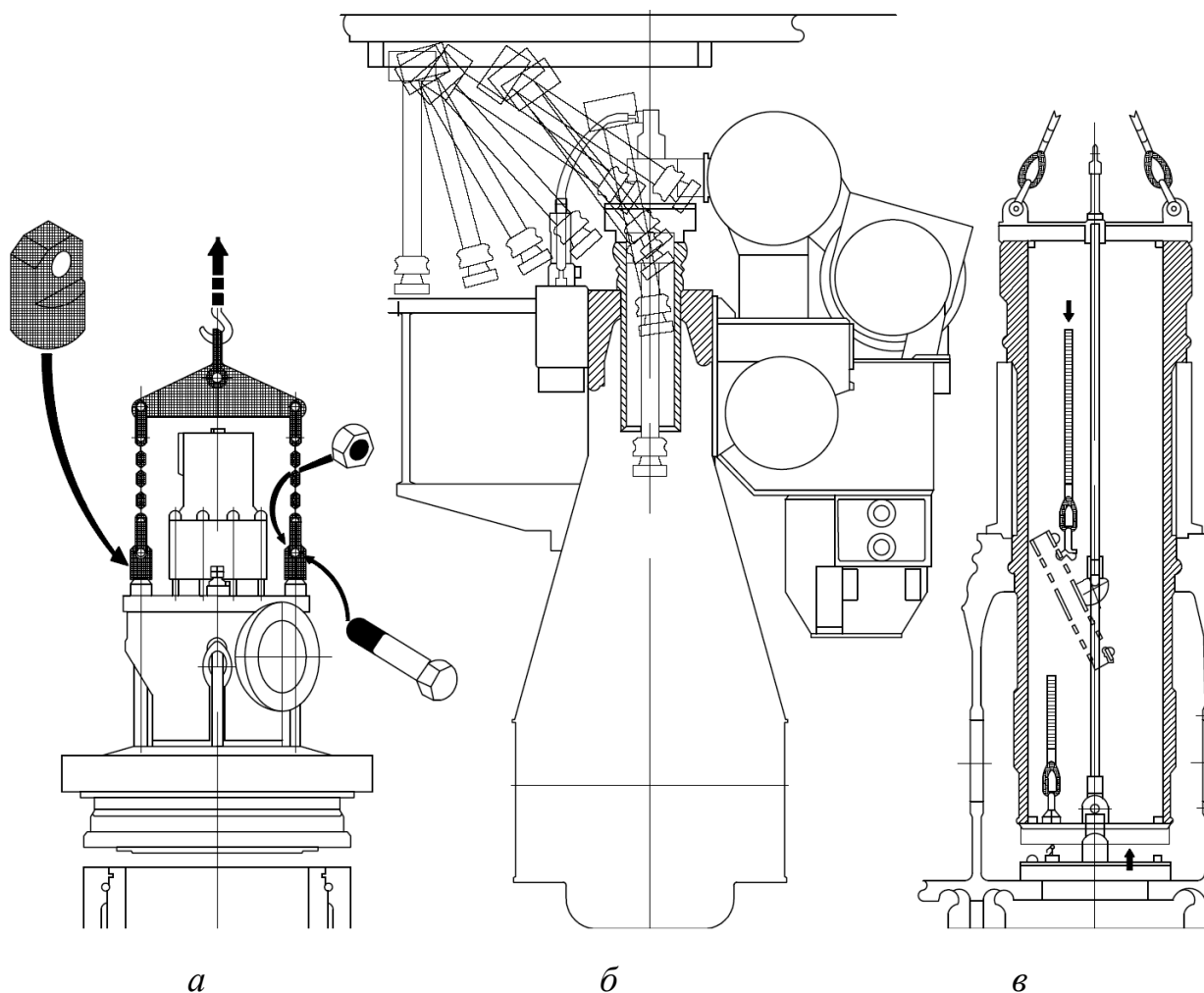


Рис. 2.1. Схеми демонтажу основних деталей суднового МОД:

а – схема зняття кришок циліндрів; *б* – схема демонтажу поршня зі штоком;
в – схема зняття циліндрів двигуна

Монтаж головного двигуна можливо здійснювати **блочним** або **агрегатним** способом. Двигуни мають велику масу та габарити, які не дозволяють транспортувати їх у зібраному стані, тому як завантаження, так і центрування виконують тільки окремим блоком. Після центрування та

кріплення на фундаменті необхідно виконати трудомістке і точне загальне збирання двигуна із забезпеченням повторюваності стендових допусків. До недоліків блочного монтажу належать: вплив деформацій корпусу судна, недостатня жорсткість остову двигуна, обмежена транспортабельність монтажних блоків та відсутність кранів достатньої вантажопідйомності. На відміну від блочного способу монтажу агрегатний не потребує трудомісткого і точного збирання двигуна в умовах судна, що будується. Економічна ефективність агрегування в тому, що знижується трудомісткість монтажу за рахунок перенесення збиральних операцій із судна до цеху. Однак недоліками агрегатного монтажу, як і блочного, є вплив деформацій корпусу судна, недостатня жорсткість остову двигуна, обмежена транспортабельність двигуна у зібраному стані та відсутність кранів достатньої вантажопідйомності.

Судновий дизель-генератор слід установлювати так, щоб вал розташовувався паралельно діаметральній лінії судна. Для забезпечення висоти всмоктування насоса, яка має бути не більше 1,5 м, судновий дизель-генератор треба розмішати в трюмі машинно-котельного відділення. При розміщенні дизель-генератора на платформі машинно-котельного відділення насос забортної воли повинен встановлюватися в трюмі машинно-котельного відділення. Бажано при розміщенні дизель-генератора врахувати можливість скорочення протяжності електрокабелів і газовипускних трубопроводів, виключивши їх перетин.

Допоміжне обладнання, що обслуговує двигун, розміщується, як правило, з боку вільного кінця вала. Висота приміщення, в якому встановлюється двигун, повинна забезпечувати виймання поршня із шатуном без нахилу. При монтажі дизель-генераторів габарити приміщення по довжині повинні забезпечити виймання ротора генератора. При монтажі двигуна або дизель-генератора слід звернути особливу увагу на чистоту внутрішньої порожнини масляних труб, які підганяються за місцем при монтажі. Для ремонту двигуна над ним повинна бути передбачена монорейка з талем необхідної вантажопідйомності. Глушник-іскрогасник має розміщуватися у вертикальному

положенні в місцях, що забезпечують можливість їх очищення і зливу гудрону. Пускові балони повинні розміщуватися у вертикальному положенні поблизу двигуна у місцях, зручних для обслуговування. Допускається розміщення балонів групами. Пристрій газовипускної системи необхідно виконати так, щоб протитиск викидів на номінальному навантаженні не перевищував установлених значень. Проходи між двигуном з боку керування і стіною або розташованим біля стіни обладнанням повинні бути не менше 2 м.

Фундаменти мають бути виготовлені відповідно до діючої технічної документації на двигун. Правильність установки фундаментів повинна перевірятися щодо теоретичної осі валопроводу, що задається контрольними точками, нанесеними по координатах із плаза на спеціальних шергенях у районі носової і кормової перебірок машинного відділення в блоці судна. За відсутності додаткових вимог, зазначених у кресленні, координати установки фундаменту мають бути витримані в наступних допусках:

- непаралельність осі фундаменту щодо теоретичної осі валопроводу в горизонтальній площині допускається не більше 1 мм на 1 м довжини фундаменту (зсув осі фундаменту щодо теоретичної осі лінії вала не повинен перевищувати ± 8 мм);

- непаралельність опорних поверхонь фундаменту щодо теоретичної осі лінії вала у вертикальній площині допускається не більше 1 мм на 1 м довжини фундаменту, при цьому відхилення відстані від опорних поверхонь фундаменту до теоретичної осі лінії вала по висоті не має перевищувати ± 10 мм;

- припустиме відхилення відстані фундаменту від поперечної перебірки складає ± 10 мм.

Установка фундаментів повинна бути прийнята технічним контролем та схвалена організацією, що здійснює відповідний нагляд. До обробки опорних поверхонь фундаменту на судні в районі розташування двигуна мають бути закінчені всі роботи, що можуть викликати деформацію фундаменту (зварювання, клепка, іспити на непроникність та ін.). Обробка опорних поверхонь фундаменту повинна бути виконана відповідно до діючої технічної

документації. Допускається виконувати обробку не всієї опорної поверхні фундаменту, а тільки тих ділянок, де будуть встановлюватися компенсуючі ланки. При цьому оброблена ділянка має бути на 15 мм більша від розміру встановлюваної компенсуючої ланки з кожної її сторони.

Перевірка правильності обробки опорних поверхонь фундаменту повинна виконуватися за допомогою щупа і лінійки довжиною не менше від довжини компенсуючої ланки. При цьому пластина щупа товщиною 0,05 мм не має проходити між поверхнею, що перевіряється, та лінійкою. При встановленні двигуна на пластмасі обробку опорних поверхонь фундаменту робити не слід. Краї оброблених поверхонь повинні бути притуплені, опорні поверхні фундаменту змазані консервувальним маслом та захищені від механічних ушкоджень, неопрацьовані поверхні пофарбовані.

До завантаження двигуна у корпус судна має бути зроблена перевірка з метою виявлення дефектів, що перешкоджають правильному його встановленню. Опорна поверхня фундаменту повинна бути очищена від консервувального масла та слідів іржі. Виявлені дефекти поверхонь слід усунути. Вузли та деталі, що перешкоджають установленню завантажувального пристосування, мають бути зняті відповідно до вимог інструкції з експлуатації двигуна. Зняті деталі повинні бути замарковані, законсервовані та здані на збереження. Конструкція пристосування для завантаження двигуна, а також інструкція з його встановлення мають бути погоджені з відповідним підприємством-постачальником.

Стропування двигуна для завантаження слід робити за схемою, розробленою підприємством-постачальником. Перед завантаженням двигуна на судно, що знаходиться на стапелі, необхідно завчасно навантажити корпус навантаженнями для попередження можливих деформацій. Перед завантаженням двигуна нижні опорні поверхні та поверхні фланців повинні бути очищені й оглянуті, а виявлені заусенці й забоїни треба усунути.

Двигун необхідно встановлювати на судновий фундамент на тимчасових дерев'яних прокладках, товщина яких має дорівнювати розмірам

компенсуючих клинів відповідно до креслень. Прокладки повинні бути розставлені таким чином, щоб не перешкоджати подальшому встановленню віджимних болтів чи інших пристосувань для переміщення головного двигуна. У поздовжньому напрямку двигун має встановлюватися за допомогою мірної рейки, на якій зафіксована відстань відповідно до креслення від кормового торця кронштейна, яблука ахтерштевня чи прийнятої базової лінії до кормового торця вала двигуна. Після завантаження головного двигуна завантажувальні пристосування необхідно зняти, а головні двигуни накрити чохлами. Фланці валів, що стикаються, повинні бути розгорнуті відносно один одного так, щоб місця з максимальним торцевим биттям розташовувалися через 180° . При стикуванні фланці мають бути відцентровані один відносно іншого у вертикальній і горизонтальній площинах з точністю 0,1 мм на зсув та 0,15 мм/м на злам. Зсув повинен вимірюватися за допомогою стріл при спільному повороті валів, що стикаються. Злам слід вимірювати щупом за різницею зазорів безпосередньо між фланцями. Відцентровані фланці з рознесеним торцевим биттям необхідно стягти тимчасовими болтами, після чого треба виконати обробку отворів одночасно в обох фланцях під з'єднувальні болти.

Центрування механізмів може здійснюватися оптичним методом або виконуватися по зломах та зміщеннях осей валів. Центрування механізмів по зломах та зміщеннях осей валів – це метод визначення положення одного механізму по відношенню до іншого – базового. Головні двигуни центрують по фланцю першого проміжного вала. Перевага цього методу в тому, що головний двигун можна монтувати після спуску судна на воду. Недоліком методу є необхідність у наявності базового механізму (проміжного вала). Центрування механізмів оптичним методом здійснюється за допомогою візирної труби по двох мішенях, які матеріалізують базові точки теоретичної осі валопроводу. Перевага методу – немає необхідності у наявності базового механізму та безпосередньо механізму, що монтується (використанням макета-кондуктора), а також цей метод забезпечує меншу, на відміну від інших, похибку вимірювання.

Для центрування головних двигунів та пробивання осі валопроводу використовують візирні труби марки ВТ-3 і ВТ-4, а також трубу прецизійного нівеліра марки НА-1. Візирні труби марки ВТ-3 та ВТ-4 являють собою переустатковані труби теодоліта марки ТТ-50 і Т-5, рівноцінні за якістю і точністю спостереження. Основні характеристики візирної труби марки ВТ-3 (рис. 2.2) подано у табл. 2.1.

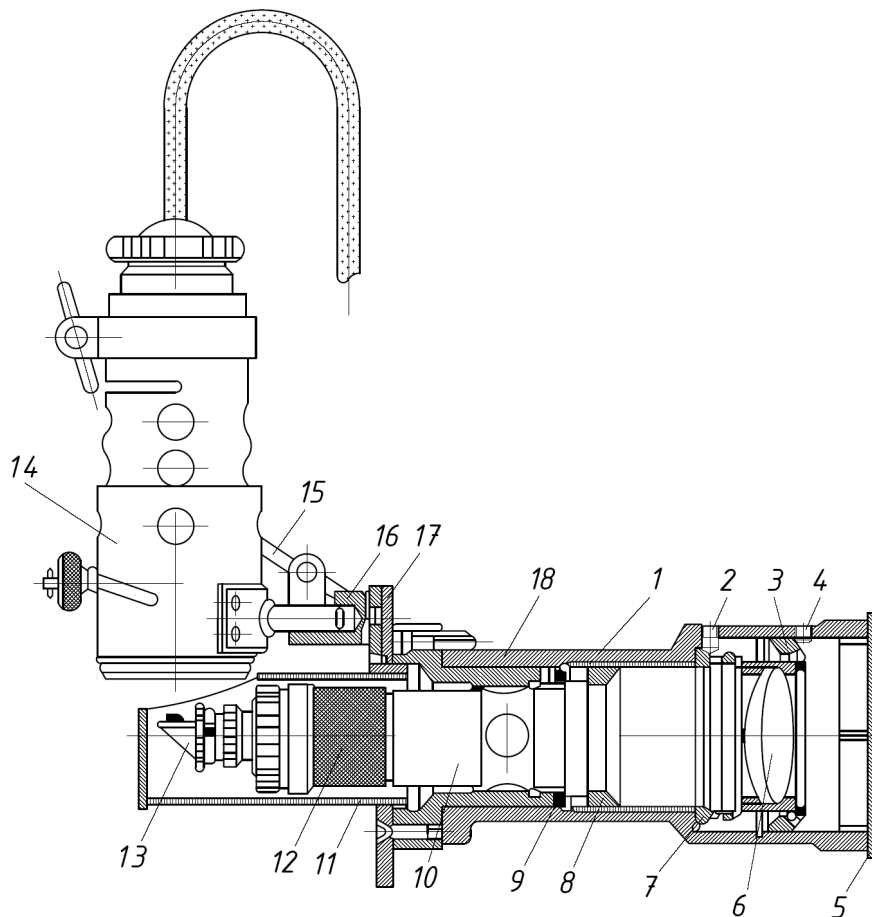


Рис. 2.2. Загальна конструкція візирної труби ВТ-3:

1 – корпус труби; 2 – гвинт для центрування об’єктива; 3 – упорне кільце; 4 – стопорний гвинт; 5 – захисна кришка; 6 – об’єктив; 7 – регулювальне кільце; 8 – притискна гайка; 9 – шайба регулювання труби в осьовому напрямку; 10 – візирна трубка; 11 – ковпак; 12 – втулка наведення; 13 – тригранна призма; 14 – проекційна насадка; 15 – гайка для установа проекційної насадки; 16 – кронштейн, закріплений на упорному кільці; 17 – упорне кільце для перешкоджання осьовому переміщенню труби на циліндричних поясах при юстуванні; 18 – втулка

Таблиця 2.1. Основні технічні характеристики візирної труби ВТ-3

№ з.п.	Параметр	Значення
1	Збільшення (кратність)	25,3
2	Фокусна відстань об'єктива, мм	250
3	Дозвільна сила труби	4,5
4	Діаметр об'єктива, мм	40
5	Межі візування на мішень, м	1...25
6	Точність візування на відстані 25 м, мм	0,3
7	Довжина, мм	250
8	Маса, кг	3

Для кріплення візирної труби на фланці вала головного двигуна застосовують спеціальні кронштейни (рис. 2.3 та 2.4).

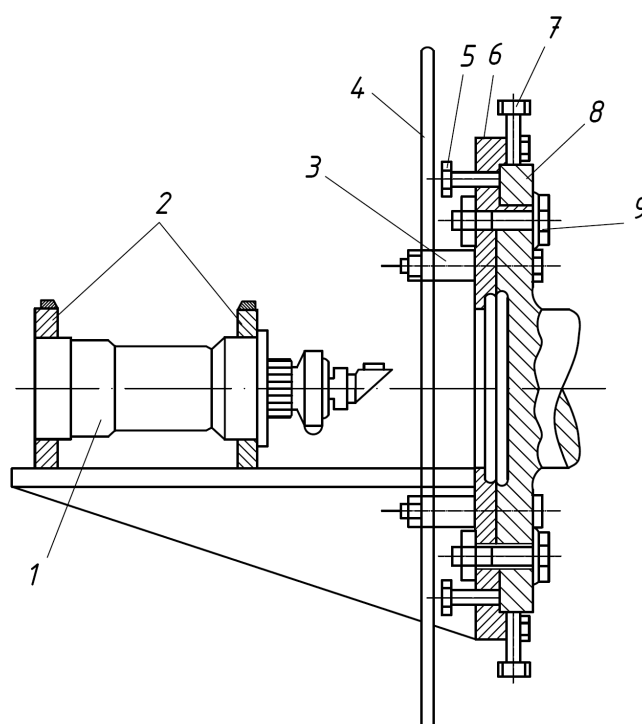


Рис. 2.3. Пристосування для встановлення та центрування візирної труби на фланці вала двигуна:

1 – візирна труба; 2 – опори; 3 – три пальця для кріплення диска;
 4 – валоповоротний диск; 5 – чотири регульовальні болти зламу; 6 – фланець;
 7 – чотири регульовальні болти зміщення; 8 – фланець вала двигуна; 9 – болти кріплення до фланця вала двигуна

Головний двигун орієнтують на судні по осі валопроводу, матеріалізованій двома точками, координати яких беруть із плаза. Плазові

точки необхідно нанести на корпусні конструкції з точністю не менше ± 1 мм від розмірів, зазначених у кресленні. Застосовуване оптичне оснащення повинне забезпечувати високу точність вимірювань. Теоретична вісь валопроводу має фіксуватися перетином двох ліній, нанесеними на мішені. Товщина ліній перетинів мішеней залежить від відстані спостереження та має визначатися за формулою

$$t = 0,025 \cdot L, \text{ мм,}$$

де L – відстань спостереження, м.

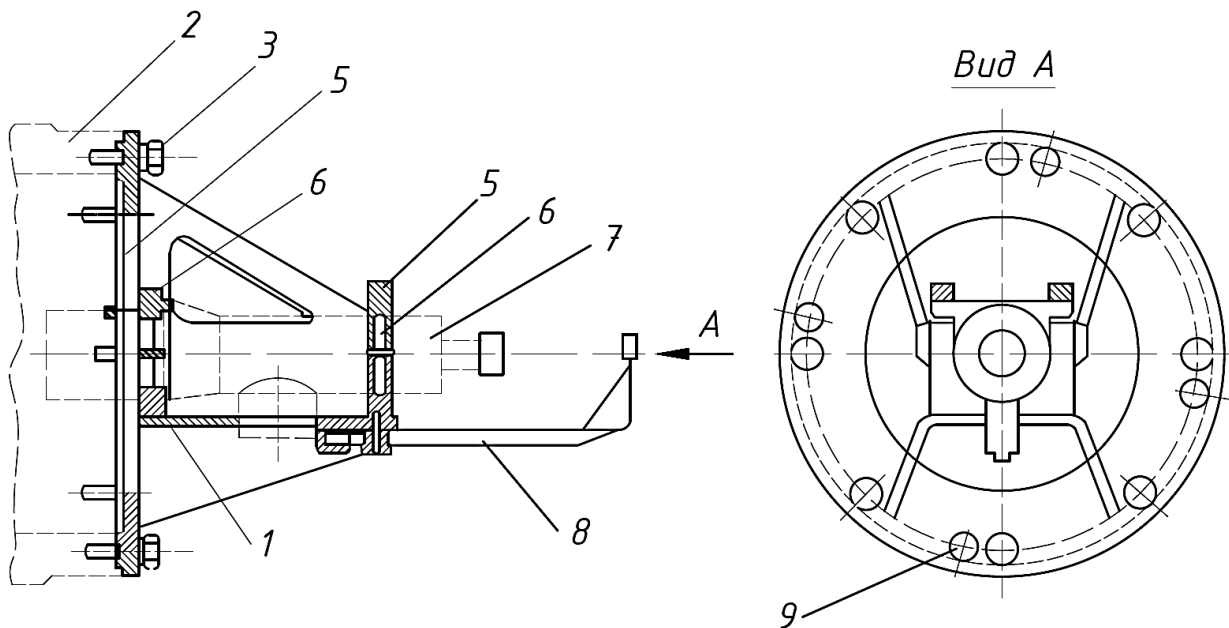


Рис. 2.4. Пристосування для встановлення та центрування візирної труби на фланці вала:

1 – полка; 2 – вал механізму; 3 – болти кріплення; 4 – фланець; 5 – кришка;
6 – опора; 7 – візирна труба; 8 – кронштейн для проекційної насадки; 9 –
регульовальні болти

Після закінчення центрування двигуна, його кріплення на фундаменті й у процесі здачі монтажу технічному контролю виконується вимірювання розкепів кожного кривошипа. При цьому всі рамові шийки колінчастого вала повинні прилягати до вкладишів ромових підшипників. Розкепи необхідно вимірювати у двох площинах:

– у вертикальній – при положенні кривошипа у верхній та нижній мертвих точках;

– у горизонтальній – при положенні кривошипа з боку лівого й правого бортів.

Прилад для вимірювання розкепу варто встановлювати в місцях, зазначених підприємством-виробником двигуна. Різниця замірів в одному кривошипі (розкеп) не повинна перевищувати величину, установлену підприємством-виробником двигуна. Максимальна величина розкепів 0,12 мм. Перевірка площинності рами виконується за наявності даних її перевірки у формулярі двигуна. Спосіб перевірки та відхилення, які допускаються, від прямолінійності встановлює підприємство-виробник.

Після центрування необхідно перевірити положення поршня у втулці робочого циліндра. Це виконується за допомогою пристосування для дистанційного визначення радіальних зазорів між поршнем та втулкою циліндра. Масляний зазор між крейцкопфом та напрямними не повинен перевищувати зазор між поршнем і циліндром. За необхідності зазори встановлюються шляхом переміщення напрямних крейцкопфа.

Механізм треба встановлювати так, щоб до вузлів кріплення був вільний доступ з механізованим інструментом. На опорній поверхні двигуна не має бути глухих отворів з різьбленням для його кріплення закручуванням болтів знизу вгору. У полках рами чи лапах обов'язково передбачають отвори з різьбленням для віджимних болтів вертикального переміщення при центруванні механізму. У судновому фундаменті не слід робити отвори з різьбленням для кріпильних та віджимних болтів. Конструкції підкладок повинні враховувати можливість їх підгону за місцем й обробку фундаменту.

Свердління отворів у фундаменті під кріпильні болти слід робити після закінчення центрування головного двигуна. Установлення шпильок треба виконувати у присутності технічного контролю. Після перевірки стрижень шпильки та стінки отвору повинні бути змазані технічним жиром чи іншим мастилом, що застосовується при захисті його від корозії.

Гайки кріпильних шпильок після закріплення мають щільно прилягати до фундаменту та лап головного двигуна. Для забезпечення цієї вимоги допускається підрізування лап головного двигуна і полиць фундаменту. Глибина підрізування під головки болтів та гайки не повинна перевищувати 10 % від товщини лапи головного двигуна чи полки фундаменту. Шорсткість поверхонь не має бути більше ніж $R_z = 80$ мкм. Гострі краї отворів повинні бути притуплені.

Затяжку кріпильних шпильок виконують за допомогою гідравлічного домкрата. Затяжку кріпильних шпильок слід робити за правилом хрест-навхрест. Величина моменту затягування кріпильних болтів має бути зазначена в монтажному кресленні відповідно до вимог підприємства-виробника двигуна. Після затягування пластина щупа товщиною 0,05 мм не повинна проходити під гайку шпильки. Углиб вузла з'єднання щуп не має проходити більше ніж на 10 % від довжини підкладки (в окремих місцях).

Усі гайки кріпильних шпильок повинні бути забезпечені від самовідкручування постановкою контргайок чи іншими стопорними засобами. Для стопоріння гайок найчастіше використовують корончасту гайку. Кріпильні шпильки та гайки мають бути захищені покриттями. По закінченню встановлення головного двигуна на компенсуючих клинах роботи повинні бути пред'явлені технічному контролю.

Суднові дизель-генератори мають установлюватися на жорсткому фундаменті на спеціальних амортизаторах у суворій відповідності до габаритних креслень, які поставляються з дизель-генератором. Фундамент повинен мати рівну горизонтальну площину для забезпечення рівномірного розподілу вагового навантаження по всій довжині опорних площин рами агрегату. Відхилення від загальної прилеглої площини опорних площин попередніх жорстких опор не більше 0,05 мм. Кількість жорстких опор не менше чотирьох пар, рівномірно розташованих по довжині опорної площини дизель-генератора. Монтаж робити в такому порядку:

- установити дизель-генератор на амортизатори, попередньо змонтовані на судновому фундаменті, і закріпити болтами. Затягнути болти з обох боків рівномірно в перехресному порядку;

- перевірити прилягання лап фундаментної рами до верхніх площин рами, при цьому на рекомендованій відстані від осей болтів не повинні проходити щуп заданої товщини до затягування болтів та щуп іншої товщини після затяжки болтів;

- перевірити центрування вала двигуна з валом генератора, злам осей валів та зміщення осей допускаються не більше рекомендованих у технічних умовах на двигун;

- перевірити розбіжність (розкеп) щік колінчастого вала при вертикальному і горизонтальному положеннях;

- приєднати до дизель-генератора паливний, повітряний, водяний, масляний та вихлопний трубопроводи;

- розконсервувати дизель-генератор (розконсервацію проводити не раніше, ніж за дві доби до моменту пуску двигуна).

Стационарні дизель-генератори рекомендується встановлювати в просторах, світлих, чистих, добре вентильованих приміщеннях, які відповідають вимогам протипожежної безпеки. Фундамент під дизель-генератор повинен розташовуватися так, щоб від стін будівлі до фундаменту залишалася відстань не менше 1 м. Фундамент будують у відповідності до креслень, поставляється з двигуном. Зазначені на кресленні основні габаритні розміри фундаменту мінімальні і рекомендуються для спорудження фундаменту на міцному твердому ґрунті. Під час експлуатації дизель-генератора не допускати стікання масла і палива на фундамент, оскільки це може привести до розпушення бетону і кладки фундаменту, що викличе його нерівномірне осідання.

Монтаж стаціонарного дизель-генератора виконується в такому порядку:

- фундаментні балки під двигун і генератор установити на фундамент за рівнем і закріпити болтами, попередньо зачистивши поверхні балок та фундаменту;
- установити на балки двигун і генератор та закріпити болтами. Затягнути болти з обох боків рівномірно в перехресному порядку;
- перевірити прилягання площин лап фундаментної рами до верхніх площин фундаментних балок;
- з'єднати двигун з генератором через напівмуфту;
- відцентрувати вал двигуна з валом генератора, злам осей валів та зміщення осей допускаються не більше рекомендованих у технічних умовах на двигун;
- перевірити розбіжність (розкеп) щік колінчастого вала при вертикальному і горизонтальному положеннях;
- приєднати до дизель-генератора паливний, повітряний, водяний, масляний і вихлопної трубопроводи;
- розконсервувати дизель-генератор.

Повітряний, масляний, паливний, водяний трубопроводи і кабелі від генератора до щита стаціонарних дизель-генераторів необхідно розташовувати в траншеях. Траншеї мають бути достатньо місткими з бетонними або цегляними стінками, покритими сталевими листами, мати дренажі. Вихлопний трубопровід повинен бути прокладений з мінімальною кількістю і максимально можливими радіусами вигинів.

При підготовці до монтажу редуктора необхідно зовнішні оброблені поверхні очистити від консерваційних покриттів, промити спиртом або дизельним паливом, провести зовнішній огляд з метою виявлення можливих дефектів, зняти оглядові люки, не знімаючи кришки редуктора та оглянути зубчасті зачеплення.

Новий двигун після монтажу та розконсервації обкатується так, як зазначено в інструкції з експлуатації. Після обкатки та регулювання двигун

допускається до подальших випробувань. Після регулювання двигун повинен забезпечити роботу на повній потужності при номінальній частоті обертання і параметри робочого процесу. Регулювання двигуна проводити у таких випадках:

- після монтажу, ремонту і ревізії;
- після зняття та встановлення окремих деталей механізму газорозподілу, паливної системи, поршневої групи;
- під час експлуатації (періодично) для усунення дефектів в органах газорозподілу і паливоподачі, а також відхилень тиску й температури вихлопних газів циліндра.

Регулювання поділяється на два етапи: попереднє—виконується до пуску двигуна, і під час роботи двигуна під навантаженням.

2.2. Консервація, зберігання та розконсервація суднових двигунів

Тимчасовий антикорозійний захист двигуна, його запасних частин, інструменту та пристроїв виконують при тривалому зберіганні на складі або тривалій бездіяльності на судні. При виведенні двигуна з експлуатації без розбирання на термін більше одного місяця його слід законсервувати не пізніше ніж через добу і не раніше ніж через 8...10 год після зупинки.

Консервація повинна проводитися в чистому, сухому і вентильованому закритому приміщенні при температурі 15 °С та відносній вологості не більше 70 %. Допускається збільшення вологості до 80 % протягом часу, коли перепади температури в приміщенні не перевищують 5 °С.

Консервація має проводитися шляхом покриття робочих поверхонь, а також нефарбованих зовнішніх поверхонь деталей густим мастилом, що не містить кислот та лугів.

При повній або частковій консервації як засоби тимчасового захисту можуть застосовуватися:

- масло МС-70;
- масло консерваційне К-17;

- пластичне мастило ПВК;
- масло АМС;
- робоче масло з маслорозчинними інгібіторами.

Консерваційні масла готують ретельним змішуванням робочих масел та маслорозчинних інгібіторів корозії за температури не вище 60 °С. Для того щоб уникнути неповного перемішування, не допускається заливати маслорозчинний інгібітор корозії в ємність, не заповнену маслом. Закінчення перемішування визначають за однорідністю суміші. Нагрівання при приготуванні робочих консерваційних масел не виконують, якщо однорідність суміші забезпечується механічним перемішуванням або іншими методами. Консерваційні мастила наносять на поверхню в розплавленому стані за температури 80...100 °С розпиленням або пензлем (тампоном). Нагрівання масла понад 140 °С не допускається.

При підготовці до консервації всі зовнішні поверхні двигуна потрібно ретельно протерти чистою тканиною (не клоччям). Сліди корозії необхідно видалити шляхом зачистки шліфувальною шкуркою із зернистістю 25-М40, змоченою в маслі, з подальшим протиранням чистим обтиральним матеріалом. Якщо поверхня полірована, то зачищені місця поліруються пастою ДОІ.

При підготовці поверхонь виробів, що мають глибокі щілини, зазори, канали, точні пов'язані між собою поверхні, допускається застосовувати один з органічних розчинників – бензин-розчинник для лакофарбової промисловості. Горючі розчинники використовують, коли інші засоби не забезпечують усіх вимог до підготовки поверхонь. Допускається застосування як розчинників дизельного палива або робочих рідин з додаванням інгібіторів (або без них).

Обробка зовнішніх поверхонь двигуна і його деталей проводиться протиранням бавовняними серветками або щітками, змоченими розчинником. Підготовка внутрішніх поверхонь двигуна (паливних систем, систем змащення та охолодження), що контактують з паливо-мастильними матеріалами (ПММ), виконується цими ж ПММ шляхом прокачування та зливу їх після обкатки

систем. Після зливу ПММ із систем за необхідності проводять додаткове їх промивання ПММ або розчинником.

При підготовці водяної системи охолодження необхідно злити воду, а для повного видалення води систему продувають стисненим повітрям тиском не більше 0,3 МПа. Через усю паливну систему (в тому числі форсунки) прокачують відсепароване та відфільтроване дизельне паливо, яке потім треба повністю злити із системи. Систему змащення прокачують підігрітим свіжим дизельним маслом до повного видалення попереднього масла, яке було в роботі. Після цього зливають масло із системи.

Після знежирення не слід торкатися незахищеними руками поверхонь, підготовлених до консервації. Час між стадіями підготовки поверхонь та застосуванням (нанесенням) засобів тимчасового захисту (мастила, масла) не має перевищувати 2 год. Тому мастило й масло для консервування з урахуванням місць та обсягів консервації повинні бути підготовлені заздалегідь.

При консервації двигуна необхідно виконати певні дії.

1. Через форсункові отвори потрібно залити в кожен циліндр двигуна (залежно від об'єму камери стиснення і конфігурації денця поршня) 100...500 г підігрітого до температури 60...70 °С циркуляційного масла. Для розподілу масла по робочій поверхні циліндрів треба повернути колінчастий вал на 3–4 оберти. Цю операцію на двотактних двигунах слід виконувати окремо по кожному циліндру при верхньому положенні поршня. При повертанні вала частина масла витікає у випускний та продувний колектори, звідки його необхідно спустити. Якщо днище поршня має виїмку, то накопичене в ній масло треба видалити за допомогою шприца через форсунковий отвір. Після заливки масла в циліндри форсунки слід установити на свої місця.

2. Потрібно залити масло в паливні насоси.

3. Слід змастити гарячим мастилом (80...100 °С) за допомогою пензля або пульверизатора шатуни, нижню частину циліндрових втулок, торці рамових та шатунних підшипників, розподільний вал, важелі штовхачів, ролики, штанги,

клапанні пружини, штоки клапанів та їх ущільнюючі поверхні, а також незафарбовані деталі приводу клапанів.

4. Необхідно змастити гарячим мастилом (при 80...100 °С) колінчастий вал, установивши його в таке положення, щоб були закриті всі розподільні клапани або вікна. Після цього та під час подальшого зберігання вал повертати можна, щоб уникнути пошкодження плівки мастила, яке застосовується для консервації. Слід злити залишок консервуючого мастила з маслозбірника.

5. Захисний шар після нанесення повинен бути рівномірним, без потоків, повітряних бульбашок, чужорідних включень. Дефекти необхідно усунути повторним нанесенням мастила.

6. У картері двигуна, корпусі реверс-редуктора, випускному і впускному колекторах (продувному ресивері) та в інших порожнинах необхідно підвісити зшиті з бязі мішечки з осушувачем, прожареним за температури 150...170 °С протягом 2...3 годин. Як осушувач застосовується силікагель марок КМС (великий силікагель дрібнопористий) або ШСМ (шихта силікагель дрібнопористий). Мішечки масою по 100...500 г підвішуються в такій кількості: на кожен відсік картера – 2 шт.; на корпус реверс-редуктора – 2 шт.; на випускний і впускний колектори (продувний ресивер) – по 1 шт. на відсік. Залежно від об'єму відсіку кількість мішечків може бути збільшена.

7. Потрібно закрити люки картера, зовнішні отвори випускного і впускного колекторів, а також усі отвори для приєднання трубопроводів дерев'яними пробками або щільними промасленими картонними прокладками.

8. Слід покрити всі зовнішні поверхні двигуна за допомогою пензля або пульверизатора гарячим (100 °С) мастилом. Гумові деталі консервуючим мастилом не покривати.

9. Запасні частини двигуна, попередньо оброблені розчинником та ретельно протерті чистим обтиральним матеріалом, також покривають гарячим мастилом.

10. За необхідності слід обернути деталі двигуна пакувальним папером.

11. У формулярі двигуна треба зробити відмітку про виконану консервацію.

Зберігати законсервований двигун слід у сухому вентильованому та опалювальному приміщенні, в яке не проникають гази і пари, здатні викликати корозію металу. Температура повітря в приміщенні повинна бути не нижче 5 °С, з добовими коливаннями не більше 10 °С, відносна вологість – не більше 85 %. Нові двигуни, отримані в заводській упаковці, треба зберігати не розпаковуючи. При тривалому терміні зберігання через 6 місяців проводиться переконсервація. Зберігання двигуна в заводській упаковці на відкритому повітрі допускається не більше одного місяця, включаючи час перебування в дорозі. У разі пошкодження упаковки під час транспортування двигун має бути підданий ретельному огляду та за необхідності переконсервований. Демонтовані, а також відремонтовані двигуни, якщо передбачається тривале зберігання їх на складі, повинні бути законсервовані та упаковані в ящики.

Термін дії консервації двигуна складає 6 місяців. Якщо двигун не буде вводиться в дію понад 8 місяців, то після закінчення 6 місяців він має бути переконсервований. **Процес переконсервації двигуна** здійснюється в наступному порядку:

- зняти папір з усіх обгорнутих деталей, видалити мішечки з осушувачем – силікагелем;
- прогріти двигун водою з температурою 50...60 °С, пропускаючи її через порожнини системи охолодження протягом 10...15 хв;
- підняти температуру води до 90...95 °С та прогрівати двигун до тих пір, поки температура блока циліндрів не досягне 60 °С;
- після прогрівання консервувальне мастило повністю видалити, поверхні деталей протерти ганчіркою, змоченою в розчиннику, і ретельно оглянути, виявлену корозію видалити;
- знову законсервувати двигун.

При розконсервації двигуна необхідно виконати наступні дії:

- зняти папір з усіх обгорнутих деталей;

- видалити консервуюче мастило із зовнішніх поверхонь двигуна обтиральним матеріалом, змоченим гасом або дизельним паливом, з подальшим ретельним протиранням сухою ганчіркою;
- розкрити внутрішні порожнини двигуна (зняти кришки люків картера, ресивера та інших вузлів);
- видалити мішечки з осушувачем – силікагелем;
- зняти дерев'яні заглушки і встановити на свої місця трубопроводи;
- прогріти двигун шляхом заповнення охолоджуючої системи гарячою водою з температурою 50...60 °С, протримавши її в системі 10...15 хв;
- прокачати воду з температурою 90...95 °С до тих пір, поки температура блока циліндрів не підніметься до 60...70 °С (систему бажано заповнювати кип'яченою водою з додаванням хромпіка в кількості 0,3...0,5 % від об'єму води, що заливається; для прискорення прогрівання рекомендується закрити двигун брезентом);
- зняти форсунки і через форсункові отвори видалити масло з виїмок днищ поршнів з допомогою шприца;
- відкрити зливні крани і, повертаючи колінчастий вал, випустити консервуюче мастило з різних частин двигуна (картера, маслозбірника, ресивера і т. д.);
- промити дизельним паливом картер, колектори та маслозбірник;
- при знятих нагнітальних трубках прокачати вручну дизельне паливо через кожен паливний насос до повного його промивання;
- приєднати форсунки до паливних насосів і прокачати через кожну дизельне паливо до повного їх промивання, перевірити роботу та якість розпилювання, після чого встановити форсунки на свої місця;
- змастити сумішшю дизельного палива й масла штоки впускних і випускних клапанів, перевірити їх на легкість ходу та відсутність заїдань, перевірити зазори в клапанному механізмі;
- заповнити маслом маслозбірник, лубрикатори й маслянки;

- прокачати масло через систему змащення, одночасно повертаючи колінчастий вал при відкритих індикаторних кранах;
- закрити люки картера, ресивера, колекторів та інших вузлів двигуна;
- вимкнути паливні насоси і повернути вал двигуна стисненим повітрям електростартером (або вручну) при відкритих індикаторних кранах або ввімкненому декомпресійному механізмі;
- після розконсервації реверсивної муфти (реверс-редуктора) до повертання колінчастого вала двигуна видалити мішечки з поглиначем вологи, промити реверс-муфту (реверс-редуктор) дизельним паливом, заповнити корпус муфти (редуктора) маслом, підігрітим до 40...50 °С.

Після проведення всіх перерахованих операцій розконсервацію двигуна можна вважати закінченою і його можна готувати до пуску.

2.3. Підготовка та введення у дію суднових двигунів

Підготовка двигунів у дію повинна проводитися відповідно до вимог заводської інструкції з експлуатації та правил ТЕ двигунів на суднах цивільного флоту України. Розпорядження капітана старшому механіку про підготовку двигунів до роботи має бути дано завчасно з урахуванням часу на підготовку, встановленого заводською інструкцією з експлуатації двигуна, та вимог правил ТЕ.

За розпорядженням головного (старшого) механіка підготовка двигунів у дію повинна виконуватися під керівництвом вахтового механіка або особи, в підпорядкуванні якої знаходиться дане устаткування. Одночасно з підготовкою двигуна до роботи мають бути підготовлені механізми відбору потужності, привідні агрегати, редуктори, з'єднувальні муфти, валопровід, а також засоби автоматизації, паливна система, системи охолодження та масла.

Двигун перед введенням у дію в зимовий час за низької температури в машинному приміщенні слід обігріти наявними на судні або у судновласника засобами й прогріти його згідно з вимогами заводської інструкції з експлуатації та правил ТЕ.

Перед підготовкою двигунів до робіт необхідно перевірити справність протипожежних, водовідливних та осушувальних засобів, пожежної сигналізації в машинному приміщенні, аварійного освітлення. Крім того, при підготовці головних двигунів слід перевірити правильність показань машинного телеграфу, справність дії всіх засобів зв'язку машинного приміщення з рульовою рубкою та іншими постами керування енергетичною установкою.

Після нетривалої перерви у роботі (не більше 48 годин без виконання ремонтних робіт) необхідно:

- виконати зовнішній огляд двигуна;
- підготувати до роботи та перевірити справність механізмів та систем, що обслуговують двигун;
- прокачати й прогріти двигун водою і маслом;
- перевірити справність засобів автоматизації, в тому числі аварійно-попереджувальної сигналізації та захисту, зовнішнім оглядом, за показаннями контрольно-вимірювальних приладів та інших засобів індикації, а також за допомогою пристроїв вбудованого контролю (за наявності);
- перевірити колінчастий вал валообертовим пристроєм або вручну.

Пуск двигуна дозволяється після виконання всіх операцій з його підготовки. При екстреному пуску, пов'язаному із загрозою людського життя, або в аварійній ситуації допускається не виконувати вищевказані вимоги.

Про закінчення підготовки головних двигунів до роботи вахтовий механік зобов'язаний доповісти головному (старшому) механіку та з його дозволу – вахтовому помічнику капітана.

При підготовці головних двигунів до роботи вахтовий механік зобов'язаний записувати у вахтовий машинний журнал наступне:

- усі команди, отримані від капітана та його вахтових помічників, а також розпорядження старшого механіка;
- час виконання й зміст основних операцій, результати проведених перевірок та замірів.

Забороняються введення в дію та робота двигунів у випадках:

- невідповідності характеристик палива та масла, зазначеним в інструкції з експлуатації, або вимогам правил ТЕ;
- наявності тріщин у фундаментній рамі, колінчастих валах, шатунах, анкерних зв'язках, головних, рамових і шатунних підшипниках, а також тріщин, які пропускають воду або масло, на робочих поверхнях блока, циліндрах, головках поршнів та кришках циліндрів, несправних турбокомпресорів;
- розкепів колінчастого вала, що перевищують установлені норми;
- несправного стану пускового й реверсивного пристроїв; органів газорозподілу і подачі палива; багаторежимного й граничного регуляторів частоти обертання; валлообертового пристрою, валопроводу, його підшипників і сальників дейдвуда (для головних двигунів з прямою передачею на гвинт);
- тиску масла, палива та охолоджуючої води нижче від установленої норми;
- підпалвлення або викришування білого металу рамового, шатунного й головних підшипників;
- несправності запобіжних та захисних пристроїв, сигналізації, редуктора і муфт, системи передпускового прокачування циркуляційного масла;
- зносу основних відповідальних деталей, який перевищує гранично-допустимі значення, а також відсутності документальних даних про фактичні розміри тертьових деталей та зазори у з'єднаннях;
- наявності сторонніх стуків і шумів у двигуні;
- несправності або відсутності штатних контрольно-вимірювальних приладів, а також наявності приладів, термін дії перевірок яких минув, з пошкодженими пломбами, що не мають пломб та клейм організацій з перевірки;
- наявності несправностей у системах трубопроводів двигуна;
- несправності газовипускних колекторів.

Після розконсервації, тривалої зупинки (більше 48 годин) або проведення ремонтних робіт двигун перед пуском необхідно ретельно оглянути, а після ремонтних робіт, пов'язаних з розбиранням системи керування, відрегулювати. При цьому необхідно:

- провести ретельний зовнішній огляд двигуна та обслуговуючих його механізмів, звернувши особливу увагу на стан вузлів, що піддавалися ремонту;

- через клапанні або форсункові отвори в кришках оглянути внутрішні порожнини циліндрів, переконатися у відсутності на головках поршнів сторонніх предметів, палива й води, оглянути через спеціальні люки випускні та продувні вікна, а також поршневі кільця, повертаючи колінчастий вал двигуна;

- ретельно перевірити затяжку й шплінтування гайок та болтових з'єднань, звернувши особливу увагу на стан найбільш відповідальних деталей і частин двигуна (шатунні болти, рамові підшипники, фундаментну раму, маховик та ін.);

- перевірити наявність та справність усіх штатних контрольно-вимірювальних приладів;

- оглянути й за необхідності розібрати, прочистити та промити всі фільтруючі елементи;

- перевірити від руки рухливість впускних і випускних клапанів, а також регулювання всіх елементів газорозподілу та паливоподачі;

- оглянути відстійні й витратні цистерни палива, переконатися у відсутності в них води та бруду (за необхідності злити відстій з паливних і масляних резервуарів), заповнити цистерни паливом, прокачати паливо через усю систему до повного видалення повітря, перевірити герметичність паливопроводів;

- переконатися у надходженні палива до паливних насосів високого тиску, опресувати насоси, перевірити правильність установки нульової подачі палива, поставивши рукоятку поста керування в положення «Стоп»;

- перевірити тиск повітря в пускових балонах, за необхідності підкачати, продути конденсат;
- заповнити систему охолодження двигуна водою, переконатися у відсутності пропуску води в картер через ущільнення втулок робочих циліндрів, а також перевірити герметичність усієї системи охолодження;
- перевірити, чи не витікає вода через клапан зливу води з нагнітального колектора;
- заповнити і прокачати маслом (водою) систему охолодження поршнів та перевірити її герметичність;
- заповнити систему змащення двигуна, редуктор (на двигуні з редуктором), лубрикатори та пресмаслянки відповідним маслом;
- налити масло в порожнину регулятора швидкості до верхньої мітки показчика масла;
- прокачати масляним насосом (пневматичним або ручним) масло через усю магістраль, повертаючи колінчастий вал двигуна при відкритих індикаторних кранах, одночасно простежити за рухливістю всіх частин двигуна;
- переконатися в тому, що масло надходить до всіх частин двигуна, які змащуються, до підшипників турбокомпресора, головних і шатунних підшипників, верхніх головок шатунів, зубчастих передач;
- перевірити всі опорні та упорні підшипники двигуна і валопроводу, залити в них масло до необхідного рівня, перевірити систему охолодження упорного й опорних підшипників;
- відрегулювати тиск і якість розпилювання палива форсунками шляхом їх опресування згідно з інструкцією з експлуатації;
- переконатися у відсутності сторонніх предметів, палива, масла, води та бруду у внутрішніх порожнинах газовипускного тракту, всмоктувальному колекторі й ресивері продувного повітря;
- прибрати важіль повороту вала, закрити індикаторні крани;

– перевірити правильність положення всіх кранів на повітряній, паливній, водяній та масляній системах.

Повний обсяг необхідних робіт з підготовки до пуску двигуна встановлюється в кожному окремому випадку.

У двигунах з редуктором разом з підготовкою до пуску двигуна необхідно також підготувати і редуктор. Після установа, ремонту, перебирання або тривалої перерви в роботі слід виконати наступне:

– налити масло в піддон редуктора, а після перебирання або тривалої перерви в роботі перевірити рівень масла в піддоні, за необхідності долити;

– відгвинтити зливну трубку на фільтрі масла, перевірити відсутність води в маслі;

– зняти лючки і змастити шестерні маслом.

При повсякденній експлуатації перевірити рівень масла в піддоні редуктора.

Підготовка двигунів до роботи після їх збирання, ремонту, тривалої бездіяльності у разі консервації повинна проводитися під безпосереднім керівництвом і спостереженням старшого або другого механіка.

Розконсервація двигуна має проводитися відповідно до заводської інструкції та вказівок з консервації, зберігання й розконсервації двигуна.

Підготовка двигуна до роботи також включає в себе і підготовку палива, масла, стисненого повітря (якщо двигун запускається за допомогою стисненого повітря) та охолоджуючої рідини, які використовуються у двигуні.

Підготовка масляних систем (змащення й охолодження) полягає у наступному:

1. Потрібно перевірити рівень масла в стічних цистернах чи картерах двигуна і редуктора, маслозбірниках або стічних цистернах турбокомпресорів наддуву, сервомоторах, корпусі упорного та опорного підшипників, лубрикатора, регуляторі частоти обертання; за потреби – доповнити до них масла до необхідного рівня, поповнити маслянки ручного змащення, ковпачкові маслянки, переконатися у відсутності води в циркуляційному маслі.

2. Слід переконатися в справності пристроїв автоматичного поповнення і підтримки рівня масла в цистернах.

3. Треба підготувати до роботи масляні фільтри і маслоохолоджувачі, привести клапани на трубопроводах у робоче положення.

4. Перед прокручуванням двигуна необхідно подати масло в його циліндри, циліндри продувних насосів та інші місця лубрикаторного масла, приводячи лубрикатори в дію вручну або незалежним приводом, а також подати масло на всі точки ручного змащення.

5. Слід підготувати до роботи і пустити автономні масляні насоси двигуна, редуктора, турбокомпресорів; перевірити роботу дистанційного автоматизованого керування основними і резервними насосами, видалити із систем повітря; прокачати маслом системи змащення двигуна і турбокомпресорів при одночасному провертанні двигуна валообертовим пристроєм (за його відсутності – вручну). Треба переконатися в наявності необхідного тиску масла в системі за штатними приладами, перевірити надходження масла на всі точки змащення двигуна, а також на охолодження поршнів. Після закінчення прокачування потрібно вимкнути валообертовий пристрій.

6. В установках з відбором потужності через редуктор слід підготувати до роботи масляну систему редуктора.

7. За температури повітря в машинному приміщенні нижче 15 °С необхідно підігріти масло. За відсутності спеціальних нагрівальних пристроїв масло нагрівають шляхом прокачування через систему під час прогріву двигуна парою або водою від працюючих двигунів. Температура масла при цьому не повинна перевищувати 45 °С.

8. При досягненні контрольованих параметрів робочих значень треба переконатися в зникненні аварійно-попереджувальних світлових сигналів.

Якість масла кожної партії має бути підтверджена сертифікатом постачальника і лабораторними аналізами масла: його в'язкості, температури

спалаху, вмісту механічних домішок і води. Застосування масел, що відрізняються від рекомендованих, забороняється.

Підготовка системи водяного охолодження включає у себе певні дії.

1. Потрібно підготувати до роботи фільтри, водоохолоджувачі й водопідігрівачі, встановити клапани та крани на трубопроводах у робоче положення і перевірити їх справність у дії.

2. Слід перевірити рівень води в розширювальній цистерні контуру прісної води та цистернах автономних систем охолодження поршнів і форсунок, за необхідності – поповнити системи водою.

3. Необхідно підготувати до роботи та увімкнути автономні насоси системи прісної охолоджуючої води (циліндрів, поршнів, форсунок і т. д.). Насоси повинні працювати протягом усього часу підготовки двигуна. Треба підготувати до роботи та увімкнути насос системи заборотної охолоджуючої води для водо- і маслоохолоджувачів. Насос має працювати тільки протягом часу, достатнього для перевірки справності системи і насоса (якщо він не призначений для обслуговування інших споживачів). Слід перевірити роботу дистанційного автоматизованого керування основними і резервними насосами; довести тиск води до робочого, випустити із системи повітря.

4. При прокачуванні системи охолодження циліндрів поршнів необхідно підтримувати температуру охолоджуючої води від 45 до 55 °С, а води охолодження форсунок – від 60 до 80 °С. Слід перевірити роботу приладів контролю і регулювання температури.

5. При охолодженні двигуна заборотною водою (одноконтурна система) потрібно встановити клапани на трубопроводах у робоче положення, увімкнути автономний насос, прокачати двигун заборотною водою до повного витіснення повітря із системи. Перевірити роботу резервного насоса.

6. При прогріванні двигуна паром необхідно попередньо переконатися в тому, що всі порожнини охолодження заповнені водою. Тиск пари в цьому випадку не має бути вище 0,25 МПа, подача пари здійснюється в нижню

частину блока. Прогрів двигуна тільки паром при незаповнених водою порожнинах забороняється.

7. При досягненні контрольованих параметрів робочих значень слід переконатися в зникненні аварійно-попереджувальних світлових сигналів.

Для охолодження двигуна треба застосовувати чисту прісну воду тимчасової жорсткості (1,5...3,0 еквівалентних міліграм на літр). Попередньо воду слід профільтрувати для виділення грубих дисперсних домішок.

Потрапляючи у внутрішні порожнини поверхонь нагрівання, прісна вода утворює накип і шлам, а розчинені у воді корозійноактивні гази (кисень і вуглекислий газ) викликають корозію внутрішніх порожнин. Накип відкладається у вигляді міцного шару на стінках поверхонь нагріву, шлам виділяється у вигляді дрібних частинок. Відкладення накипу і прикіпання шламу на внутрішніх поверхнях нагрівання знижують надійність та економічність роботи двигуна за рахунок своєї низької теплопровідності. За наявності таких відкладень на внутрішніх поверхнях нагрівання двигуна можливий неприпустимий перегрів стінок, що супроводжується зниженням міцності металу, деформацією, розривом стінок поверхонь охолодження. Створюючи додатковий термічний опір, внутрішнє забруднення поверхонь нагрівання викликає погіршення теплопередачі, зниження ККД і, в кінцевому підсумку, може призвести до аварії.

Для захисту від корозійного та ерозійного руйнування внутрішніх поверхонь нагрівання, а також поверхонь від утворення накипу в охолоджуючу воду внутрішнього контуру необхідно ввести антикорозійну присадку.

У процесі експлуатації двигуна до заміни охолоджуючої рідини концентрація присадки зберігається стабільною, якщо немає витоку води із системи охолодження. Поповнювати систему охолодження потрібно чистою прісною водою вказаної жорсткості без додавання присадки.

Заповнюється система охолодження двигуна через бачок води (розширювач). Під час роботи двигуна рівень води в бачку не повинен опуститися за нижню мітку на мірному склі. Перед заповненням системи

охладжуючою водою необхідно переконатися в тому, що паровідвідна трубка не засмічена. В іншому випадку в системі охолодження залишиться повітря і при подальшій роботі утворюються пароповітряні пробки, які погіршують теплообмін у двигуні.

Підготовка паливної системи двигуна полягає у наступному:

1. Необхідно перевірити наявність палива у витратних цистернах, видалити відстій води, перевірити чистоту фільтрів, заповнити трубопровід паливом до повного витіснення повітря із системи, а також переконатися в справності аварійно-попереджувальної сигналізації при мінімальному рівні палива у витратній цистерні.

2. Слід установити в робоче положення клапани на трубопроводах від витратної цистерни до двигуна, повернення палива від насосів двигуна, охолодження форсунок паливом і перевірити їх справність у дії.

3. Якщо температура повітря в машинному приміщенні перевищує температуру застигання палива менше ніж на 15...20 °С, то паливо у витратних цистернах і трубопроводах необхідно підігріти за допомогою системи обігріву.

4. Потрібно підготувати до роботи і пустити автономні насоси: паливопідкачки та охолодження форсунок паливом, за необхідності видалити з трубопроводів повітря, довести тиск палива до робочого, переконатися у справності насосів і систем. Слід перевірити роботу дистанційного керування основними і резервними насосами, а також зупинити насоси.

5. Якщо проведена заміна паливних насосів, форсунок або паливних трубопроводів, необхідно прокачати вручну паливні насоси через відкриті контрольні крани форсунок до повного витіснення повітря. Після закриття контрольних кранів треба знову прокачати паливо до початку значного опору переміщенню важеля ручного прокачування. Опір переміщенню важеля свідчить про відсутність повітря в системі. Слід переконатися у відсутності заїдання паливної рейки з вимкненими тягами регулятора.

Відповідність палива державному стандарту повинна бути підтверджена сертифікатами на поставлене паливо і лабораторними аналізами кожної його

партії у частині в'язкості, температури спалаху, вмісту сірки, механічних домішок і води. Застосування марок палива, що відрізняються від рекомендованих, може призвести до порушення нормальної роботи двигуна і бути причиною виходу з ладу його деталей. При роботі двигуна на паливі з підвищеною вихідною в'язкістю необхідно:

- підігріти паливо в трубопроводах і витратних цистернах паливної системи, при цьому максимальна температура підігрітого палива в ємностях, сполучених з атмосферою, має бути не менше ніж на 10 °С нижчою за температуру спалаху, зазначену в паспорті палива;
- підготувати до роботи пристрої гомогенізації (за їх наявності), сепарації і фільтрації палива, регулятори в'язкості відповідно до інструкцій;
- ввести в дію і перевірити працездатність віскозиметра;
- пуск і прогрів двигуна виконувати на паливі, що не вимагає підігріву, якщо це передбачає інструкція з експлуатації.

Підготовка систем пуску, продувки, наддуву і випуску двигуна включає в себе ряд певних дій.

1. Надійна робота всієї пускової системи двигуна в значній мірі залежить від кількості вологи, що знаходиться у пусковому повітрі, тому після кожного заповнення балони пускового повітря необхідно продувати для видалення конденсату та масла. Особливо ретельно продувати балон слід у разі, коли після заповнення температура навколишнього повітря значно знизилася. Потрібно підготувати до роботи та пустити компресор, переконатися в його нормальній роботі, перевірити систему керування компресорами, перевірити тиск у балонах і поповнити повітрям, а також проконтролювати, щоб температура стисненого повітря перед надходженням у балони була вище 40 °С. Балони повинні періодично перевірятися. Ремонт головки балона, що знаходиться під тиском, категорично забороняється.

2. Слід перевірити справність роботи пускового пристрою, встановити органи керування пуском у положення «Стоп».

3. Необхідно плавно відкрити запірні клапани подачі повітря від балонів до посту керування та головного пускового клапана.

4. Для двигунів з електростартерним пуском треба перевірити зарядженість акумуляторних батарей та за необхідності провести їх підзарядку.

5. Слід підготувати до роботи повітроохолоджувачі та фільтри наддувного повітря.

6. За необхідності потрібно видалити воду та масло з ресивера продувального повітря, впускного й випускного колекторів, підпоршневих порожнин продувних насосів, повітряних порожнин повітроохолоджувачів, газових і повітряних порожнин турбокомпресорів, а також перевірити та пустити в хід автономні продувні насоси.

7. Необхідно підготувати до роботи турбокомпресори; перевірити наявність масла у ваннах підшипників, справність фільтрів та роботу масляних насосів; звернути увагу на чистоту та кріплення фільтра-забірника повітря; переконатися, щоб при роботі турбіни ніякі сторонні предмети не могли потрапити всередину.

8. Слід відкрити всі пристрої, що закривають випускний трубопровід. На суднах, де випускний трубопровід розташований поблизу або нижче від ватерлінії, зовнішній запірний пристрій відкривається одночасно з пуском двигуна. Порядок пуску в цьому випадку має бути встановлено спеціальною інструкцією, розробленою відповідною механічною службою судовласника.

9. Категорично забороняється при пуску двигуна застосовувати кисень або будь-який горючий газ. При використанні для пуску двигуна стисненого газу, що доставляється на судно в балонах, обов'язково треба перевірити на березі за допомогою тліючої тріски, чи не є доставлений газ киснем або горючим газом.

Окрім підготовки самого двигуна та його систем перед пуском необхідно виконати ряд певних дій з підготовки валопроводу.

Зокрема, слід зробити зовнішній огляд валопроводу, редукторів, муфт, підшипників, фланцевих з'єднань валів, дейдвудного та перебіркових

сальників, механізмів, розташованих на валопроводі, системи прокачування дейдвуда, масла редуктора, охолодження підшипників валопроводу. Необхідно переконатися в справності захисних огорожень, у відсутності сторонніх предметів на валопроводі; перевірити наявність мастила в опорних та упорному (невбудованому в двигун) підшипниках, редукторах і муфтах та за необхідності поповнити їх до норми, а також перевірити справність маслорозподільних пристроїв підшипників.

На судах з бабітовими підшипниками дейдвуда слід зробити зовнішній огляд системи змащення підшипників дейдвуда, перевірити наявність масла в циркуляційних цистернах, установити в робоче положення клапани системи та ввімкнути насос змащення.

Перед пуском двигуна необхідно перевірити положення гальма валопроводу і переконатися в його справності, вмикаючи систему дистанційного керування (за її наявності). При цьому гальмо потрібно встановити в положення «Вимкнено». Перевіряється наявність мастила в колпачкових маслянках дейдвудного і перебіркових сальників та за необхідності поповняється шляхом набивки сальників мастилом. Проводиться зовнішній огляд контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації, переконуються в їх справності. Натискна втулка дейдвудного сальника відтискається до появи окремих крапель забортної води, а також відкриваються клапани подачі забортної води на прокачування дейдвуда та охолодження підшипників валопроводу.

Підготовка валопроводу з гребним гвинтом регульованого кроку (ГРК) здійснюється відповідно до правил ТЕ суднових гребних ГРК.

2.4. Пуск суднових двигунів

Перед введенням у роботу двигуна необхідно виконати **провертання** та провести **пробні пуски двигуна** у наступній послідовності:

- повернути двигун валообертовим пристроєм (вручну) на 2–3 оберти при відкритих індикаторних кранах (декомпресійних клапанах);

- перевірити двигун стисненим повітрям (стартером) при відкритих індикаторних кранах (декомпресійних клапанах);
- провести пробні пуски на паливі.

При провертанні двигуна валообертовим пристроєм (вручну) або повітрям (стартером) повинна бути ввімкнена масляна система, а при пробних пусках також і система охолодження. Для двигунів і дизель-генераторів з автоматичним або дистанційним пуском, які перебувають у гарячому резерві, згідно зі встановленою інструкцією з експлуатації періодичністю необхідно виконувати автоматичний або дистанційний пуск.

За наявності системи дистанційного автоматичного керування (ДАК) або дистанційного керування (ДК) керування дизельною установкою має бути випробувано з машинного приміщення чи центрального пульта керування (ЦПК) та передано вахтовому помічнику капітана для перевірки роботи системи з рульової рубки.

Перед прокручуванням двигуна валообертовим пристроєм необхідно переконатися в наступному:

- рукоятка керування двигуном установлена в положення «Стоп»;
- клапани пускового повітря на балонах та трубопроводі закриті;
- на постах керування вивішені таблички «Валообертовий пристрій увімкнено. Двигун не пускати»;
- блокувальний клапан валообертового пристрою діє справно;
- індикаторні крани (декомпресійні клапани) відкриті.

Провертання та пробні пуски головних двигунів дозволяються проводити в установках:

- з прямою передачею потужності на гребний гвинт за відсутності роз'єднувальних муфт – тільки після дозволу капітана або його вахтового помічника;
- з передачею потужності на гвинт через роз'єднувальну муфту при вимкненій муфті – без спеціального дозволу вахтового помічника капітана.

Провертання та пробні пуски дизель-генераторів необхідно проводити з відома особи, відповідальної за експлуатацію електрообладнання. При провертанні двигуна валобертовим пристроєм треба стежити за відсутністю пропусків води, палива та масла в місцях ущільнення деталей і систем трубопроводів двигуна. Під час провертання двигуна потрібно стежити за показаннями амперметра за навантаженням електродвигуна валобертового пристрою. При значеннях споживаного струму, що перевищують допустимі, та різких коливаннях стрілки амперметра слід негайно зупинити валобертовий пристрій, з'ясувати причину та усунути несправність. Категорично забороняється прокручування до усунення несправностей. Після провертання треба переконатися у відсутності в циліндрах води, масла, палива. По закінченню провертання необхідно вимкнути валобертовий пристрій, надійно його застопорити, зняти попереджувальні таблички з постів керування.

В установці з двигунами, що працюють на гвинт через роз'єднувальні муфти на лінії валопроводу, по закінченню провертання двигуна та отримання дозволу вахтового помічника капітана потрібно ввімкнути валобертовий пристрій і повернути його, керуючись вищевказаними рекомендаціями.

Провертання двигуна стисненим повітрям необхідно проводити при відкритих індикаторних кранах (декомпресійних клапанах), спускних кранах ресивера продувного повітря та випускного колектора, при цьому переконавшись у справності двигуна і турбокомпресора.

Перед пуском головного двигуна, що працює на ГРК, слід перевірити наявність масла в установці, перевірити в дії систему керування ГРК. Потрібно переконатися в тому, що покажчики кроку гвинта на всіх постах керування узгоджені й час перекладки лопатей відповідає зазначеному в інструкції з експлуатації. Після перевірки лопаті ГРК необхідно встановити в положення нульового упору.

У дизель-електричних установках, а також в установках, що працюють на гребний гвинт через роз'єднувальні муфти, після провертання повітрям при

вимкнених роз'єднувальних муфтах слід провести пробний пуск двигуна на паливі.

Пробний пуск двигуна на паливі необхідно проводити при закритих індикаторних і спускних кранах (декомпресійних клапанах). Треба переконатися в справності систем пуску й реверсу, роботи всіх циліндрів, відсутності сторонніх шумів і стуків.

У двигунів, що мають установки ДАК та ДК, пробні пуски необхідно проводити (після випробування з постів керування місцевого й ЦПК) з рульової рубки. Слід переконатися в правильності роботи систем ДАК та ДК.

Якщо підготовлений двигун не вводиться в роботу тривалий час та повинен знаходитися в постійній готовності, необхідно кожну годину, за погодженням з вахтовим помічником капітана, провертати двигун валообертовим пристроєм (вручну) з відкритими індикаторними кранами (декомпресійними клапанами).

Пуск головного двигуна має здійснюватися відповідно до вимог заводської інструкції з експлуатації та правил ТЕ. В установках з двигунами, що працюють на генератор, ГРК, гвинт фіксованого кроку (ГФК) через роз'єднувальну муфту, треба пускати двигун без навантаження.

Пуск двигуна гарантується за температури навколишнього середовища й температури води і масла в системах не нижче 281 К (8 °С). За більш низької температури слід прогріти двигун заповненням контуру циркуляційної води системи охолодження гарячою прісною водою, а у систему змащення налити підігріте масло. Для прискорення і рівномірності прогріву циркуляційна вода повинна прокачуватися резервними засобами. За відсутності резервних засобів колінчастий вал двигуна може бути прокручений повітрям.

Якщо температура масла в двигуні нижче 288 К (15 °С), маховичком треба встановити показчик частоти обертання на регуляторі швидкості нижче від номінального. Якщо двигун прогрітий, то його можна запускати на номінальну частоту обертання. Для пуску слід відкрити запірні вентиля пускових балонів; прокачати двигун ручним масляним насосом протягом 2–3

хв, натиснути на кнопку відкриття пускового клапана; після появи в циліндрах двигуна перших спалахів відпустити кнопку, при цьому двигун має запуститися і вийти на задану частоту обертання.

Безпосередньо після пуску двигуна вахтовий механік повинен перевірити показання всіх контрольно-вимірювальних приладів: у першу чергу перевірити та, у разі необхідності, відрегулювати тиск масла в системі змащення й охолодження, тиск палива після підкачувального насоса. Необхідно переконатися у відсутності ненормальних шумів і стуків (фактично перевірити роботу двигуна на слух), оглянути двигун, переконатися у відсутності підтікання води, масла та палива, а також переконатися в роботі всіх циліндрів двигуна. При виявленні неполадок у роботі двигуна при пуску вахтовий механік зобов'язаний доповісти про них вахтовому помічнику капітана і головному (старшому) механіку, одночасно вжити заходів для якнайшвидшого усунення неполадок або, якщо це необхідно, зупинити двигун.

Якщо відхилень параметрів від норми немає і температура масла не нижче 288 К (15 °С), треба встановити номінальну частоту обертання холостого ходу, при цьому зону малих обертів проходити швидко, не затримуючись. Для дизель-генераторів слід увімкнути збудження генератора згідно з інструкцією з експлуатації генератора. Для забезпечення аварійно-попереджувальної сигналізації і захисту необхідно ввімкнути систему ДАК.

Період прогріву двигуна після пуску характеризується несталим тепловим станом, за якого температура окремих його частин так само, як і температура масла й охолоджуючої води, поступово підвищується. Навантаження слід збільшувати поступово залежно від теплового стану двигуна, який визначається за температурою води і масла, що виходять з двигуна.

Для прискорення прогріву можна переводити двигун на режим з навантаженням до 25 % за температури масла не нижче 288 К (15 °С) і води 303 К (30 °С). Переводити двигун на режим з навантаженням 50...100 % дозволяється за температури масла не нижче 303 К (30 °С) і води 323 К (50 °С).

Після пуску двигуна, обладнаного засобами автоматизації, слід переконатися в правильності їх функціонування за сигнальними лампами виконавчої сигналізації та засобами контролю (місцевого й дистанційного).

При пуску двигуна за допомогою електростартера необхідно увімкнути свічки напруги (за їх наявності) за 30 с до увімкнення електростартера і вимкнути негайно після початку роботи двигуна на паливі. Загальна тривалість безперервної роботи свічок накаливання за один пуск не повинна перевищувати 1,5 хв. Слід увімкнути декомпресійний пристрій, подачу палива в циліндри та електростартер. Коли колінчастий вал зробить кілька обертів, треба вимкнути декомпресійний пристрій. Електростартер можна тримати увімкненим не більше 10...15 с. З моменту початку роботи двигуна на паливі електростартер слід негайно вимкнути. Повторні пуски можна здійснювати з перервою не менше 2 хв і тільки після повної зупинки двигуна.

Пуск двигуна за допомогою запального патрона має здійснюватися з дотриманням техніки та заходів протипожежної безпеки в наступному порядку: вийняти запальний патрон, вкласти в нього просочений селітрою папір, запалити його, закріпити запальний патрон з тліючим папером у гнізді кришки циліндра.

Пуск двигуна вручну дозволяється тільки за наявності безпечних ручок, що автоматично вимикаються, у наступному порядку: увімкнути декомпресійний пристрій, установити важіль керування подачею палива в положення, що відповідає холостому ходу, розкрутити колінчастий вал за допомогою пускової рукоятки, вимкнути декомпресійний пристрій і продовжити обертання колінчастого вала до отримання перших спалахів у циліндрах.

При пуску двигуна в хід стисненими відпрацьованими газами, до того як двигун буде навантажений, необхідно поповнити пускові балони за допомогою спеціально передбаченого газовідбірної клапана до рекомендованого інструкцією з експлуатації тиску. По закінченню поповнення балонів газовідбірний клапан слід закрити.

Автоматичний пуск дизель-генератора у нормальних умовах рекомендується проводити у режимі «Гарячий резерв», тобто стані готовності до швидкого прийому навантаження. Перед постановкою дизель-генератора в «Гарячий резерв» необхідно:

- виконати роботи, перелічені вище при підготовці до пуску, запустити двигун кнопкою ПУСК на основному пульті керування (ОПК) або ДАК, прогріти його до загоряння табло ГОТОВИЙ ПРИЙНЯТИ НАВАНТАЖЕННЯ;
- зупинити кнопкою СТОП на ОПК.

Після нормальної зупинки автоматично вмикається режим «Гарячий резерв», при цьому на табло ОПК загоряються ГОРЯЧИЙ РЕЗЕРВ УВІМКНЕНИЙ та ДВИГУН ПРОГРІТИЙ. Перевірений таким чином дизель-генератор, що перебуває у гарячому резерві, готовий до автоматичного пуску та може прийняти навантаження через 30 с після надходження команди ПУСК. Режим «Гарячий резерв» вмикається також кнопкою на ОПК або виносному пульті керування (ВПК). При ввімкненні режиму:

- відкриваються клапани підігріву масла і води внутрішнього контуру;
- закривається клапан заборотної води;
- серводвигун на регуляторі швидкості встановлює завдання на номінальні оберти.

У дизель-генераторі, що знаходиться в гарячому резерві, має бути ввімкнене збудження генератора, відкриті пускові балони і вентилі підведення палива. При надходженні команди «Пуск» системи керування електростанцією або натисканні на ОПК або ВПК кнопки ПУСК, вмикається режим пуску. При цьому:

- на ОПК загоряється табло ПУСК;
- вмикається насос прокачування двигуна маслом;
- серводвигун на регуляторі швидкості встановлює завдання на номінальну частоту обертання;
- при досягненні необхідного тиску масла в масляній системі двигуна відкривається головний пусковий клапан.

При досягненні двигуном частоти обертання, необхідної для самозаймання палива:

- закривається клапан пусковий;
- вимикається насос прокачування двигуна маслом;
- вимикається режим «Гарячий резерв», вмикається лічильник мотогодин.

При досягненні двигуном номінальної частоти обертання та, якщо температура масла в двигуні вище 303 К (30 °С), табло ОПК ПУСК гасне, загоряється табло ГОТОВИЙ ПРИЙНЯТИ НАВАНТАЖЕННЯ і видається команда на ввімкнення автомата генератора. При ввімкненні навантаження табло ГОТОВИЙ ПРИЙНЯТИ НАВАНТАЖЕННЯ гасне й загоряється табло НАВАНТАЖЕННЯ ВВІМКНЕНЕ. У разі автоматичного пуску двигуна з холодного стану двигун прогрівається на проміжних обертах до досягнення температури масла 303 К (30 °С), а потім автоматично виходить на номінальні оберти холостого ходу.

Для забезпечення *надійного пуску аварійного дизель-генератора* необхідно:

- підтримувати температуру повітря в приміщенні, масла і води в двигуні не нижче +8 °С;
- своєчасно заряджати акумуляторні батареї;
- застосовувати для заповнення системи охолодження тільки прісну (м'яку) воду;
- не допускати роботу на високосірчастих та важких сортах палива;
- запускати двигун один раз на тиждень на 10...15 хв на малому навантаженні, перевіряючи при цьому дію засобів автоматизації.

Сумарний час автоматичного пуску аварійного дизель-генератора при зникненні напруги на шинах головного розподільного щита й автоматичного ввімкнення генератора на шини аварійного розподільного щита не повинно перевищувати 45 с.

Для забезпечення надійного пуску *двигунів рятувальних і робочих шлюпок* необхідно використовувати свічки розжарювання та запальні при-

строї. У холодну пору року після зупинки двигуна і підйому шлюпки на борт треба відкрити зливні краники та клапани кінгстонів, повернути вручну двигун для видалення залишків води. Паливний бак двигунів рятувальних і робочих шлюпок слід тримати постійно наповненим. Не можна допускати роботу двигуна на високосірчастих та важких сортах палива. Потрібно запускати двигун один раз на тиждень на 5 хв при малому навантаженні.

2.5. Технічне обслуговування суднових двигунів під час роботи та у непрацюючому стані

На суднах, де передбачено вахтове обслуговування, механік зобов'язаний:

- здійснювати контроль за роботою двигуна та обслуговуючими його допоміжними механізмами, пристроями відбору потужності, системами і трубопроводами за показаннями контрольно-вимірювальних приладів, сигналами виконавчої та аварійно-попереджувальної сигналізації, а також шляхом огляду, перевірки на дотик доступних вузлів і прослуховування, керуючись при цьому вимогами інструкції заводу-виробника та правил ТЕ;

- забезпечувати задані режими роботи головного двигуна відповідно до вказівок капітана або його вахтового помічника, не допускаючи відхилень від заводської інструкції з експлуатації.

Під час ваhti при працюючому двигуні вахтовий механік зобов'язаний записувати в машинний журнал усі команди, отримані від капітана або його вахтового помічника, показання контрольно-вимірювальних приладів, усі відомості про несправності, виявлені у процесі роботи двигуна, в тому числі системи ДАК, засобів аварійно-попереджувальної сигналізації (АПС) та захисту, а також про вжиті заходи щодо їх усунення й інші дані, передбачені правилами ведення машинного журналу.

Періодичність та обсяг обслуговування двигунів без постійної ваhti в машинному приміщенні встановлюється інструкцією з експлуатації,

розробленою відповідною службою судновласника й погодженою з інспекцією Регістру судноплавства України.

При спрацьовуванні захисту і (або) АПС за критичним сигналом вахтовий механік зобов'язаний вжити негайних заходів щодо усунення несправності й доповісти про це старшому механіку і вахтовому помічнику капітана. У разі відмови засобів автоматизації двигунів і обслуговуючих їх механізмів (зникнення живлення, помилкове спрацьовування АПС або захисту, неправильне виконання чи невиконання команди, неправдиве показання засобів відображення інформації, а також при появі сигналів, причину яких вахтовий персонал визначити не в змозі) необхідно повідомити старшому механіку. Одночасно повинні бути вжиті заходи для підтримання режиму роботи двигунів шляхом введення в дію резервних технічних засобів (за необхідності) й переходу на ручне керування, а також потрібно посилити контроль.

При виявленні несправностей змінювати режим роботи головних двигунів і зупиняти їх можна тільки з дозволу капітана або його вахтового помічника. При безпосередній загрозі аварії двигуна або небезпеки для життя людей у машинних приміщеннях, пов'язаній з роботою двигуна, вахтовий механік має право самостійно змінити режим роботи або зупинити головний двигун і негайно доповісти про це вахтовому помічнику капітана та старшому механіку. Забороняється зупиняти двигун без дозволу вахтового помічника капітана в районах інтенсивного судноплавства, мілководдя, в районі порту, в умовах обмеженої видимості у вузькостях, при підході до берега та інших складних умовах плавання. Виявлені під час роботи двигуна несправності повинні, як правило, усуватися після його зупинки. Усунення їх на працюючому двигуні допускається як виняток у випадках, коли це не може призвести до його вимушеної зупинки.

Під час роботи двигуна необхідно контролювати наступні параметри:

– частоту обертання двигуна, турбокомпресорів;

- тиск у циркуляційній системі змащення двигуна та редуктора, охолодження поршнів, тиск масла до і після фільтрів;
- температуру циркуляційного масла на вході й виході після маслоохолоджувачів, а також охолоджуючого масла на виході з поршнів;
- рівень масла в стічних і напірних цистернах, картері двигуна, маслосбірниках турбокомпресорів, лубрикатора;
- тиск води охолодження циліндрів, поршнів, турбокомпресорів, охолоджувачів масла, води та повітря;
- температуру води на вході й виході з циліндрів, поршнів, турбокомпресорів, охолоджувачів масла, води і повітря;
- тиск охолоджуючого середовища (води, палива, масла) на вході у форсунки і температуру на виході з них;
- рівень води в розширювальній та стічній цистернах;
- тиск палива після насоса підкачки палива, температуру або в'язкість палива перед паливними насосами двигуна (при роботі на паливі підвищеної в'язкості);
- рівень палива у витратних цистернах;
- тиск пускового повітря перед головним пусковим клапаном і в повітряних балонах;
- тиск наддувного повітря до й після повітроохолоджувачів і його температуру після повітроохолоджувачів;
- параметри живлення (тиск масла або повітря, напруга електричного струму) в системі керування двигуном;
- температуру випускних газів по циліндрах, у випускному колекторі, перед і після турбокомпресорів;
- температуру вузлів тертя (підшипників двигуна, редуктора, упорного підшипника та ін.);
- концентрацію масляного туману в картері двигуна;
- параметри, що характеризують умови змащення підшипників турбокомпресорів (залежно від конструктивного виконання системи змащення).

Періодичність контролю параметрів двигуна встановлюється інструкцією з експлуатації залежно від надійності його вузлів, рівня оснащення засобами автоматизації та умов експлуатації. Слід періодично (при вахтовому обслуговуванні – не рідше ніж через 4 роки, а при безвахтовому – керуючись інструкцією з експлуатації, розробленою відповідної службою судновласника та погодженою з інспекцією Регістру судноплавства України) звіряти показання контрольно-вимірювальних приладів у рульовій рубці, ЦПК із показаннями штатних приладів контролю.

Прогрів і введення двигуна в режим експлуатаційного навантаження.

Час, необхідний для прогріву двигуна до ввімкнення його під навантаження після пуску, регламентується заводською інструкцією з експлуатації і, крім того, визначається типом дизельної установки, її технічним станом. Забороняється скорочувати час прогріву і введення двигуна в режим експлуатаційного навантаження, за винятком випадків, викликаних вимогами гарантування безпеки судна та пов'язаних із загрозою людського життя. Тривалість роботи двигуна на холостому ходу і мінімальне навантаження при прогріванні повинні відповідати вимогам заводської інструкції з експлуатації.

Якщо в інструкції з експлуатації відсутні вказівки щодо температурного режиму прогріву, то двигун вважається прогрітим і готовим для ввімкнення під навантаження, якщо при сталому режимі навантаження та постійних температурах води й масла на вході в двигун температури води і масла на виході з нього залишаються також постійними з незначними відхиленнями від середньої величини. За низької температури забортної води, що надходить у систему охолодження дизельної установки, необхідно частину теплої води, а також частину циркуляційного масла перепускати в обхід їх охолоджувачів. Слід мати на увазі, що краще охолоджувати двигун великою кількістю теплої води, ніж малою кількістю холодної. Перепуск усього циркуляційного масла в обхід охолоджувача не допускається, оскільки холодне масло, що залишилося в ньому після включення охолоджувача повністю в роботу, може утворити

масляну пробку, яка ускладнює прохід гарячого масла, що може призвести до аварії двигуна.

Для суден із ГРК при прогріванні двигуна керування повинно проводитися з поста, розташованого в машинному приміщенні. Після прогріву двигуна керування передається в рульову рубку, про що має бути зроблений запис у машинному журналі.

Введення головного двигуна в режим експлуатаційного навантаження, а також перехід з одного режиму на інший необхідно проводити поступово, збільшуючи навантаження (подачу палива) на невелику величину. На кожному ступені навантаження двигун повинен пропрацювати деякий час. Рекомендовані режими введення прогрітого двигуна з навантаження малого ходу (10...15 % від номінальної потужності) на експлуатаційну потужність наведені в табл. 2.2. При введенні в режим із середнього ходу або на навантаження, менше за експлуатаційне, кількість ступенів і загальний час введення в режим відповідно зменшуються. Не можна допускати різкої зміни навантаження, оскільки це може призвести до порушення режиму роботи масла й виникнення підвищених механічних і температурних напружень у деталях.

Таблиця 2.2. Режими введення двигуна на експлуатаційну потужність

Товщина донця головки поршня, мм	Кількість ступенів навантаження	Час роботи на кожному ступені, хв	Загальний час введення у режим, хв
До 20	10	1...2	10...20
Вище 20 до 30	10...12	2...3	20...35
Вище 30 до 40	12...13	3...4	35...50
Вище 40 до 50	13...14	4...5	50...70
Вище 50 до 60	14...15	5...6	70...90

В установках з багатьма двигунами, що працюють на гвинт через муфти та редуктор, треба стежити, щоб навантаження між двигунами було розподілене рівномірно. Контроль за рівномірним розподілом навантаження між двигунами повинен здійснюватися за температурою випускних газів, а також за положенням покажчика навантаження або керуючих органів паливних

насосів. За наявності системи ДАК, в якій передбачена програма розігріву–охолодження двигуна, введення його в режим експлуатаційного навантаження має здійснюватися ввімкненням системи ДАК на зазначену програму.

Експлуатаційна частота обертання та експлуатаційна потужність головного двигуна (*вибір режиму роботи*), за яких він повинен працювати, встановлюються відповідно до рекомендацій інструкції з експлуатації чи вказівок відповідних служб судновласника залежно від умов плавання судна (обростання, осадка, хід з тралом, температура і тиск навколишнього повітря, хвилі тощо).

Оцінка теплонпруженості двигуна проводиться за наступними непрямыми показниками:

- середнім індикаторним тиском або середнім тиском за часом;
- положенням покажчика навантаження (паливної рейки);
- температурою випускних газів за циліндрами (перед турбінами);
- температурою охолоджуючих води та масла, що виходять із циліндрів і поршнів;
- перепадів температури охолоджуючих води й масла на двигуні.

Механічна напруженість двигуна оцінюється на основі вимірювань наступних параметрів:

- крутного моменту або ефективної потужності;
- максимального тиску згоряння;
- середнього індикаторного тиску або середнього тиску в циліндрах за часом.

На режимах *зовнішньої характеристики* двигуна (номінальної або експлуатаційної) при зниженні частоти обертання можливе збільшення його механічної і теплової напруженості. Тривала експлуатація більшості форсованих двигунів з нерегульованим наддувом за зовнішньою характеристикою при зниженій частоті обертання колінчастого вала не допускається. Межі зміни частоти обертання колінчастого вала і час

безперервної роботи на режимах зовнішньої характеристики, коли можливість такої роботи передбачена, визначаються заводською інструкцією з експлуатації.

Обмежувальна характеристика повинна призначатися таким чином, щоб при роботі двигуна на належних йому режимах забезпечувалося збереження його теплового та механічного напруження на рівні, що не перевищує рівень напруження на номінальному режимі. У двигунах з наддувом для збереження теплонапруженості на рівні номінального режиму при зниженні частоти обертання необхідно зменшити середній ефективний тиск (зменшити подачу палива).

При роботі двигуна на максимальній подачі палива і з постійною частотою обертання колінчастого вала несприятливі зміни умов навколишнього середовища викликають збільшення температури випускних газів. Збільшення температури допускається тільки до того граничного значення, яке вказується в заводських інструкціях з експлуатації. Якщо температура випускних газів перевищує гранично-допустиму, необхідно зменшити подачу палива. У двигунах, де потужність може бути знижена при збереженні частоти обертання вала, тобто при навантажувальній характеристиці (двигуні з приводом ГРК або генераторів), циклова подача палива повинна бути зменшена до значень, що забезпечують збереження температури газу перед турбіною на рівні гранично-допустимої для номінального навантаження. У двигунах, що працюють на ГФК, зменшення подачі палива викликає зниження частоти обертання вала, при цьому потужність двигуна змінюється за гвинтовою характеристикою. Гранично-допустима температура випускних газів також зменшується зі зниженням частоти обертання. У цьому випадку при визначенні допустимого режиму роботи двигуна необхідно орієнтуватися на гранично-допустиму температуру випускних газів, що відповідає зниженій частоті обертання вала двигуна.

Забороняється робота двигуна в зонах критичних частот обертання, відмічених на шкалі тахометра червоними секторами. При переході з одного

режиму роботи двигуна на інший заборонені зони частоти обертання слід проходити швидко, але без ривків.

При вахтовому обслуговуванні двигуна не рідше одного разу на годину необхідно:

- проводити обхід та перевіряти стан і температуру на дотик усіх доступних для огляду деталей, що труться та рухаються, не порушуючи при цьому правил техніки безпеки;

- змащувати відповідним мастилом вузли, які не мають примусового змащення;

- контролювати розподіл навантаження по циліндрах за допомогою штатних спеціальних приладів для контролю та реєстрації режимів або за температурою випускних газів чи середнім індикаторним тиском.

Залежно від обсягу і надійності засобів автоматизації двигуна періодичність контролю може бути змінена відповідно до вимог інструкції з експлуатації, розробленої відповідною службою судновласника та погодженої з інспекцією Регістру судноплавства України.

Під час роботи двигуна вахтовий механік, а при безвахтовому обслуговуванні – персонал, допущений до керування двигуном, зобов'язаний здійснювати контроль за показаннями приладів (тахометрів, манометрів тощо) і вживати заходів зі своєчасного усунення виявлених відхилень у роботі двигуна. Показання приладів треба записувати в машинний журнал. Періодичність та обсяг реєстрації встановлюються правилами ведення машинного журналу.

Необхідно контролювати температуру підшипників, роботу до-поміжних механізмів, що забезпечують роботу двигуна; перевіряти надійність кріплення трубопроводів, своєчасно усуваючи вібрацію труб і не допускаючи витоків через нещільності їх з'єднань, а також контролювати колір випускних газів.

Потрібно стежити за появою сторонніх шумів, стуків і підвищених вібрацій двигуна, турбокомпресора, редуктора, валопроводу та інших механізмів. У цих випадках слід негайно встановити місце їх виникнення. Для виключення можливого виникнення аварії вахтовий механік повинен знизити

частоту обертання колінчастого вала двигуна або зупинити його, керуючись вказаними вище вимогами щодо зупинки двигуна.

При обслуговуванні системи охолодження двигуна необхідно контролювати температуру і тиск охолоджуючої води (масла), підтримуючи їх значення на рівні встановлених інструкцією з експлуатації. За відсутності вказівок в інструкції з експлуатації температура води, що виходить з кожного циліндра, не має перевищувати 45...50 °С для двигунів з проточною системою охолодження (забортною водою) та 70...85 °С – із замкнутою системою охолодження (прісною водою), яка взаємодіє з атмосферою. Різниця температур води, що входить у двигун і виходить з нього, повинна складати 5...7 °С, у напружених двигунах допускається перепад від 10 до 20 °С.

Якщо температура заборотної води, що надходить до двигуна, низька, треба підвищити її до величини, зазначеної в інструкції з експлуатації заводу-виробника, шляхом перепуску нагрітої води, що виходить з двигуна в приймальну порожнину охолоджуючого насоса. Охолодження двигуна холодною водою призводить до виникнення температурних напружень і тріщин у втулках циліндрів, кришках, головках поршнів.

При раптовому падінні тиску або надмірному підвищенні температури охолоджуючої води необхідно перемкнути систему охолодження на роботу від резервного насоса, поступово збільшуючи подачу охолоджуючої води. Якщо після цього тиск і температура охолоджуючої води не досягнуть нормальних значень, слід зменшити навантаження або зупинити двигун, керуючись вказаними вище вимогами щодо зупинки двигуна, та продовжувати прокачувати його водою і маслом.

Якщо температура охолоджуючої води (масла) на виході з якого-небудь циліндра (поршня) значно вища від нормальної і знизити її не вдається, дозволяється до усунення несправності, враховуючи вимоги аварійної зупинки, вимкнути подачу палива в зазначений циліндр без зупинки двигуна.

Температурний режим охолодження поршнів має відповідати режиму, рекомендованому інструкцією з експлуатації. За відсутності вказівок в

інструкції з експлуатації температура води на виході з поршнів повинна складати 55...60 °С. Якщо поршні охолоджуються маслом, то щоб уникнути інтенсивного окиснення, температура його на виході не має перевищувати 55 °С. Різниця температур охолоджуючої рідини на вході в двигун і виході з нього для системи охолодження поршнів повинна складати 8...12 °С.

При охолодженні форсунок водою (паливом, маслом) необхідно періодично перевіряти герметичність у з'єднаннях, а також підтримувати температуру охолодження, рекомендовану інструкцією з експлуатації. Слід підтримувати тиск охолоджуючої води (масла або палива) вище від тиску заборотної води, щоб уникнути підсолювання прісної води (обводнення масла чи палива).

При обслуговуванні замкнутої системи охолодження необхідно не рідше одного разу за вахту перевіряти рівень прісної води в розширювальній цистерні. Падіння рівня води вказує на витік у з'єднаннях системи, підвищення рівня – на потрапляння в прісну воду заборотної. Не рідше одного разу за вахту треба перевіряти і при накопиченні повітря видалити його із системи охолодження. Слід періодично випускати повітря з фільтрів заборотної води та очищати їх; не рідше двох разів на місяць потрібно відбирати проби охолоджуючої води замкнутого контуру двигуна для визначення її якості (жорсткості, вмісту хлоридів, лужності) й вмісту в ній присадки.

При роботі двигуна слід здійснювати **обслуговування системи змащення**. При цьому необхідно контролювати і підтримувати задані значення тиску й температури масла в системах змащення двигуна, турбокомпресорів, редуктора, гідромуфти, а також перевіряти подачу масла до окремих вузлів через центральні маслорозподільвачі.

Періодично (не рідше одного разу на годину) треба перевіряти рівень масла в стічних масляних цистернах або картері двигуна. Різке зменшення рівня масла може бути викликане його витокком через нещільності в системі. Підвищення рівня масла вказує на потрапляння в систему змащення води або палива. При рівні масла в картері нижче від допустимого необхідно долити

його, встановити причини збільшення або різкого зниження рівня масла в картері та усунути їх. Присутність води, а також палива у маслі може бути визначена за кольором і в'язкістю масла.

Періодично (не рідше одного разу за вахту) слід подавати консистентне мастило до вузлів ручного змащення, поповнювати ковпачкові та прес-маслянки.

У міру необхідності (за наявності спеціальних пристроїв) треба випускати повітря з масляних порожнин маслоохолоджувачів і фільтрів. Потрібно контролювати тиск масла в маслоохолоджувачі, який має бути вищим від тиску охолоджуючої води. Періодично (не рідше одного разу за добу) слід брати пробу охолоджуючої води з водяної порожнини маслоохолоджувачів з метою перевірки відсутності слідів масла у воді.

При падінні тиску масла і підвищенні його температури необхідно перейти на змащення резервним масляним насосом, виявити причину несправності та, по можливості, усунути її без зупинки двигуна. Якщо після пуску резервного насоса тиск і температура масла не нормалізуються, треба зменшити навантаження на двигун або зупинити його, не припиняючи прокачувати двигун маслом.

Не рідше одного разу на годину слід контролювати масло турбокомпресорів (рівень у маслозбірниках або стічних цистернах, температуру і колір масла). Потрібно контролювати розподіл циліндрового масла по точках змащення і рівень масла в лубрикаторі циліндрового масла, заміряючи витрату його й дозування. Кількість масла, що подається лубрикаторами, повинна відповідати вимогам заводської інструкції з експлуатації. Недостатня або надмірна подача масла в циліндри двигуна неприпустима.

Перепад тиску масла (різниця значень до і після фільтра) встановлюється інструкцією з експлуатації. Підвищений перепад вказує на забруднення фільтруючих елементів. При цьому необхідно мати на увазі, що зростання перепаду тиску відбувається дуже швидко. При перевищенні рекомендованої

різниці слід замінити фільтруючі елементи фільтра тонкого очищення масла, при цьому необхідно злити масло з корпусу фільтра.

Під час роботи двигуна циркуляційне масло має періодично або безперервно очищуватися сепараторами.

Указані вище вимоги щодо періодичності обслуговування поширюються на судна, що не мають знака автоматизації. Для суден зі знаком автоматизації A1, A2 і A3 слід керуватися інструкцією з експлуатації, розробленою відповідною службою судновласника та погодженою з інспекцією Регістру судноплавства України.

При роботі двигуна необхідно контролювати рівень палива у витратних цистернах, кожен вахту перевіряти паливо на відсутність у ньому води, спускати відстій і по мірі необхідності поповнювати цистерни, щоб уникнути попадання повітря в паливну систему при оголенні приймальної труби до насосів двигуна під час хитами. На суднах, де передбачене автоматичне поповнення витратних цистерн, слід контролювати правильність роботи цих засобів автоматизації.

Потрібно контролювати тиск після насоса підкачки палива, особливо при роботі на паливі підвищеної в'язкості (відповідно до інструкції з експлуатації).

При *обслуговуванні паливної системи* під час роботи двигуна необхідно контролювати:

- стан фільтрів палива;
- стан паливного трубопроводу від витратних цистерн до насосів та від насосів до форсунок (нещільність і пропуски палива, виявлені в трубах, з'єднаннях, арматурі, повинні негайно усуватися);
- роботу форсунок, перевіряючи чіткість підйому голок за допомогою спеціальних контрольних щупів (відсутність поштовхів щупа, ослаблення пульсації в трубці вказує на зависання голки форсунки).

На двигунах, що працюють без підігріву палива, треба контролювати на дотик температуру паливних насосів і трубок форсунок. Підвищений нагрів насосів або трубок при одночасному збільшенні пульсації палива вказує на

засмічення сопел форсунок. При підтіканні форсунки або зависанні її голки чути стук при кожному робочому ході поршня, що є наслідком передчасного спалаху палива, яке підтікає. Регулювання форсунок та їхня заміна під час роботи двигуна забороняються.

Обслуговування систем пуску, продувки і наддуву. Після пуску двигуна, а потім періодично, але не рідше одного разу за вахту, необхідно на дотик перевіряти температуру трубопроводів підведення пускового повітря до циліндрів. Нагрівання пускового трубопроводу вказує на нещільність пускового клапана даного циліндра. Якщо усунути дефект неможливо, треба зупинити двигун, керуючись відповідними вимогами. Балони пускового повітря мають бути постійно наповнені стисненим повітрям. Падіння тиску нижче від номінального не повинно перевищувати 0,5 МПа. Головний запірний клапан одного з балонів пускового повітря для головних двигунів під час ходу судна має бути постійно відкритим. З балона пускового повітря повинні періодично видалятися вода і масло шляхом продування.

Необхідно періодично контролювати температуру повітря наддуву після повітроохолоджувачів, яка в продувному ресивері має бути на 2...4 °С вищою від температури початку конденсації водяної пари (табл. 2.2). Температуру повітря слід регулювати зміною кількості води, що прокачується через повітроохолоджувачі.

Таблиця 2.2. Температура конденсації водяної пари в продувному повітрі

Тиск продувного повітря (надлишковий), МПа	Температура повітря у машинному відділенні, °C	Відносна вологість повітря у машинному відділенні, %							
		30	40	50	60	70	80	90	100
0,02	15	0	4	7	10	12	14	16	18
	20	5	9	12	15	17	19	21	23
	25	9	13	17	20	22	24	26	28
	30	13	18	22	25	27	29	31	33
	35	18	23	26	29	32	34	37	39
	40	22	27	31	34	37	39	42	44
	45	27	32	36	39	42	44	47	49
0,03	15	1	5	9	11	14	15	18	19
	20	6	10	13	15	19	21	23	24
	25	10	15	18	21	24	26	28	30
	30	15	19	23	26	28	31	33	35
	35	19	24	28	31	33	36	38	40
	40	24	28	32	36	38	41	43	46
	45	28	33	37	40	43	46	48	50
0,04	15	2	6	10	12	15	17	19	20
	20	7	11	14	17	20	22	24	26
	25	11	16	19	22	25	27	29	31
	30	16	20	24	27	30	32	34	36
	35	20	25	29	32	35	37	39	41
	40	25	30	34	37	40	42	44	47
	45	29	34	38	42	45	47	50	52
0,05	15	3	7	11	13	16	18	20	22
	20	8	12	15	18	21	23	25	27
	25	12	17	20	23	26	28	30	32
	30	17	21	25	28	31	33	35	37
	35	21	26	30	33	36	38	41	43
	40	26	31	35	38	41	44	46	48
	45	30	35	40	43	46	49	51	53
0,06	15	4	8	11	14	17	19	21	23
	20	9	13	17	19	22	24	26	28
	25	13	18	21	24	27	29	31	33
	30	13	23	25	29	32	34	37	38
	35	22	27	31	34	37	40	42	44
	40	27	32	35	39	42	45	47	49
	45	31	37	41	44	47	50	52	54
0,07	15	5	9	13	15	18	20	22	24
	20	10	14	17	20	23	25	27	29
	25	14	19	22	25	28	30	32	34
	30	19	23	27	30	33	35	38	40
	35	23	28	32	35	38	41	43	45
	40	28	33	37	40	43	46	48	50
	45	33	38	42	45	48	51	54	56

Продовження таблиці 2.2

Тиск продувного повітря (надлишковий), МПа	Температура повітря у машинному відділенні, °С	Відносна вологість повітря у машинному відділенні, %							
		30	40	50	60	70	80	90	100
0,08	15	6	10	13	16	19	21	23	24
	20	10	15	18	21	24	26	28	30
	25	15	20	23	26	29	31	33	35
	30	20	24	28	31	34	37	39	41
	35	24	29	33	36	39	42	44	46
	40	29	34	38	41	44	47	49	51
	45	34	39	43	46	50	52	55	57
0,09	15	7	11	14	17	20	22	24	25
	20	11	16	19	22	25	27	29	31
	25	16	20	24	27	30	32	34	36
	30	21	25	29	32	35	37	40	42
	35	25	30	34	37	40	43	45	47
	40	30	35	39	42	45	48	50	58
	45	34	40	44	48	51	53	55	58
0,10	15	7	12	15	18	20	22	24	28
	20	12	16	20	23	26	28	30	32
	25	17	21	25	28	31	33	36	37
	30	21	26	30	33	36	38	41	43
	35	26	31	35	38	41	44	46	48
	40	31	36	40	43	46	49	51	54
	45	35	41	45	49	52	54	57	59
0,11	15	8	12	16	19	21	23	25	27
	20	13	17	21	24	26	29	31	33
	25	17	22	26	29	32	34	36	38
	30	22	27	31	34	37	39	42	44
	35	27	32	36	39	42	45	47	49
	40	32	37	41	44	47	50	52	55
	45	35	42	46	50	53	55	58	60
0,12	15	9	13	16	19	22	24	26	28
	20	13	18	22	25	27	29	31	33
	25	18	23	27	30	32	35	37	39
	30	23	28	32	35	38	40	42	44
	35	28	33	37	40	43	46	48	50
	40	32	38	42	45	48	51	53	56
	45	37	42	47	50	54	56	59	61
0,13	15	9	14	17	20	23	25	27	29
	20	14	19	22	25	28	30	32	34
	25	19	24	27	30	33	36	38	40
	30	24	29	32	36	39	41	43	45
	35	28	33	37	41	44	46	49	51
	40	33	38	43	46	49	52	54	56
	45	38	43	48	51	54	57	60	62

Необхідно регулярно контролювати чистоту повітряних фільтрів турбокомпресорів. Ознаками забруднення є падіння тиску наддувного повітря і зниження частоти обертання турбокомпресора при зростанні температур випускних газів.

Періодично, не рідше одного разу за вахту, повинні продуватися повітряні порожнини повітроохолоджувачів, ресивера продувного повітря та підпоршневі порожнини продувних насосів від накопичення води й масла.

При виникненні помпажу турбокомпресорів треба знизити навантаження двигуна. Якщо шум, хлопки, гудіння не припиняються, потрібно знизити тиск у ресивері продувного повітря, відкривши запобіжний клапан або викрутивши пробки на нагнітальному патрубку турбокомпресора. Необхідно стежити за тим, щоб температура газу перед турбіною не перевищила допустиму. Якщо і цього недостатньо, слід за першої можливості зупинити двигун та усунути причину виникнення помпажу.

Ознаками забруднення турбокомпресорів є зниження частоти обертання, падіння тиску наддувного повітря і підвищення температури випускних газів двигуна при тому ж навантаженні. Якщо турбокомпресори обладнані системою промивки, необхідно промивати компресор і турбіну. Промивання має здійснюватися відповідно до інструкції з експлуатації турбокомпресорів або згідно із **загальними вказівками з безрозбірного очищення проточних частин турбокомпресорів в експлуатації**.

Для підтримки чистоти проточних частин турбокомпресорів **без розбирання** на ходу використовується промивання їх чистою водою, підігрітою до 55...70 °С, без присадок миючих речовин. Підведення води повинно бути рівномірним по периметру кола, а напрям впорскування має збігатися з напрямом входу потоку на робоче колесо. Подача води на компресор здійснюється перед обертовим апаратом, на турбіну – перед захисними решітками або сопловим апаратом.

Для досягнення кращого розпилювання вода подається під тиском 0,5 МПа. Перед початком треба провести хімічну або механічну очистку проточних

частин. Після цього промивання компресора слід робити через 100...150 год роботи, турбіни – через 250...300 год.

Промивання компресора виконується при роботі двигуна на номінальній (експлуатаційній) потужності. Після закінчення впорскування води двигун повинен пропрацювати не менше 1 год без навантаження для обсушування повітряного тракту. Проточна частина турбіни промивається при зниженні до 25 % від номінального навантаження. Після закінчення впорскування підвищення навантаження двигуна до повного здійснюється поступово (не менше 10 хв).

У процесі впорскування води обов'язково здійснюється дренаж мийних відходів з корпусних частин турбокомпресора. Ефект промивання водою контролюється за параметрами роботи турбокомпресора. Якщо проточні частини промиті добре, тиск наддуву та частота обертання двигуна зростають, а температура відпрацьованих газів знижується. Крім того, з дренажної трубки до кінця впорскування має витікати чиста вода. Якщо одноразове впорскування води не дало помітного ефекту, впорскування повторюється з інтервалом не менше 10 хв. Якщо триразове (підряд) впорскування води не дає позитивного результату, то потрібна механічна або хімічна очистка з розбиранням турбокомпресора. Періодичність промивання визначається дослідним шляхом, оскільки забруднення турбокомпресора залежить від багатьох факторів. Слід зазначити, що при використанні легких сортів палива необхідність у промиванні турбінної частини компресора практично не виникає.

На ходу судна необхідно проводити *обслуговування валопроводу*. Зокрема потрібно контролювати роботу валопроводу, редукторів, муфт, стан упорних й опорних підшипників, роботу системи прокачування дейдвуда та охолодження підшипників, а також роботу системи змащення й охолодження редукторів і підшипників на суднах з металевими дейдвудними підшипниками. Якщо температура підшипників перевищує допустиму, слід вжити заходів для їх охолодження, з'ясувати причину нагрівання і по можливості усунути її. Необхідно контролювати рівень масла в підшипниках валопроводу, а на суднах

з металевими дейдвудними підшипниками – рівень масла в цистернах масла. Крім того, треба брати проби масла із системи змащення дейдвудних підшипників.

Необхідно контролювати стан дейдвудного та перебіркових сальників. Якщо температура сальників перевищує допустиму, слід послабити натискні втулки і змастити шийку вала за допомогою колпачкових маслянок.

При обслуговуванні дейдвудного пристрою з кінцевим ущільненням «Симплекс» потрібно контролювати температуру вузлів ущільнення, рівень масла у витратному баку. Слід мати на увазі, що недоброякісний монтаж, засмічення і неправильний вибір масла, короткі пружини манжет, неправильне положення гребного вала впливають на передчасний знос ущільнюючих манжет.

У процесі експлуатації шинно-пневматичних муфт періодично необхідно контролювати температуру шин контактним термометром.

При виявленні несправностей валопроводу, редукторів, муфт (вібрація, стук, скрегіт) треба вжити заходів щодо їх усунення, а у випадках, якщо це загрожує життю обслуговуючого персоналу або аварією, – зупинити головний двигун.

Двигун у **непрацюючому стані** також потребує технічного обслуговування. При знаходженні двигуна у непрацюючому стані до 5 діб необхідно щодня провертати колінчастий вал на кілька обертів за допомогою валообертового пристрою (вручну) при одночасній подачі масла до тертьових деталей за допомогою насосів та лубрикаторів. Після провертання колінчастий вал має встановлюватися в положення, що відрізняється від попереднього. Провертання двигуна повітрям забороняється задля уникнення попадання вологи в циліндри. За наявності турбокомпресорів слід закрити повітряні фільтри та вжити заходів з попередження потрапляння води через вихлопний тракт. Із цією метою треба закрити чохлом або спеціальною кришкою торець вихлопної труби від двигуна.

У разі знаходження двигуна у непрацюючому стані понад 5 діб необхідно періодично (по можливості через 5...10 діб) пускати двигун на 10...15 хв на малому навантаженні.

При знаходженні двигуна у непрацюючому стані протягом місяця та неможливості його пуску слід захистити паливні насоси від корозії шляхом консервування маслом НГ-203, К-17 або залити в насоси обезводнене масло з додаванням присадки АКОР-1. Усі незафарбовані поверхні деталей треба змастити чистим маслом.

Двигун, виведений з експлуатації на строк понад місяць, якщо не передбачається його розбирання для ремонту, піддається консервації відповідно до заводської інструкції, а в разі відсутності такої – відповідно до вказівок, наведених вище.

За наявності автоматичної підтримки двигуна в гарячому резерві (у постійній готовності до негайного пуску) необхідно періодично перевіряти правильність їх функціонування (роботу автоматичного прокачування маслом, наявність прокачування охолоджуючої води, що забезпечує підігрів, і под.).

2.6. Підготовка до маневрів і зупинка суднових двигунів

Перехід двигуна, який працював на пальному з підвищеною вихідною в'язкістю, на дизельне перед початком маневрів або зупинкою слід проводити відповідно до інструкції з експлуатації. Якщо в інструкції відповідні вказівки відсутні, то перед початком маневрів або зупинкою двигун повинен пропрацювати на дизельному паливі не менше 30 хв. В аварійних випадках допускається маневрування на паливі підвищеної в'язкості, при цьому треба посилити спостереження за температурою підігріву палива та уникати тривалої зупинки двигуна. При зупинці двигуна на час більше 30 хв слід прокачати паливну систему дизельним паливом.

Двигун, що працює на генератор або гребний гвинт через роз'єднувальну муфту, потрібно зупиняти при знятому навантаженні або вимкненій муфті (на холостому ході).

З метою запобігання корозійному роз'їданню деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) двигуни, що працюють на високосірчистому паливі, після зупинки необхідно провертати на повітрі (2–3 оберти) при відкритих індикаторних (декомпресійних) кранах для видалення із циліндрів залишків палива.

Перед *ручною зупинкою в нормальних умовах* головного *двигуна*, в якому немає системи ДАК, необхідно поступово зняти навантаження у 6...7 ступенів, зменшуючи подачу палива. На кожному етапі слід робити витримку 1...2 хв до досягнення приблизно 50 % від номінального навантаження (75...80 % від номінальної кількості обертів). На холостому ході потрібно дати двигуну попрацювати 1...2 хв для поступового охолодження, зменшити частоту обертання вала до обертів прогріву і зупинити двигун, натиснувши кнопку стоп на регуляторі швидкості.

У кінці зупинки двигуна треба спостерігати за маховиком. Якщо маховик, перш ніж остаточно зупинитися, буде «хитатися», то це вказує на гарний стан поршневих кілець та відсутність заїдань поршнів і підшипників. Різка зупинка маховика свідчить про малі зазори або заїдання у механізмі руху двигуна. Після зупинки двигуна повинні обертатися за інерцією ротори турбокомпресора і центрифуги.

Аварійна зупинка дизель-генератора виконується системою автоматики при падінні тиску масла в двигуні нижче від зазначеного в інструкції на двигун, підвищенні температури води й частоти обертання, а також у разі неспрацьовування робочого стоп-пристрою і за командою «Екстрений стоп».

При аварійній зупинці вмикається автомат генератора і вмикається одночасно робочий стоп-пристрій на регуляторі швидкості та аварійний стоп-пристрій. При цьому вмикається звукова світлова сигналізація, яка розшифровує причину зупинки. Аварійний стоп-пристрій через тягу граничного вимикача ставить на засувки у верхньому положенні штовхачі паливних насосів. Подача палива в циліндри при цьому припиняється. У разі необхідності можна зупинити двигун вручну рукояткою граничного вимикача.

Зупинка нагрітого двигуна з повним навантаженням без подальшого поступового охолодження викликає перегрів головок поршнів, верхніх частин втулок і кришок циліндрів та супроводжується утворенням коксу й рясним утворенням накипу і порожнин охолодження. У разі закипання води в кришках циліндрів можливий викид гарячої води через отвори відведення пара водяного розширювального бачка. У разі аварійної зупинки дуже нагрітого двигуна треба вжити всі можливі заходи для його поступового охолодження (прокачати воду за допомогою резервного насоса, прокачати масло насосом прокачування, повертати двигун вручну при відкритих індикаторних кранах).

Після зупинки двигуна, якщо надалі не потрібна підтримка його в готовності, необхідно:

- зупинити насос підкачки палива;
- закрити запірні клапани на магістралі палива й витратних цистернах (в установках, які працюють на паливі з підвищеною вихідною в'язкістю, зупинити механізми, обслуговуючі систему підготовки палива, а також перекрити подачу пари на обігрів цистерн, фільтрів, підігрівачів трубопроводів);
- закрити запірні клапани на пускових балонах і трубопроводі пускового повітря, стравити повітря з трубопроводу;
- продовжувати прокачування систем охолодження двигунів та поршнів автономними або резервними насосами до моменту, коли температура в системах знизиться до величини, зазначеної в інструкції підприємства-виробника (за відсутності таких вказівок прокачування здійснюється до моменту, коли температура охолоджуючої води або масла на виході з двигуна, поршнів знизиться до 30...35 °C);
- зупинити автономні продувні насоси;
- відкрити індикаторні декомпресійні крани, зняти кришки картерних люків з дотриманням вимог техніки безпеки та, керуючись відповідними вимогами, перевірити двигун за допомогою валоповоротного пристрою (або вручну) і перевірити стан доступних для огляду деталей ЦПГ та колінчастого

вала, вимкнути валобертний пристрій після перевірки деталей руху, встановити кришки картерних люків на місце, закрити індикаторні декомпресійні крани;

- переконатися, що пускові балони наповнені повітрям;
- поповнити паливом витратні цистерни. На суднах, де передбачено автоматичне поповнення витратних цистерн, контролювати правильність роботи цих засобів автоматизації;
- припинити подачу масла через центральну систему, а при гнітій системі змащення окремих деталей – вийняти гніти з гнізд;
- відкрити спускні крани ресиверів, повітропроводів і випускних колекторів для видалення накопичень води і масла;
- вимкнути живлення систем керування;
- провести операції згідно з інструкцією і правилами ТЕ суднових ГРК з виведення з дії постів керування та механізмів, обслуговуючих установку ГРК;
- обтерти насухо зовнішню поверхню двигуна, змастити маслом деталі, що не обслуговуються централізованою системою змащення, змастити поліровані й чисто оброблені деталі;
- провести за необхідності підзарядку стартерних акумуляторних батарей, якщо вони передбачені;
- усунути всі дефекти, помічені під час роботи двигуна, та підготувати його до наступного пуску.

При зупинці двигуна на тривалий період у холодну пору року, коли температура в машинному відділенні може знизитися до 278 К (5 °С), для запобігання розморожуванню двигуна слід спустити охолоджуючу воду з блока і системи, для чого вивернути опускні пробки в найнижчому місці системи та залишити їх відкритими. Треба продути систему стисненим повітрям тиском не більше 0,3 МПа.

2.7. Особливості експлуатації суднових двигунів на паливі з підвищеною вихідною в'язкістю

Переведення двигуна з дизельного палива на паливо з підвищеною вихідною в'язкістю (або навпаки) здійснюється при зниженні навантаження, поступово підвищуючи (знижуючи) температуру палива перед паливними насосами. Зміна температури палива не має перевищувати 2 °C за хвилину. *Для переведення двигуна з дизельного палива на паливо з підвищеною вихідною в'язкістю необхідно:*

- підняти температуру палива підвищеної в'язкості у витратній цистерні до 70 °C з урахуванням вказівок правил ТЕ;
- дизельне паливо, що надходить до насосів, поступово підігріти до 60 °C;
- зменшити навантаження двигуна до 2/3 від номінального;
- переключити клапан для підведення палива з підвищеною вихідною в'язкістю;
- поступово підняти температуру палива, що надходить до насосів, до отримання необхідної в'язкості;
- увімкнути регулятор в'язкості (температури);
- після досягнення необхідних значень в'язкості (температури) підвищити навантаження згідно із заданим режимом.

При *роботі на паливі з підвищеною вихідною в'язкістю* треба:

- забезпечувати підтримку тиску палива в системі, його в'язкість (температуру) перед насосами високого тиску в межах, установлених інструкцією з експлуатації двигуна при роботі на сортах палива підвищеної в'язкості;
- контролювати якість підготовки палива.

Підготовлене до роботи паливо рекомендується подавати в ту витратну цистерну, з якої в даний момент паливо не надходить на двигун. За відсутності вказівок в інструкції з експлуатації про порядок підготовки та характеристики палива з підвищеною вихідною в'язкістю слід:

– підтримувати граничну температуру підігріву палива відповідно до правил ТЕ;

– підігрівати паливо, яке надходить до форсунок, до температури, що забезпечує в'язкість 10...15 мм²/с (сСт). Температура підігріву може бути визначена за номограмою залежності в'язкості палива (рис. 2.5).

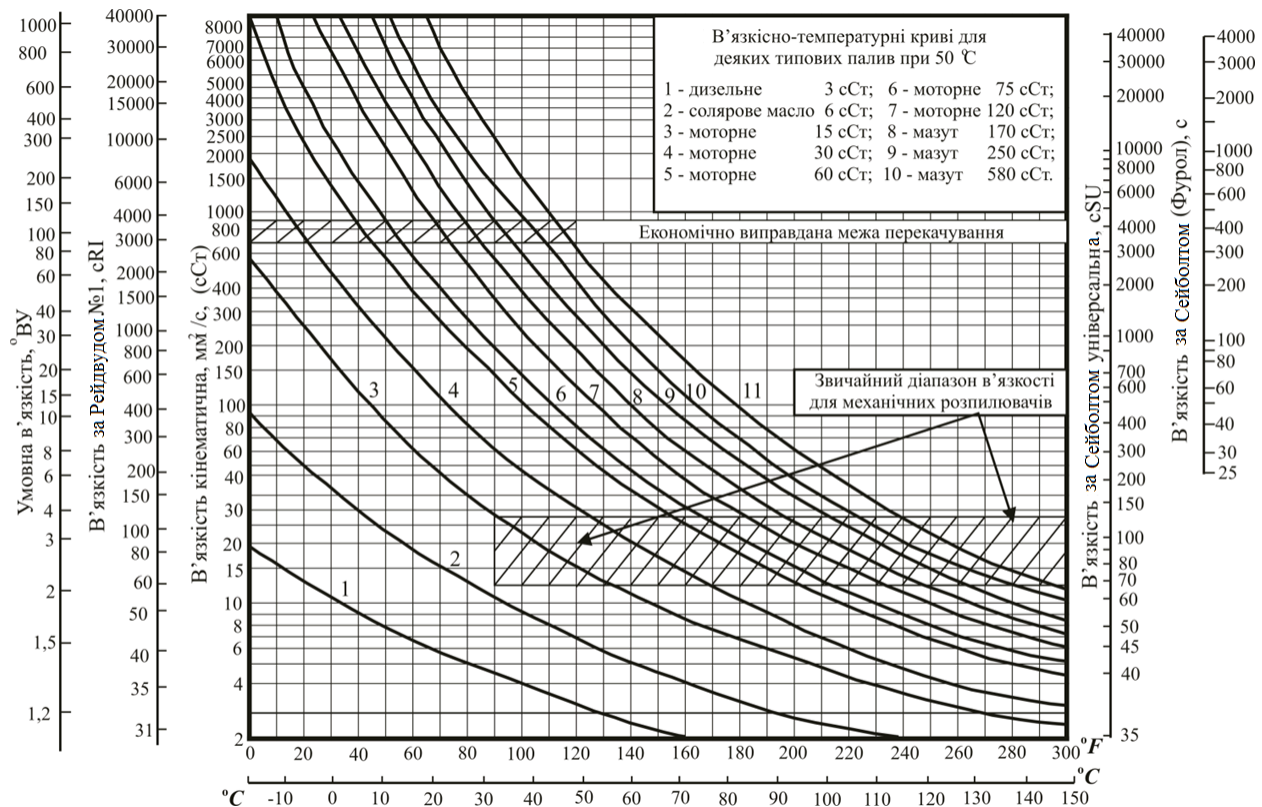


Рис. 2.5. Номограма залежності в'язкості деяких палив від температури

Підігріте паливо, що надходить до паливних насосів двигуна, повинно подаватися під тиском, указаним в інструкції з експлуатації. Для виключення обводнення палива необхідно, щоб тиск пари при підігріві не перевищував тиску палива. Для запобігання утворенню парогазових пробок при підігріві важких сортів палива до температури 80...110 °C необхідно підтримувати тиск у системі після сепаратора перед паливними насосами високого тиску не нижче 0,4 МПа.

Для переведення двигуна з палива, що має підвищену вихідну в'язкість, на дизельне паливо необхідно:

– зменшити навантаження до 2/3 від номінального;

- поступово знизити температуру палива з підвищеною вихідною в'язкістю, що надходить до насосів, до 70 °С;
- переключити клапан для підведення дизельного палива, забезпечивши його температуру перед насосами 60 °С;
- збільшити навантаження до експлуатаційного;
- вимкнути регулятор в'язкості (температур);
- поступово зменшити температуру дизельного палива, потім вимкнути пар на підігрівачі палива.

Ступінь зміни в'язкості палива при зміні температури характеризує його експлуатаційні якості. В'язкість нафтових палив ν виражають в одиницях кінематичної в'язкості, мм²/с, або в одиницях умовної в'язкості, вимірюної віскозиметром Редвуда №1 (у cRI) та Сейболта (у cSV), а також Енглера (у °ВУ). Перерахунок в'язкості в різні одиниці за постійної температури наведений у табл. 2.4. За більш високих значень, ніж указані в таблиці, слід користуватися формулами перерахунку:

$$\begin{aligned}
 ^\circ\text{ВУ} &= 0,132 \nu; & ^\circ\text{ВУ} &= 0,0326 \text{ cRI}; \\
 \nu &= 7,58 ^\circ\text{ВУ}; & ^\circ\text{ВУ} &= 0,0285 \text{ cSV}; \\
 \nu &= 0,247 \text{ cRI}; & \text{cSU} &= 4,62 \nu; \\
 \nu &= 0,216 \text{ cSU}; & \text{cSU} &= 35,11 ^\circ\text{ВУ}; \\
 \text{cRI} &= 4,05 \nu; & \text{cSU} &= 1,14 \text{ cRI}; \\
 \text{cRI} &= 30,7 ^\circ\text{ВУ}; & \text{cRI} &= 0,877 \text{ cSU}.
 \end{aligned}$$

Таблиця 2.4. Перерахунок одиниць в'язкості за постійної температури

В'язкість кінематична ν , мм ² /с	В'язкість умовна			В'язкість кінематична ν , мм ² /с	В'язкість умовна			В'язкість кінематична ν , мм ² /с	В'язкість умовна		
	°ВУ	cRI	cSU		°ВУ	cRI	cSU		°ВУ	cRI	cSU
1,0	1,00	28,5	–	13,0	2,12	61,0	69,6	29	3,95	121	136,5
1,5	1,06	30,0	–	13,5	2,17	63,0	71,5	30	4,10	125	140,9
2,0	1,12	31,0	–	14,0	2,22	64,5	73,4	31	4,20	129	145,3
2,5	1,17	32,0	34,4	14,5	2,27	66,0	75,3	32	4,35	133	149,7
3,0	1,22	33,0	36,0	15,0	2,32	68,0	77,2	33	4,45	136	154,2

3,5	1,26	34,5	37,6	15,5	2,38	70,0	79,2	34	4,60	140	158,7
4,0	1,30	35,5	39,1	16,0	2,43	71,5	81,1	35	4,70	144	163,2
4,5	1,35	37,0	40,7	16,5	2,50	73,0	83,1	36	4,85	148	167,7
5,0	1,40	38,0	42,3	17,0	2,55	75,0	85,1	37	4,95	152	173,2
5,5	1,44	39,5	43,9	17,5	2,60	77,0	87,1	38	5,10	156	176,7
6,0	1,48	41,0	45,5	18,0	2,65	78,5	89,2	39	5,20	160	181,2
6,5	1,52	42,0	47,1	18,5	2,70	80,0	91,2	40	5,35	164	185,7
7,0	1,56	43,5	48,7	19,0	2,75	82,0	93,3	41	5,45	168	190,2
7,5	1,60	45,0	50,3	19,5	2,80	84,0	95,4	42	5,60	172	194,7
8,0	1,65	46,0	52,0	20,0	2,90	86,0	97,5	43	5,75	177	199,2
8,5	1,70	47,5	53,7	20,5	2,95	88,0	99,6	44	5,85	181	203,3
9,0	1,75	49,0	55,4	21,0	3,00	90,0	101,7	45	6,00	185	208,4
9,5	1,79	50,5	57,1	21,5	3,05	92,0	103,9	46	6,10	189	213,0
10,0	1,83	52,0	58,8	22,0	3,10	93,0	106,0	47	6,25	193	217,6
10,2	1,85	52,5	59,5	22,5	3,15	95,0	108,2	48	6,45	197	222,2
10,4	1,87	53,0	60,2	23,0	3,20	97,0	110,3	49	6,50	201	226,8
10,6	1,89	53,5	60,9	23,5	3,30	99,0	112,4	50	6,60	205	231,4
10,8	1,91	54,5	61,6	24,0	3,35	101	114,6	52	6,90	213	240,6
11,0	1,93	55,0	62,3	24,5	3,40	103	116,3	54	7,10	221	249,9
11,4	1,97	56,0	63,7	25,0	3,45	105	118,9	56	7,40	229	259,0
11,8	2,00	57,5	65,2	26,0	3,60	109	123,3	58	7,65	237	268,2
12,2	2,04	59,0	66,6	27,0	3,70	113	127,7	60	7,90	245	277,4
12,6	2,08	60,0	68,1	28,0	3,85	117	132,1	70	9,25	285	324,0

2.8. Технічне використання суднових двигунів на режимах і в умовах, які відрізняються від нормальних

До режимів, що відрізняються від нормальних, належать:

- перевантаження, мале навантаження і холостий хід;
- робота двигуна при плаванні судна на мілководді, в льодових умовах та при підвищеному хвилюванні моря;
- реверсування двигуна;
- робота з вимкненими циліндрами;
- період обкатки двигуна;
- робота без одного або більше турбокомпресорів.

При роботі двигуна на режимах і в умовах, що відрізняються від нормальних, незалежно від ступеня автоматизації силової установки, необхідно посилити спостереження за двигуном і системами, що його обслуговують. Несправності в роботі двигуна треба усувати після встановлення причин їх

виникнення, керуючись вказівками інструкції з експлуатації заводу-виробника та іншими документами.

Виявлена несправність у роботі двигуна, що викликає загрозу аварії, як правило, повинна бути усунена негайно. Якщо умови плавання не дозволяють зупинити двигун для усунення несправності, то за дозволом капітана або його вахтового помічника допускається тимчасова робота з несправним вузлом. У цьому випадку необхідно знизити навантаження, посилити змащення та охолодження. Зупинка двигуна у разі загрози аварії або небезпеки для життя людей має виконуватися згідно з поданими вище правилами ТЕ.

Робота двигуна з перевантаженням допускається у виняткових випадках, пов'язаних із загрозою людському життю або безпеці судна, і тільки за наказом капітана. За роботи двигуна з перевантаженням повинні бути дотримані всі вимоги заводської інструкції з експлуатації, що стосуються перевищення допустимих значень потужності та частоти обертання, а також тривалості роботи двигуна в режимі перевантаження. За відсутності в заводській інструкції з експлуатації вказівок про роботу **двигуна з перевантаженням** слід керуватися наступними положеннями:

- потужність двигуна не має перевищувати номінальну більше ніж на 10 % (для головних двигунів з прямою передачею на ГФК зазначене обмеження відповідає 3 % частоти обертання від номінального значення);
- допускається робота двигуна в режимі перевантаження не більше 1 год з повторенням указанного режиму не менше ніж через 5 год роботи.

При обслуговуванні двигуна, що працює з перевантаженням, необхідно особливо ретельно стежити за його основними параметрами, значення яких не повинні перевищувати вказаних в інструкції заводу-виробника для режиму перевантаження. При цьому слід посилити спостереження за роботою кожного циліндра, систем і двигуна в цілому. Не рідше ніж через 15 хв треба контролювати температуру доступних тертьових деталей двигуна, а також стежити за виникненням ненормальних шумів і стуків та вживати заходів щодо їх усунення.

Тривала робота двигуна в режимі *малого навантаження* або *холостого ходу* не рекомендується. За роботи двигуна на *малих навантаженнях* або *холостому ходу* необхідно:

- слідкувати за відсутністю пропусків спалахів у циліндрах;
- зменшити кількість масла, що подається на змащення циліндрів;
- підтримувати температуру води (масла) охолодження поршнів і циліндрів на рівні верхньої межі допустимого значення, встановленого підприємством-виробником при мінімально можливому перепаді температур на вході й виході;
- зменшити або вимкнути подачу охолоджуючої води на повітроохолоджувачі;
- періодично по мірі накопичення видаляти з вихлопного колектора мастило та паливо.

Тривалість роботи двигуна на режимі *холостого ходу* повинна відповідати вимогам заводської інструкції з експлуатації. Як правило, безперервна робота двигуна на *холостому ходу* допускається не більше 30 хв, а на *найменшому ходу* – не більше 1 год. При тривалій роботі двигуна на зазначених режимах (відповідно до вимог інструкції з експлуатації) слід виводити його на 10...15 хв на режим *підвищеного навантаження* для зменшення відкладення нагару в камерах згоряння і газовипускному тракті.

При плаванні судна в умовах мілководдя, при підвищеному хвилюванні моря, в льодах, при вході й виході з порту особлива увага має бути приділена обслуговуванню приймальних пристроїв заборотної води в системі охолодження двигуна.

При плаванні в умовах мілководдя прийом заборотної води повинен здійснюватися тільки через бортові кінгстони, при сильній бортовій хитавиці у відкритому морі – через донний кінгстон. В умовах роботи на мілководді при частих заходах у порт необхідно в міру засмічення чистити кінгстонні коробки і фільтри заборотної води. При роботі судна в дрібному льоді прийом заборотної води має здійснюватися через донний кінгстон при одночасній підтримці в

готовності бортових кінгстонів. З метою запобігання засміченню дрібним льодом донний і бортовий кінгстони слід продувати парою, стисненим повітрям під тиском, передбаченим в інструкції з обслуговування системи охолодження, або виконувати рециркуляцію охолоджуючої води, що виходить з теплообмінних апаратів двигуна.

Для реверсування двигуна, безпосередньо з'єднаного з гребним валом, на ходу судна при керуванні з місцевого поста необхідно виконати наступні операції:

- вимкнути подачу палива в циліндри двигуна, встановивши рукоятку керування в положення «Стоп»;
- при зниженні частоти обертання двигуна до нуля або «реверсивного рівня», рекомендованого заводською інструкцією з експлуатації, провести реверсування.

При частому реверсуванні треба стежити за температурою охолоджуючої води (масла), не допускаючи швидкого охолодження двигуна. В установках, де масляний насос має привід від двигуна, перед реверсуванням необхідно ввімкнути резервний масляний насос. Слід намагатися максимально скоротити кількість реверсувань як на промислі, так і при виконанні швартовних операцій, ураховуючи, що під час пуску двигуна відбувається інтенсивний знос деталей ЦПГ і шийок колінчастого вала.

У виняткових випадках, пов'язаних із загрозою людському життю або безпеці судна, за командою капітана або вахтового помічника дозволяється реверсувати двигун після зниження обертів до 50...60 % від номінальних.

Реверсування двигуна, з'єднаного з гребним гвинтом через реверсивну муфту або реверс-редуктор, здійснюється при зниженні частоти обертання колінчастого вала до 50...70 % від номінальної. Увімкнення й вимкнення реверсивних муфт і реверс-редукторів повинно проводитися плавно, без ривків.

Зміна напрямку обертання гребного гвинта в установках з двома двигунами, працюючими на гвинт через зубчасту передачу і муфти, має проводитися реверсуванням:

– одного двигуна при ввімкненій муфті й вимкненому іншому двигуні в послідовності, зазначеній як для двигуна, безпосередньо з'єднаного з гребним валом;

– двигунів при вимкнених муфтах з наступним їх увімкненням при частоті обертання не вище 60...80 % від номінальної. Гальмування двигунів пусковим стисненим повітрям при ввімкнених муфтах допускається після зниження частоти обертання колінчастого вала до 10...15 % від номінальної.

При реверсуванні гребного гвинта в установках з двома двигунами, що працюють на гвинт через зубчасту передачу, забороняється:

– пускати двигуни в протилежних напрямках, якщо обидві муфти ввімкнені;

– вмикати обидві муфти, якщо двигуни мають протилежний напрямок обертання колінчастих валів.

Зміна напрямку руху судна з ГРК має здійснюватися шляхом розвороту лопатей гвинта в необхідному напрямку. Для суден із ГРК реверсування двигуном забороняється, за винятком випадків, пов'язаних з несправністю систем або установки ГРК у цілому. При виявленні несправностей в установці ГРК, які не можуть бути усунені в умовах експлуатації, слід перейти на керування двигуном з його поста, встановивши лопаті гвинта в положення фіксованого (конструктивного) кроку відповідно до інструкції з експлуатації підприємства-виробника ГРК та правил ТЕ суднових ГРК.

Технічний стан двигуна та установки ГРК у процесі експлуатації має забезпечувати час реверсування двигуна і перекладки лопатей, що відповідає вказаному в інструкції заводу-виробника та правил ТЕ суднових ГРК. За відсутності таких даних час реверсування не повинен перевищувати 15 с для двигунів, безпосередньо з'єднаних з гребним валом або які працюють на гребний вал через редуктор, та 40 с для двигунів, що працюють на гребний вал через роз'єднувальні муфти. Час перекладки лопатей ГРК із повного переднього ходу на повний задній не має перевищувати 20 с для гвинтів діаметром до 2 м та 30 с – для гвинтів діаметром понад 2 м.

Допустиме навантаження на двигун у режимі заднього ходу вказується в інструкції підприємства-виробника. За відсутності таких даних технічний стан головних двигунів повинен забезпечувати наступну потужність заднього ходу:

- для реверсивного двигуна з прямою передачею обертання на ГФК – не менше 85 % від номінальної;
- для установок з дизель-редукторною передачею – не менше 65 % від номінальної;
- для установок, в яких гребний вал приводиться в обертання від декількох двигунів та реверсування проводиться перемиканням муфт, – не менше 40 % від номінальної;
- для установок з прямою передачею обертання на ГРК – не менше 100 % від номінальної.

При виявленні несправності в якому-небудь циліндрі двигун має бути зупинений для з'ясування причин і усунення несправностей. Коли умови експлуатації двигуна вимагають продовження його роботи за наявності несправностей в якому-небудь циліндрі, **дозволяється вивести з роботи один або кілька циліндрів**. У цьому випадку необхідно вимкнути подачу палива в несправний циліндр та зменшити подачу в нього циліндрового масла. Для запобігання займанню в циліндрі накопиченого масла слід періодично відкривати індикаторний (декомпресійний) кран. У двотактних двигунах, щоб уникнути перевантаження шатунних болтів, викликаних силами інерції, не рекомендується знімати циліндричну кришку, пусковий клапан або форсунку вимкненого циліндра.

При роботі двигуна з вимкненими циліндрами треба дотримуватися заходів безпеки, зазначених в інструкції з експлуатації підприємства-виробника.

При вимкненні циліндра у двигунах з імпульсним газотурбінним наддувом у разі виникнення помпажу турбокомпресорів необхідно знизити частоту обертання, а також тиск у ресивері продувного повітря або вимкнути ще один циліндр, що працює в групі циліндрів іншого турбокомпресора. На

режимах роботи головних двигунів з вимкненими циліндрами потрібно зменшити подачу палива і встановити таку частоту обертання, щоб забезпечити найменші вібрації двигуна, корпусу судна та усунути або послабити помпаж турбокомпресора.

При серйозних пошкодженнях деталей циліндро-поршневої групи слід провести їх демонтаж з підйомом поршня. У двотактних двигунах після демонтажу групи руху циліндра випускні та продувні вікна треба закрити спеціальним пристосуванням або за допомогою поршня, підвішеного на талях. Необхідно припинити подачу масла у вимкнений циліндр, подачу води (масла) на охолодження поршня, від'єднати пусковий клапан циліндра від магістралі пускового повітря.

При роботі двигуна з одним або декількома вимкненими циліндрами потрібно посилити спостереження за ним, не допускаючи підвищення температури випускних газів і помпажу турбокомпресора. У разі появи таких несправностей головного двигуна, працюючого зі змінною частотою обертання, слід зменшити частоту обертання, а у двигуні, що працює з постійною частотою обертання (на ГРК або генератор), – зменшити навантаження.

Після кожного ремонту або технічного обслуговування відповідальних вузлів і деталей (поршня, поршневих кілець, циліндричної втулки, головного, шатунного й рамового підшипників), пов'язаного з їх розбиранням, після збирання і завершення робіт з регулювання двигуна в холодному стані проводяться його **обкатка, остаточне регулювання та випробування відповідно до заводської інструкції з експлуатації.**

У разі відсутності вказівок в інструкції з експлуатації припрацювання ЦПГ двигуна після виготовлення, ремонту або профілактичного огляду, пов'язаного з підйомом поршня, має проводитися з дотриманням таких рекомендацій:

– починати обкатку при зниженому навантаженні двигуна не більше ніж 50 %;

- навантаження до 90...95 % від номінального підвищувати поступово в 5...6 ступенів;

- тривалість роботи на кожному ступені залежно від типу двигуна складає 1...3 год;

- на найбільшому навантаженні, прийнятому для обкатки, тривалість роботи на останньому ступені – не менше 4...6 год.

При обкатці двигуна необхідно контролювати якість згоряння палива в циліндрах, перевіряти розподіл потужності по циліндрах, контролювати температуру води і масла у відповідних системах двигуна, заміряти температуру відпрацьованих газів по циліндрах двигуна, перевіряти відсутність підтікань палива, масла й води, перепуск стисненого повітря з відповідних систем двигуна, стежити за виникненням сторонніх звуків, що характеризують несправну роботу двигуна.

Після закінчення режиму обкатки двигун треба зупинити, розкрити люки картера і перевірити температуру всіх тертьових деталей. Виявлені дефекти слід усунути і виконати необхідне регулювання. При обкатці двигунів з лубрикаторною системою змащення необхідно збільшити подачу циліндрового масла.

Після закінчення обкатки та усунення всіх виявлених несправностей у роботі двигуна й обслуговуючих його механізмів і систем має проводитися регулювання робочого процесу відповідно до рекомендацій правил ТЕ. Для скорочення терміну обкатки, зменшення початкового зносу й отримання більш якісного припрацювання деталей циліндро-поршневої групи двигуна рекомендується застосовувати спеціальні обкатні присадки до палива або масла, такі, як АЛП-2, а також АЛП-3 і АЛП-4.

З метою перевірки якості ремонту повинні проводитися випробування двигуна. Залежно від можливостей судноремонтного підприємства проводяться імітаційні або швартові й ходові випробування за програмою, схваленою Регістром судноплавства України.

При виході з ладу *одного і більше турбокомпресорів*, щоб уникнути більших поломок, двигун слід негайно зупинити, дотримуючись відповідних вимог. Якщо пошкодження турбокомпресора відбулося в умовах, коли неможливо зупинити двигун, треба знизити навантаження, щоб частота обертання турбокомпресора зменшилася до зникнення небезпечної вібрації. При цьому температура випускних газів не має перевищувати допустиму при роботі двигуна зі справним турбокомпресором, а також потрібно не допускати помпажу. Якщо короточасна зупинка двигуна при пошкодженні турбокомпресора можлива, то необхідно:

- провести стопоріння ротора за допомогою спеціального пристосування або демонтувати його та встановити спеціальну заглушку між корпусом турбіни і корпусом компресора;
- відокремити підвідний патрубок непрацюючого турбокомпресора від ресивера продувного повітря за допомогою спеціальної заслінки або заглушки;
- вимкнути подачу масла до аварійного турбокомпресора;
- увімкнути аварійну повітродувку з автономним електроприводом;
- не вимикати подачу охолоджуючої води, якщо через непрацюючий турбокомпресор проходять випускні гази;
- на автоматизованому двигуні вимкнути аварійний захист і сигналізацію, пов'язану з пошкодженням турбокомпресором.

Кліматичні умови, за яких здійснюється експлуатація двигуна, забезпечують вплив на режими роботи його агрегатів і систем, викликаючи прискорення або уповільнення інтенсивності зміни параметрів технічного стану. До таких умов відносять природно-кліматичні умови, режим роботи ДВЗ. У різних умовах експлуатації показники надійності двигунів за однакове напруження будуть різнитися, що позначиться й на показниках ефективності технічної експлуатації. Урахування умов експлуатації необхідне при визначенні нормативів технічної експлуатації, потреби в ресурсах (персонал, виробничо-технічна база, запасні частини і матеріали).

Природно-кліматичні умови характеризуються температурою навколишнього повітря, вологістю та іншими показниками. При експлуатації двигунів в умовах відмінних температур навколишнього середовища у внутрішній контур системи охолодження заливають спеціальні рідини, наприклад, антифриз. Паливну систему заправляють зимовим або арктичним паливом. Якщо двигун запускається електричним шляхом, акумуляторні батареї переводять на режим роботи в зимових умовах (заливають електроліт відповідної густини). Для більш швидкого прогріву двигуна з повітряною системою охолодження внутрішнього контуру необхідно з боку всмоктування частково прикрити брезентовим чохлом вентилятор системи охолодження. Крім того, треба утеплити трубопроводи, масляний та водяний радіатори.

В умовах вологого тропічного клімату особливу увагу слід звернути на стан зовнішніх захисних покриттів двигуна, а також опір ізоляції вузлів електрообладнання. У випадку порушення цілісності захисних покриттів ці ділянки необхідно ретельно зачистити, знежирити та зафарбувати.

Залежно від температури навколишнього середовища, відносної вологості й атмосферного тиску потужність двигуна змінюється і потребує перерахунку. Завод-виробник надає параметри роботи двигуна за певної температури навколишнього середовища, відносної вологості й тиску. За роботи двигуна в умовах, що відрізняються від указаних у паспорті двигуна, потужність двигуна корегується відповідно до нових умов роботи.

2.9. Контроль за роботою та регулювання суднових двигунів, а також вимоги до приладів контролю й регулювання

Під час роботи двигунів потужністю 220 кВт і вище необхідно контролювати такі основні параметри:

- середній індикаторний тиск за наявності на двигуні індикаторного крана;
- тиск у кінці стиснення P_c , МПа;
- максимальний тиск згоряння P_z , МПа;

- середній тиск за часом P_t , МПа;
- тиск продувного (наддувного) повітря P_k , МПа;
- температура випускних газів T_r , К;
- питома витрата палива g_e , кг/(кВт·год);
- питома витрата масла g_m (для двигунів з роздільною системою змащення – питома витрата на змащення втулок робочих циліндрів і циркуляційне змащення).

Крім зазначених, слід також контролювати параметри відповідно до затвердженої форми машинних журналів і журналів індиціювання ДВЗ. Періодичність індиціювання двигуна та визначення основних параметрів установлюється механіко-судновою службою (МСС) або інженерно-технічною службою (ІТС) , або фахівцем судновласника відповідно до вимог заводської інструкції і залежно від типу двигуна, його технічного стану, умов експлуатації, але не рідше ніж через кожні 400 год роботи. **Індиціювання двигунів**, крім строків, установлених службою судновласника (МСС, ІТС), має проводитися в наступних випадках:

- при виявленні ненормальної роботи одного або декількох циліндрів;
- після регулювання паливоподачі, заміни форсунки або паливного насоса, після ремонту чи заміни деталей руху та заміни кришки циліндра або втулки;
- після переходу на новий сорт палива.

Результати індиціювання двигунів, обладнаних індикаторними краном, повинні бути занесені в журнал індиціювання головного двигуна. Результати теплотехнічного контролю двигунів потужністю 220 кВт і вище, що не мають індикаторних кранів, заносяться до журналу теплотехнічного контролю двигунів. Робочий процес двигунів потужністю менше 220 кВт необхідно контролювати за параметрами, що визначають їх теплове навантаження.

Для перевірки розподілу навантаження по циліндрах і якості регулювання контролюють наступні параметри роботи двигунів (по циліндрах):

- температуру випускних газів за штатними термометрами;

– різницю частоти обертання при послідовному вимкненні циліндрів у разі відсутності індикаторних кранів;

– середній тиск за часом p_t , що вимірюється за допомогою піметра, або максимальний тиск згоряння p_z , який вимірюється максиметром або індикатором, – за наявності індикаторних кранів;

– середній індикаторний тиск p_i – за наявності індикаторного крана.

Контроль за параметрами роботи двигуна повинен виконуватися на сталому номінальному режимі або близькому до нього, але не менше 85 % від номінального. Температура випускних газів по циліндрах і у випускному колекторі в процесі регулювання має вимірюватися термоелектричними комплектами або ртутними термометрами, попередньо тарованими за достовірно справним. Тиск у кінці стиснення p_c у циліндрі слід вимірювати згідно з інструкцією з експлуатації підприємства-виробника. За відсутності вказівок в інструкції вимірювання потрібно проводити при вимкненому паливному насосі й потужності двигуна, що не перевищує 75 % від номінальної.

На двигунах, де передача крутного моменту проводиться через пружні муфти, для попередження руйнування гумових елементів муфт від нерівномірної роботи двигуна необхідно визначити тиск у кінці стиснення p_c за розгорнутою індикаторною діаграмою.

Максимальний тиск згоряння p_z визначається за допомогою індикатора, таксиметра або сучасних систем вимірювання динамічного тиску. Індикатори тиску слід застосовувати для двигунів, номінальна частота обертання яких не перевищує допустиму, обумовлену в інструкції з експлуатації індикатора. У разі відсутності таких вказівок для двигунів з частотою обертання до 500 об/хв допускається використовувати індикатори зі спіральною пружиною, понад 500 об/хв – максиметри. З метою автоматичного діагностування і контролю роботи двигунів (виходячи з доцільності) слід установлювати й застосовувати судові комплекси типу «Kistler», «Optrand», «NK-5», «DEPAS 2.34sp» та ін.

Спеціалізований датчик динамічного тиску безперервної дії «OPTRAND» (рис. 2.6) не потребує спеціального охолодження й може використовуватися за температури 300 °С.

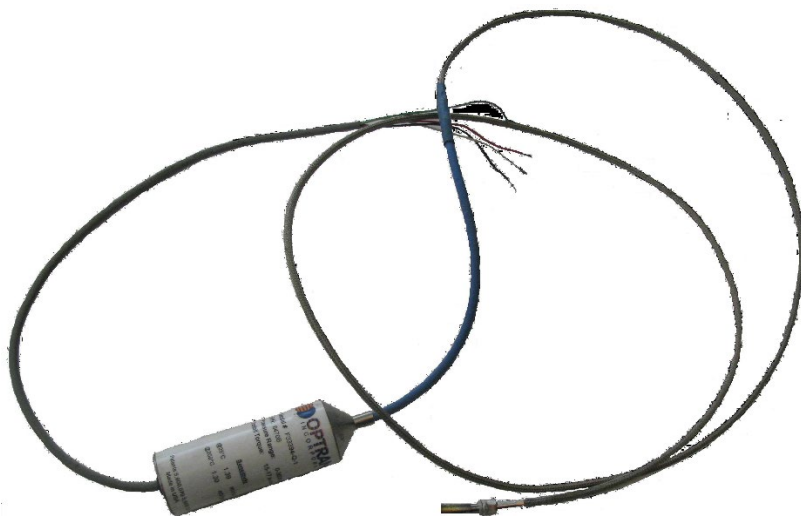


Рис. 2.6. Датчик тиску OPTRAND (модель F 333 94-Q-1)

Сенсор датчика має пучок оптичних волокон, розташований навпроти металевої діафрагми, яка, в свою чергу, під дією тиску згинається. Інтенсивність відбитого світла пропорційна тиску на діафрагму. Датчик тиску «OPTRAND» пристосований для роботи у важких умовах згоряння, при електромеханічних і радіочастотних перешкодах, хімічно-агресивному й радіоактивному середовищах і вибухах. У табл. 2.5 як приклад наведені основні параметри діапазонів роботи та чутливості датчика «OPTRAND» моделі F 333 94-Q-1.

Таблиця 2.5. Технічні дані датчика «OPTRAND» (модель F 333 94-Q-1)

№ з/п	Параметр	Значення
1	Власна частота	> 100 кГц
2	Вимірювані середовища	Рідина, газ
3	Діапазон робочих температур при згорянні та безперервній роботі	– 40...300 °С
4	Вимірювальний тиск	0...20 МПа
5	Відхилення від лінійності та запізнювання: при згорянні та максимальних значеннях тиску без згоряння та максимальних значеннях тиску робоче значення	± 1 % ± 0,5 % ± 0,25 %
6	Температурний коефіцієнт чутливості	± 0,03 %/°С

Датчик Kistler (рис. 2.7) використовують для безперебійного, безперервного, тривалого вимірювання тиску у важких умовах і перетворення цієї величини у цифровий або аналоговий уніфікований сигнал постійного струму на виході. Як приклад у табл. 2.6 подані основні параметри діапазонів роботи та чутливості датчика Kistler моделі 7613С.

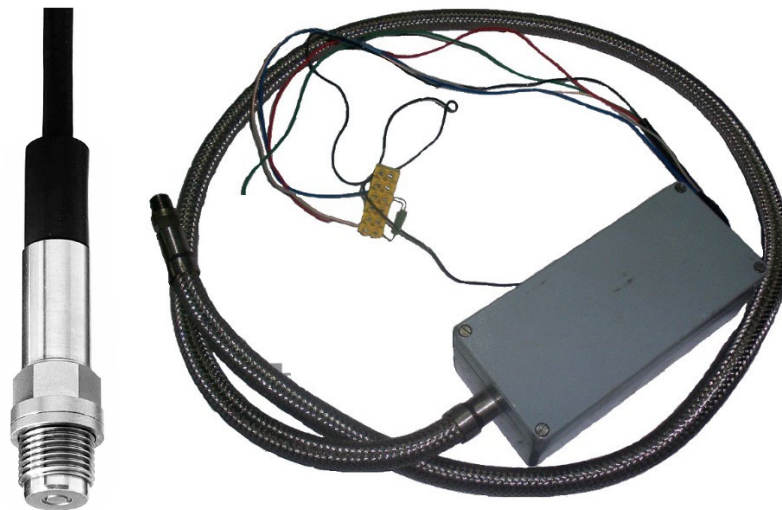


Рис. 2.7. Датчик тиску Kistler (модель 7613С)

Таблиця 2.6. Технічні дані датчика Kistler моделі 7613С

№ з/п	Параметр	Значення
1	Власна частота	≈ 70 кГц
2	Вимірювані середовища	Рідина, газ
3	Чутливість	-20 мВ/МПа
4	Відхилення від лінійності на всіх діапазонах	$\leq \pm 0,5$
5	Діапазон робочих температур: чутлива частина датчика шестигранник роз'єму електронний блок	$-50 \dots 350$ °C $-50 \dots 150$ °C $-50 \dots 90$ °C
6	Вимірювальний тиск	$0 \dots 25$ МПа
7	Використовуваний струм	4 мА
8	Зсув чутливості: $-200 \dots \pm 150$ °C -200 ± 50 °C	$\leq \pm 3$ % ≈ 1 %

Витрата циркуляційного масла на двигун контролюється за рівнем масла в картері (для двигунів з мокрим картером) або стічній масляній цистерні (для двигунів із сухим картером). Витрата циліндрового масла на двигуні контролюється за рівнем масла в бачку лубрикатора (для двигунів з

лубрикаторним змащенням). Визначення витрати проводиться шляхом доливання заздалегідь вимірної кількості масла до первісного рівня в картері або в стічній цистерні, або в бачку лубрикатора після тривалої роботи (24...48 год) на сталому режимі. Доливання масла в картер або стічну цистерну слід проводити не раніше ніж через годину після зупинки двигуна. Питома витрата масла підраховується за формулою

$$g_m = \frac{V \rho_m}{N_e t}, \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)},$$

де V – об’ємна витрата масла (за вимірюванням) на двигуні, см^3 ; ρ_m – густина масла при температурі вимірювання, г/см^3 ; N_e – ефективна потужність, яка виробляється під час визначення витрати масла, кВт; t – тривалість вимірювання, год.

При нормальному технічному стані двигуна **витрата палива** повинна відповідати значенням, гарантованим підприємством-виробником. Витрата палива на судах може бути визначена за допомогою тарованих мірних баків, витратомірів палива, гідростатичних, гідропневматичних та електричних приладів. При вимірюваннях витрати палива за допомогою мірного бака використовуються: трубопровід для підключення бака із запірною арматурою, перевіреною на герметичність, секундомір, мензурка з поділами для відбору проб, термометр для визначення температури палива, нафтоденсиметр для заміру густини палива.

Порядок визначення витрати палива наступний:

- поєднавши триходовим краном мірний бак з витратною цистерною, наповнюють її паливом до контрольної позначки;
- подачу палива до двигуна здійснюють з мірного бака, роз’єднавши його з витратною цистерною;
- при проходженні паливом верхньої контрольної мітки вмикають секундомір, заміряють температуру палива і відбирають пробу;
- при досягненні паливом нижньої контрольної мітки зупиняють секундомір та визначають час випорожнення мірного бака.

Часову витрату палива розраховують наступним чином:

$$G_T = \frac{3600\rho^{20}(V_\sigma - V_T)}{\tau_{\text{сер}}},$$

де V_σ – об’єм мірного бака між контрольними мітками, л; V_T – об’єм проб палива, взятих під час випробування, л; ρ^{20} – густина палива, приведена до 20 °С, г/см³; $\tau_{\text{сер}}$ – середній арифметичний час витікання палива з мірного бака між замірами, с.

Густина палива, приведена до 20 °С, визначається за формулою

$$\rho^{20} = \rho^t + \gamma(t - 20),$$

де ρ^t – густина палива в мірному баку, яка визначена за допомогою денсиметра, г/см³; t – температура в мірному баку, °С; γ – середня температурна поправка на 1 °С, яка береться з табл. 2.7.

Таблиця 2.7. Середня температурна поправка

Густина палива, г/см ³	Поправка на 1 °С	Густина палива, г/см ³	Поправка на 1 °С
0,7100...0,7199	0,000884	0,8300...0,8399	0,000725
0,7200...0,7299	0,000870	0,8400...0,8499	0,000712
0,7300...0,7399	0,000875	0,8500...0,8599	0,000699
0,7400...0,7499	0,000844	0,8600...0,8699	0,000686
0,7500...0,7599	0,000831	0,8700...0,8799	0,000673
0,7600...0,7699	0,000818	0,8800...0,8899	0,000660
0,7700...0,7799	0,000865	0,8900...0,8999	0,000647
0,7800...0,7899	0,000792	0,9000...0,9099	0,000633
0,7900...0,7999	0,000778	0,9100...0,9199	0,000620
0,8000...0,8099	0,000765	0,9200...0,9299	0,000607
0,8100...0,8199	0,000752	0,9300...0,9399	0,000594
0,8200...0,8299	0,000738	0,9400...0,9499	0,000681

Витрата палива приводиться до теплоти згоряння $Q_H^p = 4,2705 \cdot 10^{-4}$, кДж/кг, та обчислюється так:

$$G_{\text{Тпр}} = G_T \frac{Q_H^3}{Q_H^p},$$

де Q_H^3 – нижча теплота згоряння палива, на якому працював двигун під час вимірювання. Ця теплота визначається з паспорту палива або розраховується приблизно за формулою

$$Q_H^3 = 4,2705 \cdot 10^{-4}(12053 - 2041\rho^{20}), \text{ кДж/кг.}$$

Питома витрата палива обчислюється наступним чином:

$$g_e = \frac{G_{\text{тпр}} \cdot 10^3}{N_e^{\text{нр}}}, \text{ г/(кВт}\cdot\text{год)},$$

де $N_e^{\text{нр}}$ – номінальна потужність двигуна, приведена до нормальних атмосферних умов роботи, кВт.

Середній індикаторний тиск визначається за формулою

$$P_i = \frac{F}{lm}, \text{ МПа},$$

де F – площа індикаторної діаграми, мм²; l – довжина діаграми, мм; m – масштаб пружини індикатора, мм/МПа.

Агрегатна потужність конкретного двигуна, який має певні розміри циліндра і тактність:

$$N_i = z \frac{\pi D^2}{4} P_i S n i \eta_{\text{мех}}^i, \text{ кВт},$$

де z – коефіцієнт тактності: для двотактного двигуна $z = 1$, для чотиритактного $z = 0,5$; D – діаметр циліндра, м; P_i – середній індикаторний тиск, МПа; S – хід поршня, м; n – кількість обертів колінчастого вала двигуна, с⁻¹; i – кількість циліндрів двигуна; $\eta_{\text{мех}}^i$ – внутрішній механічний ККД двигуна.

Ефективна потужність дизель-генераторів змінного току розраховується так:

$$N_e = \frac{k I_{\phi} U_{\phi} 10^{-3}}{\eta_{\Gamma} \cos \varphi}, \text{ кВт},$$

де k – кількість фаз; I_{ϕ} – фазне значення сили току генератора, А; U_{ϕ} – фазна напруга на шинах генератора, В; η_{Γ} – ККД генератора при даній кількості обертів; φ – зсув фаз між напругою і током.

Потужність дизель-генераторів постійного току визначається за формулою

$$N_e = \frac{IU 10^{-3}}{\eta_{\Gamma}}, \text{ кВт},$$

де I – значення сили току генератора, А; U – напруга на шині генератора, В; η_{Γ} – ККД генератора при даній кількості обертів.

Приведена до нормальних атмосферних умов (тиск 0,1013 МПа або 760 мм рт. ст., температура 20 °С та відносна вологість 70 %) **потужність двигунів без наддуву** обчислюється наступним чином:

$$N_e^{np} = N_e \frac{760 - \varphi_0 P_s}{B_t - \varphi_0 P_s} \sqrt{\frac{273 + t_b}{273 + t_0}}, \text{ кВт},$$

де N_e – потужність двигуна, яка отримана при випробуваннях у даних атмосферних умовах, кВт; B_t – барометричний тиск при температурі випробувань, мм вод. ст.; $\varphi_0 P_s$ – парціальний тиск водяної пари у вологому повітрі при умовах випробувань, мм вод. ст.; t_0 – температура стандартних умов, $t_0 = +20$ °С; t_b – температура при умовах випробувань, °С.

Парціальний тиск водяної пари у вологому повітрі визначається за графіком, наведеним на рис. 2.8. Вплив вологості повітря на потужність двигуна не враховується, якщо температура повітря не перевищує 10 °С.

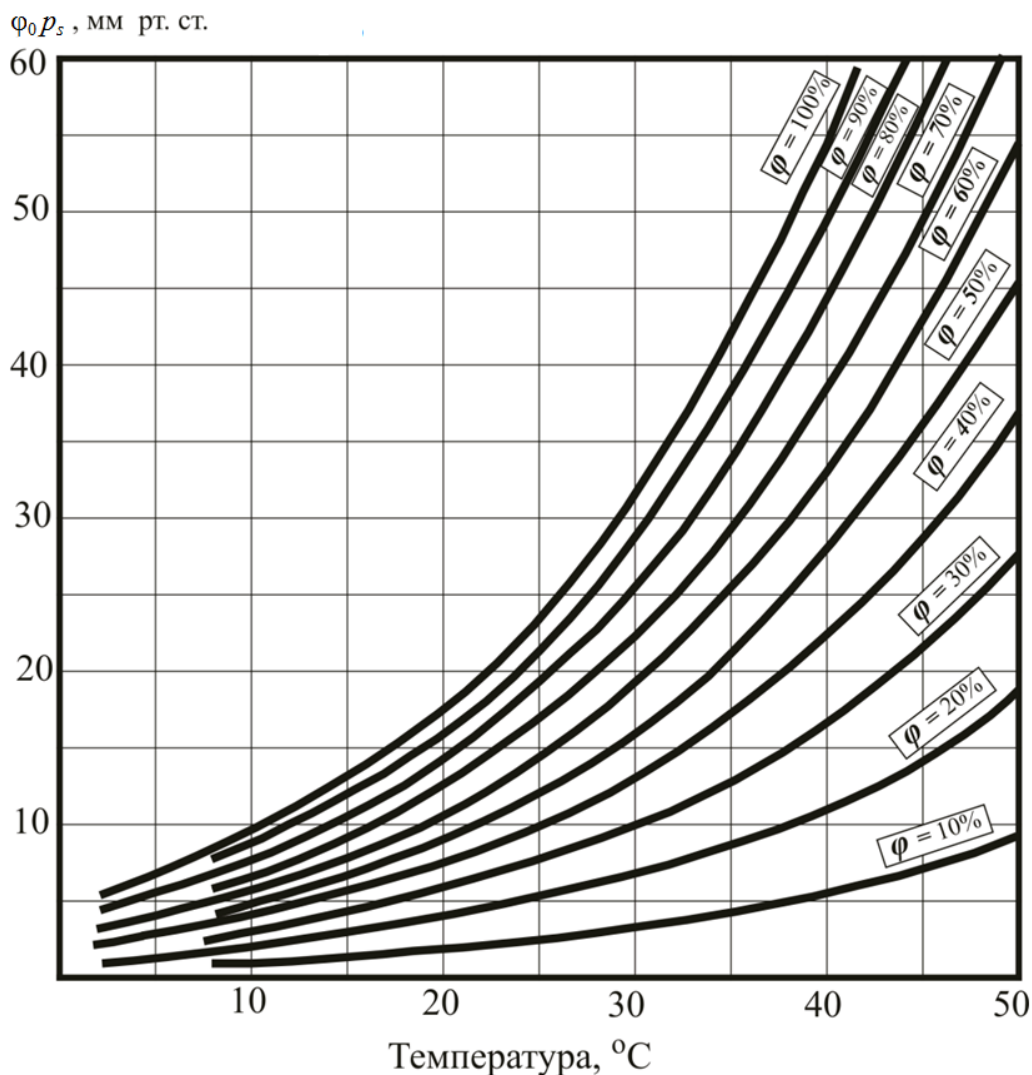


Рис. 2.8. Парціальний тиск водяної пари у вологому повітрі

Для чотиритактних двигунів з газотурбінним наддувом потужність, приведена до нормальних атмосферних умов, визначається за формулою

$$N_e^{np} = \frac{N_e}{L}, \text{ кВт},$$

де N_e – потужність двигуна, яка отримана при випробуваннях у даних атмосферних умовах, кВт; L – коефіцієнт перерахунку потужності.

Коефіцієнт перерахунку потужності

$$L = \Delta(k - 0,7(1 - k)(1/\eta_{\text{мех}} - 1)),$$

де $k = \left(\frac{760 - B_t}{748}\right)^m \left(\frac{293}{T}\right)^n \left(\frac{T_b^0}{T_b}\right)^q$ – відношення індикаторних потужностей при даних та нормальних атмосферних умовах; $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД двигуна при нормальній потужності й нормальних атмосферних умовах (указується в технічних умовах двигуна); Δ – коефіцієнт, що враховує зміну густини палива при зміні його температури на вході в паливний насос (використовується тільки при перерахунку потужності, що розвивається двигуном на упорі органа регулювання подачі палива при відхиленні температури від значення, зазначеного в технічних умовах, у всіх інших випадках $\Delta = 1$); T – температура повітря на всмоктуванні, К; T_b^0 , T_b – температура води на вході в охолоджувач наддувного повітря при нормальних умовах та при умовах випробування, К. Коефіцієнти m , n , q для дизельних двигунів з охолодженням наддувного повітря та без подано у табл. 2.8.

Таблиця 2.8. Значення коефіцієнтів m , n , q для дизельних двигунів

№ з/п	Сумарний коефіцієнт надлишку повітря	m	n	q
1	Більше 2,1	0,1	$0,2 \cdot (1 - 0,5 \cdot \eta_{\text{о.н.п}})$	$0,2 \eta_{\text{о.н.п}}$
2	1,7...2,1	0,1	$0,35 \cdot (1 - 0,5 \cdot \eta_{\text{о.н.п}})$	$0,3 \eta_{\text{о.н.п}}$
3	Менше 1,7	0,3	$0,55 \cdot (1 - 0,5 \cdot \eta_{\text{о.н.п}})$	$0,6 \eta_{\text{о.н.п}}$

Примітка: $\eta_{\text{о.н.п}}$ – ККД охолоджувача наддувного повітря.

Для двотактних двигунів з наддувом перерахунок потужності на нормальні атмосферні умови має проводитися за методикою підприємства-виробника.

На номінальному режимі роботи значення параметрів кожного циліндра не повинні перевищувати (у %):

- середній індикаторний тиск $P_i \pm 2,5 \%$;
- максимальний тиск згоряння $P_z \pm 2,5 \%$;
- температура випускних газів $T_r \pm 5 \%$;
- тиск у кінці стиснення $P_c \pm 2,5 \%$;
- середній тиск за часом $P_t \pm 3\%$.

Відхилення значень вказує на нерівномірність розподілу навантаження.

Регулювання двигуна повинно проводитися періодично залежно від стану установки, типу двигуна і відповідно до вказівок інструкції з експлуатації і МСС (ІТС) судновласника. Забороняється проводити регулювання головних двигунів на несталіх режимах роботи (наприклад, при хвилюванні моря понад 3 балів, при зміні курсу судна). Результати регулювання заносяться в журнали теплотехнічного контролю або індиціювання, а в машинному журналі робиться відповідний запис про виконану роботу.

Перед регулюванням двигуна необхідно:

- переконатися у справності контрольно-вимірювальних та приладів реєстрації, перевірити й відрегулювати зазори в приводах паливних насосів і механізмі газорозподілу;
- перевірити положення нульової подачі палива насосами, опресувати форсунки, перевіривши тиск та якість розпилювання.

Регулювання двигуна проводиться при виявленні:

- нерівномірності розподілу навантаження по циліндрах – зміною кількості палива, що подається насосами;
- відхилень максимального тиску згоряння від рекомендованих інструкцією з експлуатації значень – зміною моменту початку подачі палива по циліндрах.

Послідовність регулювання й усунення відхилень параметрів мають виконуватися відповідно до інструкції з експлуатації. За відсутності вказівок в інструкції регулювання виконується:

- при низькому P_z та високих T_r – збільшенням кута випередження подачі палива;
- при високому P_z і низьких T_r – зменшенням кута випередження подачі палива;
- при високому P_z та високих T_r – зменшенням кута випередження й циклової подачі палива;
- при низькому P_z та високих T_r – збільшенням кута випередження і циклової подачі палива.

Попереднє регулювання двигуна проводиться при навантаженні 25 % від номінального. На даному режимі перевіряють тільки наявність спалахів у всіх циліндрах. Потім на сталому тепловому режимі й навантаженні 50 % від номінального визначають максимальний тиск згоряння P_z . Якщо значення P_z в окремих циліндрах будуть у межах, указаних в інструкції підприємства-виробника для цього режиму, то переходять на режим 75 % від номінального навантаження. На цьому режимі визначають п'ять основних параметрів кожного циліндра двигуна: P_z , P_c , T_r , P_i , P_t . Якщо всі ці параметри будуть у межах, указаних в інструкції з експлуатації для цього режиму, то виконують остаточне регулювання двигуна на режимі номінального навантаження і частоти обертання.

Усі **контрольно-вимірювальні прилади**, необхідні для експлуатації дизельної установки, **мають піддаватися перевірці органами державного і відомчого метрологічного нагляду**. Забороняється використання приладів, які не пройшли державну перевірку, не мають посвідчень або паспортів на придатність до експлуатації, або з простроченими документами, а також неопломбованих, з пошкодженими пломбами та несправних. Місця встановлення контрольно-вимірювальних приладів повинні мати гарне освітлення, а їх шкали – гарну видимість. На шкалах мають бути нанесені

відповідні позначки, що вказують робочі та граничні значення контрольованих параметрів.

Для здійснення періодичного контролю показань місцевих приладів в умовах експлуатації на судні повинен бути комплект контрольних термометрів і манометрів з необхідними межами вимірювань та класом точності. Перевірка показань місцевих приладів за контрольними має проводитися в наступних випадках:

- при відмінності показань двох місцевих приладів, що вимірюють один і той же параметр;
- перед проведенням регулювання двигуна;
- при значній відмінності показань приладів на одному циліндрі двигуна в порівнянні з іншими та умовах нормальної його роботи;
- перед постановкою приладів на двигун після його ремонту, якщо прилади демонтувалися.

Показання *штатних термометрів* необхідно перевіряти не рідше одного разу на шість місяців за контрольним термометром. Температуру випускних газів слід перевіряти контрольним термометром. У манометричних термометрах хід стрілки (покажчика) повинен бути плавний, без стрибків. При плавному підвищенні або зниженні температури стрілка (покажчик) у результаті легкого постукування по приладу не має змінювати свого положення більше ніж на половину від величини основної допустимої похибки (капілярні трубки повинні бути закріплені згідно з інструкцією на прилад). У скляних термометрах при русі в капілярах ртуть не має залишати на стінках слідів. Стопчик її не повинен розриватися на непок'єднувані частини. Зберігають термометри у вертикальному або похилому положенні резервуаром униз. Компенсаційні дроти в термопарах мають бути без пошкоджень. Вільні кінці термопар задля уникнення спотворень результатів вимірювання температури повинні знаходитися в однакових температурних умовах. Рухливі контакти перемикача гальванометра необхідно один раз на шість місяців змащувати

тонким шаром технічного вазеліну. Один раз на рік термопари слід зачищати наждачним папером, видаляючи з них нагар.

На шкалі *тахометра*, контролюючого частоту обертання двигуна, мають бути відзначені:

- червоною рисою – максимальна частота обертання, при якій інструкцією з експлуатації передбачена надійна робота двигуна протягом 1 року;

- червоними секторами – зони критичної частоти обертання, якщо вона знаходиться в робочому діапазоні.

Контроль за правильністю показань тахометра повинен проводитися систематично, але не рідше одного разу на 10 днів за допомогою контрольного ручного тахометра, тахоскопа і секундоміра або секундоміра й підсумовуючого лічильника частоти обертання колінчастого вала. При користуванні ручними тахометрами або тахоскопами замір має тривати не більше 30 с. Наконечник тахоскопа або тахометра задля уникнення його прослизання повинен бути щільно притиснутий до центра (керна) вала, а гумову вставку наконечника слід покрити крейдою. При вимірюванні вісь приладу має збігатися з віссю вала. Перевірка частоти обертання повинна проводитися в штильову погоду на прямому курсі ходу судна. Отримана поправка до показань установленого тахометра має заноситися у вахтовий журнал і повідомлятися особовому складу машинної команди.

При експлуатації *приладів тиску* необхідно звертати увагу на встановлення стрілок (показчиків) у нульове положення. Прилади, стрілки (показчики) яких за відсутності в системах тиску не встановлюються в нульове положення, повинні бути замінені.

Нормальну роботу *терморегуляторів* потрібно контролювати за значеннями температур у системах охолодження і масла. При виході з ладу терморегуляторів обслуговуючий персонал має вміти переходити з автоматичного регулювання на ручне, щоб забезпечувати нормальне функціонування систем охолодження і безперебійну роботу двигуна.

При обслуговуванні **терморегуляторів прямої дії** необхідно:

- забезпечувати герметичність термосистеми і збереження пружини;
- періодично підводити мастило з преснасоса до сальникового ущільнення штока клапана, при цьому не допускаючи сильного затягування сальника;
- не допускати скручування капіляра, його перегини, прокладку в гарячих магістралях;
- проводити у строки згідно з інструкцією з експлуатації розбирання регулятора для огляду й очищення від забруднень.

При обслуговуванні **терморегуляторів непрямої дії** слід:

- забезпечити герметичність з'єднання магістралей робочого середовища (повітря, масло);
- забезпечити належну якість повітря в регуляторах пневматичного типу шляхом своєчасної продувки масловідділювачів та очищення повітряних фільтрів;
- забезпечити справність дроселів і шайб.

Необхідно щорічно проводити контрольне випробування терморегуляторів згідно з інструкцією з експлуатації.

Потрібно контролювати рівень масла при обслуговуванні **регуляторів частоти обертання** з автономною масляною системою. Слід застосовувати тільки рекомендовані інструкції з експлуатації марки масла. Зміну масла треба виконувати своєчасно, а у випадках його забруднення – негайно. При заправці маслом регулятора необхідно забезпечити видалення повітря з його системи.

Не допускається під час експлуатації змінювати положення упорів максимальної подачі палива і максимальної частоти обертання. Перевірка установки упорів та їх регулювання повинні проводитися під час випробувань двигуна. Під час роботи двигуна потрібно контролювати появу коливань частоти обертання вала, що перевищують допустиме значення, пов'язане з підвищеним тертям та збільшеними зазорами в елементах регулятора, в передачах до рейок паливних насосів. У двигунах, в яких передбачається

періодичне змащення шарнірів передач до задавального органа регулятора і від регулятора до рейок паливних насосів, необхідно своєчасно проводити змащення.

Характеристики регуляторів частоти обертання мають відповідати наведеним у заводській технічній документації вимогам:

- налаштування однорежимного регулятора повинно давати можливість установлювати частоту обертання 95...105 % від номінальної, дворежимного та всережимного – максимальна стійка частота обертання 105 %;

- заброс частоти обертання після миттєвого скидання номінального навантаження не має перевищувати 15 %. Тривалість перехідного процесу при цьому не повинна перевищувати 10 с;

- нестабільність частоти обертання при роботі за регуляторними характеристиками не має перевищувати для всережимних регуляторів класу точності В1 2 % – при частоті обертання менше 50% від номінальної та 1 % при частоті обертання більше 50 % і для класу точності В2 відповідно – 4 та 2 %.

Робота двигуна з несправним регулятором частоти обертання забороняється. У виняткових випадках допускається робота тільки головних двигунів з несправним регулятором. При цьому слід знизити частоту обертання на 10...20 % від номінальної та перейти на ручне керування двигуном.

2.10. Можливі несправності в роботі суднових двигунів, причини та способи їх усунення

Суднові двигуни – досить досконалі механізми та при правильному обслуговуванні працюють надійно й безвідмовно. Однак у них можливі деякі несправності. Своєчасно помічені несправності в багатьох випадках можуть бути легко усунені судновою командою. При неуважному спостереженні за двигуном несправності призводять до серйозних погіршень роботи двигуна або навіть аварій. Унаслідок великої різноманітності типів та конструкцій двигунів неможливо врахувати всі несправності, що виникають при їх експлуатації, тому нижче розглянемо лише найбільш розповсюджені.

Несправності при пуску двигуна та маневрах

1. При вмиканні пускового пристрою колінчастий вал двигуна залишається нерухомим:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Не ввімкнуто живлення ДАК	Ввімкнути живлення ДАК
Несправна ДАК	Знайти та усунути несправність ДАК або перейти на екранування з місцевого поста
Закритий запірний клапан на пусковому балоні	Відкрити запірний клапан
Тиск повітря в пускових балонах недостатній	Додати повітря в балони
Повітря, масло в систему керування під час пуску не подаються або їхній тиск недостатній	Відкрити клапан або відрегулювати тиск повітря, прочистити фільтри
Дуже затиснутий дейдвудний сальник	Зменшити затягнення сальника
Гальма валопроводу затиснуті	Відпустити гальма
Гребний гвинт зачіпляє за деяку перешкоду або на гребний гвинт намотався трос	Звільнити гвинт
Блокувальний повітряний клапан валобертового пристрою закритий	Вимкнути валобертовий пристрій або усунути несправності блокувального клапана

2. При пуску двигуна стисненим повітрям колінчастий вал зрушується з місця, здійснюючи хитні рухи вперед–назад або зовсім зупиняється:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Тиск повітря в пускових балонах недостатній	Додати повітря в балони
Несправний редукційний клапан на магістралі пускового повітря (ослабла пружина), і тиск знижується більше, ніж потрібно для пуску	Замінити пружину і відрегулювати клапан
Один з вузлів або елементів системи пуску двигуна несправний (головний пусковий клапан, пускові клапани або золотник повітророзподільника зависли або повільно ходять унаслідок попадання сторонніх часток; труби від повітророзподільника до пускових клапанів від'єднані, пошкоджені або засмічені)	Відремонтувати або замінити несправні вузли та елементи системи
Система пуску двигуна не відрегульована, несвоєчасно відкриваються клапани повітророзподільника, труби від повітророзподільника неправильно під'єднані до пускових клапанів	Відрегулювати систему пуску, правильно приєднати труби до пускових клапанів
Колінчастий вал не встановлено в пускове положення (в двигунах з малою кількістю циліндрів і не на робочому ходу в чотиритактних двигунах)	Установити колінчастий вал у пускове положення

Пошкоджений газорозподіл (відкриття та закриття пускових, впускних і випускних клапанів)	Відрегулювати газорозподіл
Випускний трубопровід закритий	Відкрити випускний трубопровід

3. Двигун розвиває достатню для пуску частоту обертання, але при переході на паливо спалахи в циліндрах не відбуваються або відбуваються з пропусками, або двигун зупиняється:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Паливо не надходить до паливних насосів або надходить у недостатній кількості	Перевірити відкриття всіх клапанів на паливопроводі, перевірити роботу насоса підкачки палива, у разі необхідності промити паливний фільтр
У паливну систему потрапило повітря	Від'єднати форсункові трубки і прокачати паливні насоси вручну до появи палива. Перевірити, чи не заїдають голки форсунок і нагнітальні клапани насосів, через які повітря з циліндра проникає в паливну систему
Паливо містить велику кількість води	Спустити воду та обводнене паливо з витратної цистерни й системи подачі палива, заповнити їх чистим паливом
В'язкість палива вища від нормальної	Збільшити температуру підігріву палива
Не подається паливо, оскільки неправильно встановлена нульова подача паливних насосів	Перевірити та правильно встановити нульову подачу паливних насосів
Паливо надходить у циліндри з великим запізненням	Установити необхідний кут випередження подачі палива
Паливні насоси вимкнені граничним або всережимним регулятором	Установити регулятори в робоче положення
Заїдання в механізмі регулятора та відсічному механізмі	Усунути заїдання
У деякі циліндри паливо не надходить унаслідок несправності паливних насосів або форсунок	Замінити несправні форсунки та паливні насоси
Двигун недостатньо прогрітий	Прогріти двигун
Застосоване паливо не відповідає вимогам інструкції з експлуатації.	Замінити паливо
Тиск у кінці стиснення недостатній	Усунути нещільність клапанів; перевірити і відрегулювати газорозподіл; зношені та поламани поршневі кільця замінити, кільця, які залягли, звільнити
Недостатнє надходження повітря в циліндр унаслідок засмічення впускного колектора	Прочистити впускний колектор
Великий протитиск на газовипускній магістралі (забруднений глушник)	Очистити газовипускну магістраль та глушник
Контрольні крани для прокачування форсунок відкриті або пропускають паливо	Закрити контрольні крани або замінити форсунку

4. Під час пуску спрацьовують клапани:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Паливо потрапило в циліндр через пропуски форсунок	Провернути двигун валовим обертовим пристроєм, продути циліндри повітрям
Підвищена подача палива в циліндри в період пуску через неправильне встановлення нульової подачі паливних насосів	Перевірити та відрегулювати нульову подачу паливних насосів
Великий кут випередження подачі палива	Відрегулювати кут випередження
Ступінь стиснення вищий від нормального	Збільшити камеру стиснення
Заїдання голок форсунок та нещільність нагнітальних клапанів паливних насосів	Притерти відповідні голки форсунок та нагнітальні клапани паливних насосів або замінити запасними
Несправний запобіжний клапан	Замінити запобіжний клапан
Надмірне збільшення навантаження при малій частоті обертання внаслідок пошкодження гребного гвинта	Зупинити двигун, полагодити або замінити гребний гвинт

Можливі несправності під час роботи двигуна

1. Двигун не розвиває частоту обертання повного ходу при нормальному положенні рейки паливного насоса:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Забруднений паливний фільтр	Почистити паливний фільтр
Паливо погано розпилюється через несправності форсунок, паливних насосів або високу в'язкість	Несправні форсунки або паливні насоси замінити, підвищити температуру палива
Паливо перегріте	Зменшити температуру палива, керуючись вимогами інструкції
Збільшено опір руху судна через зустрічний вітер, мілководдя, льодові умови	Змінити подачу палива відповідно до інструкції
Протитиск у випускній системі збільшений	Очистити газовипускний тракт (випускний колектор і газовідвід, випускні вікна втулок циліндрів, турбокомпресори наддуву)
Тиск продувального (наддувального) повітря в продувальному ресивері низький	Усунути причини несправної роботи продувального насоса або турбокомпресора
Температура продувального (наддувального) повітря вища від норми	Збільшити подачу води на повітроохолоджувачі; почистити повітроохолоджувачі з боку води і повітря
Недостатній тиск палива перед паливними насосами	Підвищити тиск палива після перевірки роботи насоса підкачки палива
Регулятор обертів неправильно налаштований або несправний	Усунути несправності регулятора
Паливо невідповідної якості або містить велику кількість води	Замінити паливо, спустити воду

Повітря в паливній системі	Випустити повітря з паливної системи та усунути причини його попадання
Пізня чи рання подача палива в циліндр	Відрегулювати момент подачі палива
Тиск у кінці стиснення низький, немає компресії	Зняти нагар з клапанів, притерти їх та відрегулювати зазори
Недостатньо повітря для згоряння палива	Оглянути та прочистити впускний колектор і систему наддуву
Окремі циліндри двигуна не працюють	Усунути причину несправності й ввімкнути циліндр
Навантаження між циліндрами розподілено нерівномірно	Відрегулювати розподіл потужності по циліндрах
Неправильно відрегульований газорозподільний механізм	Відрегулювати газорозподільний механізм

2. Частота обертання двигуна падає, двигун зупиняється:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
В одному з циліндрів почалося задирання (заклинювання) поршня (чути стук при зміні ходу поршня)	Вимкнути паливний насос цього циліндра та зменшити оберти, зупинити двигун і оглянути циліндр
Провернувся рамовий або шатунний підшипник (нагрілася кришка картера, чути стуки в циліндрі)	Зменшити оберти, зупинити двигун та оглянути циліндр і підшипники
На гвинт намотався трос або інший сторонній предмет потрапив під гвинт	Зупинити двигун та усунути несправність
Несправний регулятор граничної частоти обертання	Усунути несправність регулятора, встановити регулятор у робоче положення
Спрацювала система аварійного захисту двигуна через зниження тиску масла або охолоджуючої води	Перевірити тиск охолоджуючої води та масла; перевірити налаштування аварійного захисту або довести тиск до робочих значень
Швидко закрився запірний клапан на витратній цистерні	Швидко відкрити запірний клапан
Двигун перевантажений	Змінити навантаження на двигун
Надходження води в циліндр (тріщини в кришці або втулці циліндра)	Двигун зупинити, усунути пошкодження
Несправний насос підкачки палива	Відремонтувати насос підкачки палива
Впускний або випускний клапан не закриваються	Вимкнути відповідний циліндр, двигун зупинити, відремонтувати клапани

3. Частота обертання різко збільшується, двигун іде в рознос:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Раптове скидання навантаження (втрата гребного гвинта, ослаблення посадки, поломка або оголення гвинта при кільовій хитавиці, різке скидання навантаження з дизель-генератора та ін.)	Зменшити оберти або зупинити двигун за допомогою штурвала керування. Оглянути, відремонтувати та відрегулювати регулятор і привід від нього до відсічного механізму паливних насосів. При штормовій погоді змінити налаштування всережимного регулятора на меншу частоту обертання. Якщо він відсутній, вручну регулювати подачу палива, змінюючи частоту обертання двигуна
Частота обертання двигуна продовжує зростати при перекритій паливоподачі на двигун унаслідок наявності палива, масла в продувному ресивері та закидання його в камеру згоряння	Закрити підручними засобами приймач всмоктувального колектора або турбокомпресора наддуву. Зупинити двигун, провести ревізію. Замінити зношені маслоснімні кільця або правильно їх установити

4. Частота обертання двигуна нестійка:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Заїдання, люфти в механізмі регулятора та відсічному механізмі	Усунути заїдання та люфти
Періодичні пропуски спалахів в одному або декількох циліндрах	Усунути несправність паливної апаратури
Двигун введений у роботу без прогріву	Прогріти двигун
Вода в паливі	Видалити воду з палива
Повітря в паливній системі	Видалити повітря з паливної системи
Погана робота паливної апаратури (забруднений паливний фільтр, нещільність паливних трубок високого тиску, заїдання нагнітальних клапанів, паливних насосів, заклинені одна або кілька форсунок, насос підкачки палива погано працює)	Усунути всі недоліки роботи паливної апаратури

Температура та колір випускних газів не відповідають нормі

1. Підвищена температура випускних газів одного циліндра:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Циліндр перевантажений	Відрегулювати розподіл потужності по циліндрах, у перевантаженому циліндрі зменшити подачу палива
Погане розпилювання палива (несправність форсунки, паливного насоса, нагнітального клапана, паливо невідповідної якості за в'язкістю)	Замінити форсунку, паливний насос або нагнітальний клапан; паливо замінити або піддати відповідній паливопідготовці

Тиск у кінці стиснення недостатній	Усунути нещільність клапанів; перевірити й відрегулювати газорозподіл; замінити поламані пружини клапанів; зношені та поламані поршневі кільця замінити, залеглі кільця очистити, звільнити; перевірити висоту камери стиснення
Пізня подача палива у циліндр	Відрегулювати момент подачі палива, замінити зношену плунжерну пару або зношений привід паливного насоса
Випускні й продувні вікна дуже закоксовані	Очистити випускні та продувні вікна
Нещільність або зависання випускних клапанів	Усунути нещільність або зависання

2. Підвищена температура випускних газів усіх циліндрів, випускні гази темного кольору:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Двигун перевантажений	Зменшити частоту обертання двигуна
Тиск продувного (наддувного) повітря нижчий від нормального, температура продувного повітря підвищена, недостатня кількість повітря, що поступає в циліндри	Виконати очистку або технічне обслуговування елементів системи повітропостачання та агрегату наддуву
Пізня подача палива в циліндри	Відрегулювати кути випередження подачі палива в циліндри
Погано працюють форсунки (зависла голка розпилювача або забилися соплові отвори, зламана пружина)	Відремонтувати (замінити) розпилювач, замінити пружину
Двигун працює на паливі, що не відповідає вимогам заводської інструкції	Замінити паливо

3. Випускні гази блакитного кольору:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
У циліндри надходить багато масла	Установити нормальний рівень масла в картері, правильно встановити маслоснімні кільця або замінити поламані та зношені; відрегулювати подачу масла лубрикаторами в циліндр; злити відстій масла з ресивера продувного повітря
Масло надходить у циліндри через тріщини в головках поршнів при масляному охолодженні	Замінити поршні

Нехарактерні стуки та шум

1. Стук у циліндрі чотиритактного двигуна повторюється через два оберти, двотактного двигуна – через один оберт:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Циліндр перевантажений (стук чутний при положеннях поршня у верхній та нижній мертвих точках (ВМТ і НМТ))	Зменшити подачу палива в циліндр
Кут випередження подачі палива більший від нормального (стук чутний при положенні у ВМТ)	Зменшити навантаження двигуна до припинення стуку. Установити необхідний кут випередження подачі палива
Паливо невідповідної якості (за температурою спалаху)	Замінити паливо
Несправна форсунка	Замінити або відрегулювати форсунку

2. Стук повторюється при кожній зміні ходу поршня:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
В одному з циліндрів почалося задирання (заклинювання поршня)	Вимкнути паливний насос цього циліндра та зменшити оберти двигуна, зупинити двигун і оглянути робочий циліндр
Великі зазори між поршневыми кільцями та втулкою, між втулкою і тронком поршня (чутний металевий стук постійної сили)	Замінити зношені деталі, до заміни цих деталей знизити навантаження
Зазори в головних, шатунних та рамових підшипниках більші від норми (чутний різкий металевий стук)	Зменшити навантаження двигуна; якщо стуки не припиняються, зупинити двигун для огляду підшипників; замінити зношені деталі (кільця, втулки, вкладиші, відрегулювати зазори в підшипниках)

3. Стук клапанів:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Пружина клапана зламана	Замінити пружину
Великий зазор між коромислом приводу та штоком клапана	Відрегулювати зазор
Шток клапана заїдає у напрямній втулці	Змастити сумішшю масла з гасом; якщо заїдання не зникне, то замінити напрямну втулку та клапан

4. Під час роботи двигуна спрацьовують запобіжні клапани:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Пружини запобіжних клапанів затягнуті слабо	Відрегулювати натяжку пружин
Пружина запобіжного клапана зламалася	Замінити пружину або клапан у зборі
Окремі пружини перевантажуються	Зменшити подачу палива

Кут випередження подачі палива більший від нормального	Зменшити кут випередження подачі палива
Попадання води в циліндр (при цьому знижується температура випускних газів)	Визначити причину попадання води в циліндр, замінити за необхідності втулку або кришку циліндра
Заїло голку форсунки, одночасно нещільно сідає на гніздо нагнітальний клапан паливного насоса	Замінити форсунку або нагнітальний клапан паливного насоса або відремонтувати їх

5. Шум, вібрація, стуки цепної передачі:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Недостатній або надмірний натяг ланцюга	Відрегулювати натяг
Привід працює в зоні небезпечних крутильних коливань	Змінити оберти двигуна
Ланцюг значно зношений	Замінити ланцюг
Погане змащення	Забезпечити нормальне змащення у всіх точках

6. Шум, стуки в зубчатій передачі:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Ненормальний шум у зубчастій передачі через недостатнє змащення, порушення центрування	Перевірити подачу масла та центрування валів зубчастої передачі
Стук у зубчастій передачі	Зупинити двигун, перевірити стан зубчастої передачі, усунути причину появи стуків

7. Гідравлічні удари в системі охолодження поршнів:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
У повітряних ковпачках телескопічної системи охолодження відсутнє повітря або його недостатньо	Спустити охолоджуючу воду (масло) з повітряних ковпачків, забезпечивши заповнення ковпаків повітрям
Засмітилися дренажні або повітряні отвори телескопічних труб охолодження поршнів	Очистити засмічені отвори

Підвищений знос, нагрів окремих вузлів та деталей

1. Інтенсивний знос циліндро-поршневої групи. Температура ЦПГ підвищена (негайно зменшити навантаження циліндра та збільшити подачу масла у нього, а за відсутності позитивних результатів двигун зупинити для ремонту ЦПГ):

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Порушений режим роботи системи змащення циліндра маслом (час подачі масла та його кількість)	Відрегулювати режим змащення циліндра
Закоксувалися штуцери, що подають масло в циліндр	Розкрити циліндрову кришку, прочистити штуцери подачі масла
Циліндрове масло не відповідає застосовуваному паливу	Знизити навантаження двигуна, замінити масло
Недостатнє охолодження втулки	Відрегулювати режим охолодження, очистити втулку з боку охолоджуючої води від можливих сторонніх предметів та бруду
Порушене центрування механізму	Відцентрувати механізм
Порушений режим обкатки	Провести нову обкатку відповідно до рекомендацій підприємства-виробника
Циліндр перевантажений	Відрегулювати розподіл потужності по циліндрах, у перевантаженому циліндрі зменшити подачу палива
Поршневі кільця зламані, зношені, закоксувалися, не працюють	Знизити навантаження, демонтувати ЦПГ, замінити кільця
Погане розпилювання палива	Замінити форсунку, паливо застосовувати згідно з рекомендаціями інструкції з експлуатації

2. Раптово підвищується температура кришок (щитів) поршневого простору або стінок продувного ресивера. Температура випускних газів підвищена:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Пропуски газів з циліндрів у картер, продувний ресивер, незадовільна компресія ЦПГ	Вимкнути подачу палива на циліндр, збільшити подачу масла в 1,5–2,0 рази та через 0,5 год підняти навантаження циліндра. При першій же можливості зробити моточистку циліндра

3. Підвищений нагрів головних, шатунних та рамових підшипників виявляється за нагріванням щитів або спрацьовуванням сигналізації (негайно зменшити частоту обертання (навантаження) двигуна):

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Двигун перевантажений	Зменшити навантаження
Тиск масла в системі циркуляційного масла нижчий від норми	Промити масляний фільтр, усунути можливі течії в системі; у разі низького рівня масла в картері або циркуляційній цистерні довести рівень масла до нормального

Температура масла, що надходить до двигуна, вища від норми	Провести чистку маслоохолоджувачів, перевірити правильність відкриття клапанів масляної системи, роботу терморегуляторів
Якість циркуляційного масла стала гірша та вийшла за межі бракувальних показників	Поліпшити якість масла сепарацією, додати свіже або замінити повністю
Надходження масла до окремих підшипників та інших вузлів двигуна зменшилося або припинилося зовсім	Зменшити частоту обертання (навантаження) двигуна, зупинити, провести ревізію підшипника, усунути причину припинення змащення
Зменшені або збільшені зазори в підшипниках	Демонтувати підшипники і встановити необхідні зазори; якщо двигун зупинити неможливо, підвищити тиск масла в системі

Несправності системи змащення

1. Масляний насос не всмоктує масло:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
У картері (стічній цистерні) рівень масла нижчий від норми	Додати масло в картер (стічну цистерну)
Висока в'язкість масла	Попередньо підігріти масло
Приймальна сітка всмоктувального клапана засмітилася	Очистити приймальну сітку
У всмоктувальний трубопровід підсмоктується повітря	Усунути всі нещільності, піджати з'єднання, сальники

2. Масляний насос не створює необхідного тиску масла:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Значний витік масла в магістральному трубопроводі	Усунути всі нещільності на нагнітальному трубопроводі
Зазори в підшипниках двигуна більші від допустимих	Установити нормальні зазори згідно з інструкцією з експлуатації
Низька в'язкість масла в результаті високої температури або потрапляння палива в масло	Знизити температуру масла, частково або повністю замінити масло
Запобіжний (перепускний) клапан розрегульований або вийшов з ладу	Відрегулювати або замінити

3. Перепад тиску на масляному фільтрі зменшився або підвищився понад норми:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Порвана сітка фільтра (різниця показань манометрів до та після фільтра зменшувалася)	Замінити сітку фільтра або переключити систему на чистий фільтр
Фільтр забруднений (перепад тиску збільшився)	Промити фільтр або переключити систему на чистий фільтр

4. Температура масла на вході в двигун вища від норми:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Маслоохолоджувачі забруднені з боку води та масла	Зменшити навантаження двигуна, за першої ж можливості почистити охолоджувачі
Кількість охолоджуючої води, що йде на маслоохолоджувач, недостатня	Збільшити подачу води
Збільшено відкриття байпасного клапана маслоохолоджувача або несправний терморегулятор	Зменшити відкриття байпасного клапана на маслоохолоджувачі, замінити несправний терморегулятор

5. У масло потрапила вода. Масло набуло мутно-сірого кольору:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Гумові ущільнення циліндрових втулок пропускають рідину	Замінити ущільнення втулок
Стічна масляна цистерна має нещільності	Перейти на стічну масляну цистерну іншого борту або перейти на роботу мокрим картером, якщо це передбачено конструкцією двигуна
Маслоохолоджувач має нещільності	Усунути нещільності охолоджувача
Змійовик маслоохолоджувача має нещільності з боку водяного контуру підігріву масла	Усунути нещільності змійовика
Сальник вала циркуляційного насоса охолоджуючої води, який навішений на двигун, має нещільності	Піджати сальники або замінити набивку

Несправності в системі охолодження

1. Циркуляційний насос охолоджуючої заборотної води не створює необхідного тиску:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Решітка кінгстона або приймальний фільтр заборотної води засмітилися	Продути кінгстон парою або стисненим повітрям
Прикритий всмоктувальний клапан	Відкрити клапан
Підсмоктування повітря насосом	Усунути пропуски на магістралі всмоктування насоса
Несправності насоса та клапанів	Виконати заходи, вказані в правилах технічної експлуатації допоміжних механізмів

2. Тиск у системі охолоджуючої прісної води впав нижче

від допустимого:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Повітря в системі охолодження	Обпресувати систему, помічені пропуски усунути, випустити повітря із системи
Витік води через нещільності у трубопроводі	Обпресувати систему, помічені нещільності усунути

3. Температура охолодження прісної води на вході в двигун вища від норми:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Водоохолоджувачі забруднені з боку прісної або забортної води	Зменшити навантаження двигуна, за першої ж можливості зупинити двигун та почистити охолоджувачі
Кількість охолоджуючої забортної води, що надходить на водоохолоджувач, недостатня	Збільшити подачу води
Збільшено відкриття байпасного клапана водоохолоджувача, несправний терморегулятор	Зменшити відкриття байпасного клапана на водоохолоджувачі або замінити несправний терморегулятор

4. Температура води (масла), що виходить з двигуна чи окремих циліндрів або поршнів, вища від норми:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Двигун (циліндр) перевантажений	Зменшити навантаження двигуна (циліндра)
Відкритий не повністю клапан на вході води (масла) до циліндрів (поршнів)	Відкрити клапан повністю
Кількість води (масла), що виходить з поршнів, зменшилася через зниження тиску в системі охолодження, засмічені канали в головках поршнів	Зменшити навантаження на двигун, довести тиск у системі до нормального, вимкнути подачу палива на циліндр, почистити канали в головках поршнів

5. Температура води (масла), що виходить з поршнів окремих циліндрів, різко знизилася:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Порушилися умови охолодження поршнів (тріщина в напрямній вставці головки поршня або підвідній трубі)	Зменшити навантаження (оберти) двигуна, за першої ж можливості зупинити двигун, усунути дефекти

Несправності в системі продувки (наддуву) в роботі турбокомпресорів:

1. Тиск наддувного повітря нижчий за норму при незмінній потужності та частоті обертання:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Забруднені приймальні повітряні фільтри турбокомпресорів (продувного насоса)	Очистити фільтри
Забруднені проточні частини компресора та турбіни	Очистити проточні частини
Пошкоджено лопатки робочого колеса та соплового апарата турбіни	Замінити ротор та сопловий апарат
Забруднені повітроохолоджувачі	Очистити повітроохолоджувачі

2. Температура випускних газів перевищує нормальну при незмінній потужності та частоті обертання двигуна:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Турбокомпресор забруднений	Очистити турбокомпресор
Падіння тиску наддувного повітря	Виконати заходи з очистки та обслуговування агрегату наддуву

3. Температура наддувного повітря після повітроохолоджувача вища від норми:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
У повітроохолоджувач надходить недостатня кількість води	Збільшити потік води
Повітроохолоджувач забруднений	Очистити повітроохолоджувач

4. Масло турбокомпресора потемніло внаслідок попадання в нього випускних газів:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Канали й труби для підведення повітря до ущільнень турбіни та відведення повітря від них забруднені	Очистити канали та труби
Пошкоджено лабіринтове ущільнення з боку турбіни або зазори в ньому перевищують допустимі	Замінити ущільнення

5. Масло турбокомпресора придбало темно-сірий колір унаслідок попадання в нього води:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Тріщини, свищі в корпусі турбокомпресора	Відремонтувати або замінити корпус турбокомпресора
Пропуск води у маслоохолоджувачі турбокомпресора	Усунути пропуск води

6. Шум та вібрація турбокомпресора (негайно знизити навантаження двигуна):

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Помпаж компресора	Знизити оберти двигуна до припинення помпажу; ввести в роботу циліндр, якщо помпаж викликаний його вимкненням
Незрівноваженість ротора (нерівномірне забруднення, пошкодження лопаток турбіни або компресора, викривлення вала ротора)	Очистити і відремонтувати лопатки або замінити ротор
Пошкоджені підшипники або вони мають зазор більший від норми	Замінити підшипники
Неправильно зібрані підшипники (перекіс тощо)	Усунути дефекти установки підшипників

7. Тиск продувного повітря після повітряних насосів об'ємного типу (поршневих, ротаційних) нижчий від норми:

Причини виникнення несправності	Заходи щодо усунення
Приймальні фільтри (сітки) засмічені	Очистити фільтри (сітки)
Всмоктувальні пластинчаті клапани або золотники забруднилися, неправильно встановлені, зламалися	Клапани, золотники очистити, правильно встановити, дефектні деталі замінити
Значні пропуски повітря через поршневі кільця	Замінити поламани та зношені поршневі кільця
Збільшена висота шкідливого простору в поршневому насосі	Відрегулювати висоту шкідливого простору в поршневому насосі

2.11. Експлуатаційні характеристики та режими роботи судових двигунів

Одне із завдань технічної експлуатації полягає в умінні технічно обґрунтовано вибрати *режим роботи двигунів* відповідно до конкретних умов плавання та технічного стану судна й двигуна. Вирішення цього завдання вимагає знань як характеристик двигуна, так і показників, на основі яких

оцінюється його робота на тому чи іншому режимі. Показники роботи двигунів умовно можуть бути поділені на *енергетичні, економічні та експлуатаційні*.

До *енергетичних та економічних показників* відносять ефективну й індикаторну потужність N_e і N_i , крутний момент M_e , індикаторний тиск p_i , середній ефективний тиск p_e , частоту обертання n , питому індикаторну та ефективну витрату палива b_i і b_e .

До *експлуатаційних показників* належать тиск і температура, що фіксуються штатними приладами й характеризують роботу двигуна та обслуговуючих його систем, а також додаткові параметри, які дають можливість судити про теплові та механічні напруження двигуна, а також як забезпечуються на даному режимі його надійність й економічність. Напруження в елементах конструкції двигуна виникають під впливом теплових потоків з боку газів і механічних навантажень, що викликаються силами дії газів та інерції рухомих мас. Безпосереднє визначення *теплових та механічних напруг* є дещо ускладненим, тому в експлуатації вдаються до методів їх непрямої оцінки. *Теплова напруженість* знаходиться в прямій залежності від навантаження елементів циліндра та характеризується середнім індикаторним тиском, положенням показника навантаження або паливної рейки. Непрямим критерієм теплового навантаження елементів циліндра є температура випускних газів та охолоджуючих рідин (води й масла). Важливу інформацію дає безпосереднє вимірювання температури втулки циліндра у верхньому поясі в зоні знаходження першого та другого поршневих кілець при положенні поршня у ВМТ, у поясі випускних і продувних вікон та перепаду температур у вогневому днищі кришки, що є прямою функцією теплового потоку, що сприймається. Такі вимірювання в суднових двигунах є складовою частиною автоматизованих систем контролю та діагностики їх технічного стану.

Механічна напруженість двигуна характеризується рядом параметрів. При аналізі напруженого стану елементів остова найбільш суттєвою характеристикою є максимальний тиск згоряння в циліндрах P_z .

Робочі режими, що характеризуються певними умовами роботи двигуна, поєднані в загальне поняття «характеристики двигуна». Характеристику прийнято наводити у вигляді графічної залежності енергетичних, економічних і експлуатаційних показників від одного з параметрів двигуна, який береться як незалежна змінна. Один з можливих варіантів характеристик, які визначають досконалість двигуна на прикладі двигуна K98ME-C, подано на рис. 2.9.

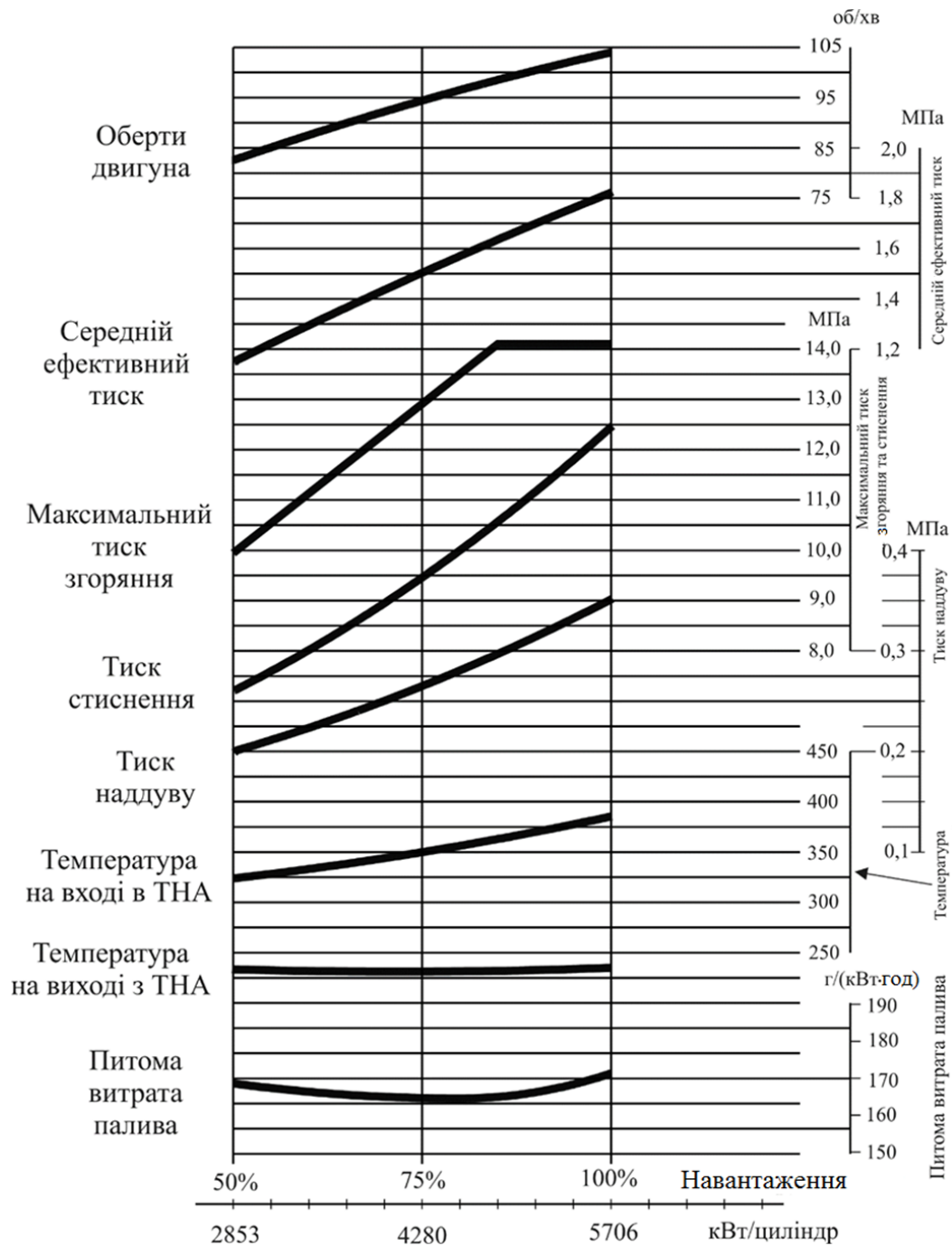


Рис. 2.9. Характеристика роботи малооборотового дизельного двигуна MAN B&W серії K98ME-C

Режими роботи суднових ДВЗ характеризуються сукупністю робочих параметрів, знятих одночасно з працюючого двигуна. Режим роботи визначається за положеннями й динамічними властивостями органів керування двигуна, станом і динамікою дії на судно зовнішнього середовища.

Режим роботи двигуна вважається *усталеним*, якщо протягом тривалого часу робочі параметри двигуна залишаються незмінними або змінюються у вузьких, заздалегідь обговорених межах. Усталені режими можливі тільки при спокійному стані моря.

Режим роботи при номінальній потужності й номінальній частоті обертання називається *номінальним*. Режим роботи двигуна з потужністю вище від номінальної називається *перевантаженим*, а нижче – *частковим*.

Якщо робочі параметри двигуна при незмінному положенні органів керування під впливом зовнішніх умов змінюються в часі, то його режим роботи називається *неусталеним*.

Перехід з одного усталеного режиму на інший при переміщенні органів керування двигуна називається *перехідним режимом*, він є *неусталеним*.

Така назва режимів може бути застосована для всіх двигунів, незалежно від їх призначення.

Для суднових ДВЗ режим роботи визначається характерними режимами роботи транспортного судна:

а) *ходові режими* на найменшому, малому і середньому, повному й найповнішому ходах уперед чи назад. Указані режими можуть відбуватися вночі чи вдень; в умовах спокійної води і слабого вітру або в умовах шторму при сильному вітрі; в чистій воді чи битому льоді; на глибокій або мілкій воді; при буксируванні возу чи без нього; на прямому курсі чи при циркуляції; при повній чи частковій водотоннажності;

б) *стоянкові режими*: з навантажувально-розвантажувальними операціями або без них. Споживання енергії на стоянкових режимах визначається завантаженням вантажних засобів і допоміжних механізмів, які

обслуговують енергетичну установку і загальносуднові потреби. Джерелами енергії на стоянкових режимах є суднові допоміжні двигуни;

в) *режими при маневруванні*: при постановці чи підйомі якоря, вході в порт чи на виході з нього, змінюванні ходу судна, його реверсуванні й под. Указані режими пов'язані з операціями пуску і прогрівання, реверсування двигуна, розгону чи гальмування судна. Навантаження головного двигуна при маневруванні коливається в широких межах. Воно залежить від характеру маневру і часу, що відводиться на його виконання.

Ходові режими, що виконуються на прямих курсах у відкритому морі в умовах штилю (хвилюванні не більше 2–3 балів) і при незмінному положенні органів керування двигунами, належать до усталених. Режими роботи при маневруванні, а також ходові режими в умовах значного хвилювання моря завжди є неусталеними. Напруженість перехідних режимів визначається тим, що в процесі зміни режиму (навантаження та частоти обертання) різко змінюється робочий процес, змінюються умови нагрівання й охолодження циліндрів і поршнів. Напруги в деталях циліндро-поршневої групи та кривошипно-шатунного механізму зростають зі збільшенням швидкості зміни режиму й стають найбільшими при пуску холодного двигуна, різкому виведенні його на повне навантаження та раптовій зупинці з повного ходу. У цих умовах елементи конструкції піддаються деформації та інтенсивному зношуванню, змінюються зазори й натяги в сполученнях. У деталях, що зазнають дію високих температур, розвиваються термовтомлюючі явища, що призводять до утворення тріщин.

При пуску холодного двигуна в циліндрах створюються несприятливі умови для самозаймання палива. Згоряння супроводжується надмірно високим тиском та великою швидкістю. Це призводить до збільшення механічних напружень у деталях ЦПГ та кривошипно-шатунного механізму, а також до великих ударних навантажень у підшипниках. Високий тиск згоряння P_z виникає також при пуску і розгону прогрітого двигуна, за умов коли турбокомпресор недостатньою швидко розкручується та не забезпечує

необхідну подачу повітря для згоряння палива, яке для створення необхідних прискорень подається у великій кількості.

Жорсткі умови пуску та розгону двигуна до повної частоти обертання можна допускати лише у виключних (аварійних) ситуаціях. У нормальних умовах пуску паливна рейка повинна бути встановлена в положення малих подач, а розгін двигуна слід здійснювати повільно. Темп збільшення циклової подачі палива треба вибирати таким, щоб забезпечити достатньо низьку швидкість зростання температур деталей ЦПГ.

Жорстка робота двигуна при пуску можлива також при використанні важких палив, для яких характерні гірше розпилювання, випаровування та уповільнене згоряння. Тому за низьких температур рекомендується запускати двигун на дизельному паливі. Це не стосується сучасних двигунів, для яких підприємство-виробник допускає пуск двигуна на важких паливах, що зазначається в інструкції з експлуатації.

Надійне самозаймання палива в циліндрі визначається температурою стисненого повітря, яка залежить від температури навколишнього середовища, теплового стану двигуна, стану поршневих кілець та пускової частоти обертання (середньої швидкості поршня). Тому, щоб забезпечити легкий пуск, двигун необхідно попередньо прогріти, що здійснюється прокачуванням через нього гарячої води, яка зазвичай відбирається від системи охолодження допоміжних двигунів. При прогріванні знижується знос циліндрів у пусковий період, зменшується корозія, яка викликається кислотами, що утворилися в результаті згоряння палива, особливо важкого.

Зменшення втрат теплоти в стінки циліндра сприяє зростанню температур і тисків у кінці стиснення та скороченню періоду індукції палива, у зв'язку із чим значно знижується тиск у циліндрі при першому спалаху. Це знижує механічну напруженість деталей ЦПГ та покращує роботу підшипників колінчастого вала.

При роботі холодного двигуна кількість масла і його тиск у підшипниках та інших вузлах тертя є недостатніми. Масло не встигає прогріватися, і висока

його в'язкість ускладнює обертання колінчастого вала та інших рухомих деталей. У зв'язку із чим необхідно перед пуском двигуна підігрівати масло в циркуляційній цистерні або картері до температури 313...318 К.

Деталі ЦПГ (поршень, кришка циліндра та втулка) при перехідних режимах піддаються високим тепловим навантаженням, під впливом яких у них виникають термічні напруги, деформація, а іноді (при значних перевантаженнях і частих змінах режимів) – руйнації.

Рекомендується після тривалої стоянки виводити двигун на режим повного навантаження лише після 2 годин роботи на часткових режимах. Для нових двигунів період прогрівання збільшується до 4 годин. При прогріванні допоміжного двигуна слід уникати тривалої роботи на холостому ходу, оскільки цей режим через низький тепловий стан, погане розпилювання та згоряння палива характеризується сильним нагароутворенням, яке призводить до інтенсивного зношування циліндрів.

Різниця між максимальним рівнем температури деталей ЦПГ, як і темп її збільшення, багато в чому залежать від початкового теплового стану двигуна. Попередній прогрів перед пуском обов'язковий для всіх двигунів, у першу чергу, для потужних МОД, які через великі розміри та суттєву теплову інерцію під час пуску–розгону піддаються високим тепловим навантаженням.

Після тривалої стоянки судна в порту або на рейді двигун навантажують ступенями. Після пуску він протягом певного часу працює на холостому ходу або на малому навантаженні, яке потім поступово доводять до повного. Тривалість роботи на окремих ступенях навантаження залежить від типу, розмірів, потужності та ступеня форсування двигуна. Потужним МОД потрібно для прогріву більше часу, ніж меншим СОД. Для останніх, згідно з даними фірм-виробників, оптимальний час прогріву складає 30...40 хв, з яких 8 хв припадає на прогрів на холостому ходу, 2 хв – повільне підвищення навантаження до 30 % та 20...30 хв – підвищення навантаження до номінального. За наявності систем дистанційного автоматичного керування процес виходу на номінальне навантаження закладене у програмі прогрівання:

екстрений вихід на часткове навантаження – 60...90 с; прискорений вихід на повне номінальне навантаження 12...20 хв; вихід на повне навантаження у нормальних умовах – 1,5...2,0 год.

Поряд з режимом прогріву не менш небезпечним є перехідний режим різкого зниження навантаження або раптової зупинки двигуна. При різкому скиданні навантаження, особливо при зупинці двигуна, який до цього працював у режимі повного навантаження, в ньому, як і при прогріванні, з'являються високі теплові напруги внаслідок нерівномірного остигання деталей ЦПГ. Найбільші напруги спостерігаються в перший період зупинки двигуна, оскільки саме для цього періоду характерна найбільша швидкість падіння температури нагрітих поверхонь. Для зменшення напруг, що виникають при охолодженні гарячого двигуна, необхідно завчасно, до повної зупинки двигуна, знижувати потужність. Потужні МОД рекомендується переводити на режим середнього, потім малого навантаження за 30...60 хв до початку маневрів.

На кожному швидкісному режимі ефективна потужність або крутний момент двигуна можуть змінюватися в широких межах: від нуля (на холостому ході) до максимального значення, яке допускається за умов тривалої експлуатації двигуна (крива 6 на рис. 2.10).

Установлені наступні параметричні показники призначення двигунів: номінальна потужність $N_{\text{ном}}$, максимальна потужність $N_{\text{еmax}}$, мінімально допустима при тривалій роботі двигуна потужність N_{emin} , номінальна частота обертання $n_{\text{ном}}$, відповідна $N_{\text{ном}}$, максимальна частота обертання n_{max} , мінімально стійка частота обертання під навантаженням n_{min} та частота холостого ходу $n_{\text{х.х.}}$.

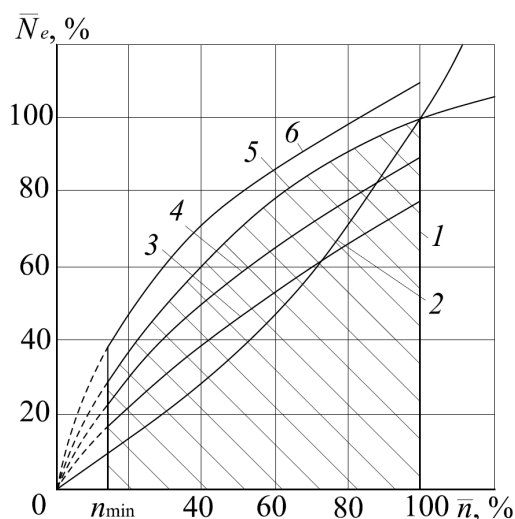


Рис. 2.10. Характеристики роботи суднових ДВЗ:

1 – навантажувальна характеристика; 2–6 – швидкісні характеристики

Характеристики двигунів можуть бути отримані розрахунковим шляхом або експериментально. Велику достовірність мають характеристики двигунів, отримані експериментально. Для цього двигуни проходять спеціальні випробування на заводських стендах: у широкому інтервалі зміни частоти обертання змінюється їх потужність (швидкісні характеристики) або при постійній частоті обертання змінюється навантаження (навантажувальні характеристики).

Для зручності використання часто характеристики записують у безрозмірному вигляді: відносні частота обертання $\bar{n} = n / n_{\text{ном}}$, ефективна потужність $\bar{N}_e = N_e / N_{e\text{ном}}$ або крутний момент $\bar{M} = M / M_{\text{ном}}$, де індекс «ном» належить до значень показників на номінальному режимі роботи двигуна.

За **навантажувальною характеристикою** працюють двигуни, призначені для приводу генераторів струму (дизель-генератори), особливо перемінного, компресорів, насосів, головних двигунів із ГРК при постійній частоті обертання. Тобто **навантажувальною характеристикою** називається залежність основних показників двигуна від його потужності (або середнього ефективного тиску) при номінальній частоті обертання колінчастого вала ($n = \text{const}$). При побудові навантажувальних характеристик по осі абсцис

відкладають навантажувальні показники двигуна: ефективну потужність N_e , середній ефективний тиск p_e або крутний момент M . По осі ординат відкладають інші показники двигуна, що характеризують його роботу: питома ефективна (або індикаторна) витрата палива g_e (або g_i), коефіцієнт надлишку повітря α , тиск наддуву p_k , температура відпрацьованих газів T_r , питома витрата повітря $G_{\text{п}}$. Для підтримання постійної частоти обертання на всіх навантаженнях двигуни обладнуються однорежимними регуляторами. Як відомо, такі регулятори дозволяють підтримувати частоту обертання з деякою точністю, що визначається ступенем нерівномірності регулятора.

При роботі двигуна за навантажувальною характеристикою фактором зовнішнього впливу на його робочий процес є тільки кількість палива або суміші, що надходить у циліндр за цикл. У двигунах це здійснюють зміною тривалості подачі та в більшості випадків тиску впорскування. При зменшенні навантаження циклова подача палива зменшується, що, в свою чергу, супроводжується скороченням тривалості подачі палива, зниженням тиску впорскування та, відповідно, якості розпилювання палива, що є особливо відчутним в області малих навантажень.

У двигунах з газотурбінним наддувом змінюється також кількість та стан повітря, яке надходить у двигун, або суміші газу, що йде в турбіну, в результаті чого змінюються коефіцієнт надлишку повітря й умови сумішоутворення. У результаті цього змінюється робочий процес двигуна, турбіни та компресора (якщо останній об'єднаний з турбіною в турбокомпресор), що зумовлює зміну потужності й питомої витрати.

У карбюраторному двигуні при роботі за навантажувальною характеристикою збільшується або зменшується кількість суміші, що надходить у циліндр. Коефіцієнт залишкових газів з прикриттям дросельної заслінки зростає. Таким чином, змінюються умови проходження робочого процесу, а отже, потужність та економічність двигуна.

На рис. 2.11 і 2.12 показані два види навантажувальних характеристик суднових двигунів, в яких навантажувальними параметрами виступають N_e та

p_e . Навантажувальні характеристики отримують під час випробування двигунів при номінальному (100 %) і пайових (75, 50, 25 %) навантаженнях.

На характер зміни питомої ефективної витрати палива мають спільний вплив питома індикаторна витрата палива та механічний ККД. Потужність механічних втрат при роботі двигунів за навантажувальною характеристикою практично не залежить від навантаження, тому зі зменшенням середнього ефективного тиску P_e залишається незмінною, в той час як індикаторна потужність зменшується. У підсумку при зниженні навантаження нижче 50 % від номінальних її значень механічний ККД швидко зменшується, що негативно позначається на питомій ефективній витраті палива та економічності роботи двигуна. Найбільш економічний режим роботи двигуна, як правило, забезпечується при навантаженні, яке відповідає середньому ефективному тиску в межах $P_e = (0,7 \dots 0,8) \times P_{e \text{ ном.}}$.

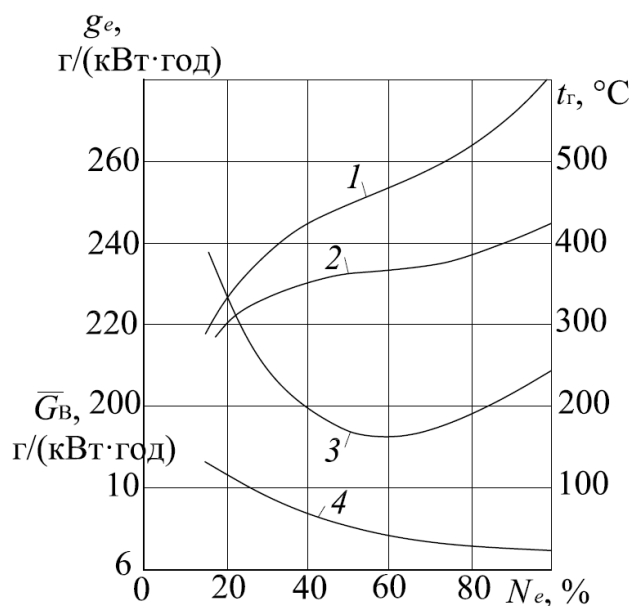


Рис. 2.11. Навантажувальна характеристика двигуна 6ЧН 40/48

($P_{e \text{ ном}} = 2,0 \text{ МПа}$, $n = 500 \text{ об/хв}$):

1 – температура газів перед турбіною; 2 – температура газів за турбіною;

3 – питома витрата палива; 4 – питома витрата повітря

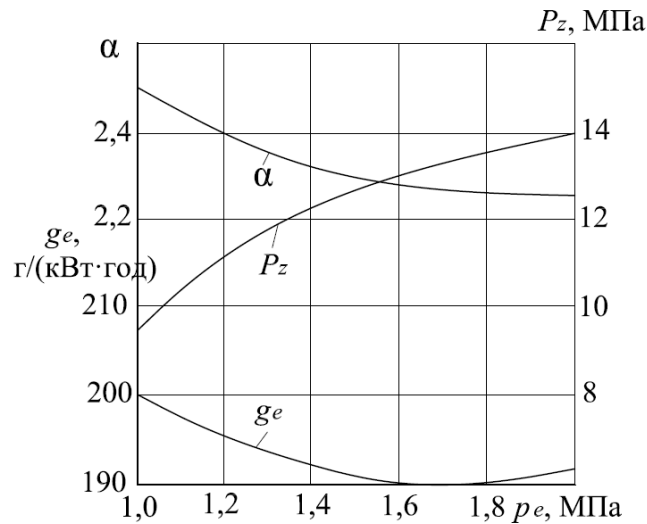


Рис. 2.12. Навантажувальна характеристика двигуна 6ЧН 37/40

($N_{\text{еном}} = 2650$ кВт, $n = 600$ об/хв)

При зниженні навантаження значно збільшується коефіцієнт надлишку повітря та знижується температура відпрацьованих газів, що викликає зменшення тиску наддуву й максимального тиску згоряння. Це обумовлює поліпшення згоряння палива та збільшення індикаторного ККД. Однак при переході в область малих навантажень зростання індикаторного ККД сповільнюється та в окремих випадках спостерігається навіть деяке його зменшення, що пояснюється погіршенням розпилювання палива й збільшенням відносних втрат теплоти в охолоджуючу воду. Для підвищення економічності двигунів на малих навантаженнях та режимах холостого ходу необхідно зменшувати величину коефіцієнта надлишку повітря, що можна забезпечити декількома способами:

- підігрівом повітря, що надходить у циліндри двигуна, шляхом прокачування через охолоджувачі наддувного повітря гарячої води з контуру охолодження;
- перепуском відпрацьованих газів повз турбіни турбокомпресора;
- вимкненням палива в деякі циліндри;
- рециркуляцією відпрацьованих газів через двигун;
- дроселюванням повітря на вході в компресор;

– рециркуляцією повітря через компресор турбокомпресора.

Про теплову та механічну напруженості опосередковано можна судити за температурою випускних газів і максимальним тиском у циліндрах P_z . Зазначені параметри з підвищенням навантаження двигуна зростають та досягають максимальних значень при номінальному режимі роботи (не враховуючи короткочасної роботи двигуна з максимально допустимим навантаженням).

Обмежувальна характеристика встановлює допустимі межі експлуатаційних режимів двигуна за умов забезпечення надійної його роботи без перенавантажень. Критеріями для оцінки допустимих режимів можна вибрати один чи декілька параметрів, які характеризують механічну і теплову напруженість двигуна. Отже, **обмежувальною характеристикою** називається залежність потужності від частоти обертання двигуна при обмеженні (або сталості) деяких його показників або параметрів. Обмежувальна характеристика за паливним насосом відповідає граничній подачі палива в умовах експлуатації, яка зазвичай обмежена упором, установленим на паливному насосі, та забезпечує короткочасне перевантаження двигуна на 10 % від номінальної потужності.

Зазвичай обмеження стосуються таких показників або параметрів, як крутний момент M , коефіцієнт надлишку повітря α , температура газів перед газовою турбіною турбокомпресора, тепла й механічна напруженість основних найбільш навантажених деталей двигуна (поршень, кришка циліндра, випускний клапан). Обмежувальні характеристики використовують при захисті двигуна від можливих перевантажень, що виникають у процесі його тривалої експлуатації. Так, наприклад, оскільки розрахунок колінчастого вала на міцність виконується за номінальним крутним моментом $M_{\text{ном}}$, то при частоті обертання $n < n_{\text{ном}}$ напруження, які виникають у матеріалі колінчастого вала, можуть перевищувати допустимі. Для захисту колінчастого вала від небезпечних перенавантажень необхідно виключити з експлуатаційних режимів такі, за яких крутний момент M буде перевищувати номінальний крутний

момент. Обмежування по моменту є необхідною, але не завжди достатньою умовою надійної роботи двигуна при тривалій експлуатації, оскільки не виключене теплове перенавантаження.

На рис. 2.13 показані зовнішня номінальна характеристика (1) та ряд обмежувальних характеристик (2–4). Обмежувальна характеристика за крутним моментом (крива 2) розташовується нижче від зовнішньої номінальної та визначає поле можливих максимальних потужностей при тривалій роботі двигуна без ознак димлення. Цій умові зазвичай відповідає сталість середнього ефективного тиску. Крім обмеження M вводиться обмеження й інших параметрів робочого циклу: максимального тиску згоряння p_z і температури відпрацьованих газів T_r .

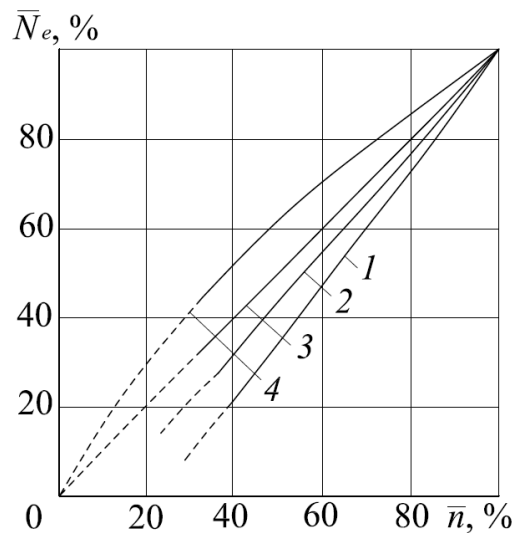


Рис. 2.13. Обмежувальні характеристики двигуна:

1, 2 – обмежувальні характеристики за тепловою та механічною напруженостями відповідно; 3 – обмежувальна характеристика за крутним моментом; 4 – зовнішня номінальна характеристика

Для двигуна без наддуву при зменшенні частоти обертання коефіцієнт надлишку повітря α залишається сталим у широкому діапазоні обертання. Це приводить до того, що і середня температура циклу залишається сталою, що створює сприятливі умови для роботи деталей ЦПГ. Таким чином, для двигунів без наддуву обмежування за моментом є необхідною і достатньою умовою його

надійної роботи в широкому діапазоні зміни N_e та n . Проте цей висновок не можна розповсюдити на двигун з газотурбінним наддувом.

Усі режими роботи двигунів, що лежать вище від обмежувальної характеристики, належать до перевантажених за тепловою та механічною напруженостями. У двотактних двигунах та чотиритактних з газотурбінним наддувом при постійному середньому ефективному тиску (крутному моменті) зниження частоти обертання призводить до збільшення теплової напруженості деталей двигуна (наслідок зменшення коефіцієнта надлишку повітря). Із цієї причини в двигунах з газотурбінним наддувом обмеження p_e (або M) недостатнє, щоб зберегти теплову та механічну напруженість на часткових швидкісних режимах на тому ж рівні, що й на номінальному режимі. Зменшення частоти обертання двигуна шляхом зниження циклової подачі палива, що викликає зниження p_e (M) на часткових швидкісних режимах (див. криві 3 і 4 на рис. 2.13), дозволяє зберегти теплову та механічну напруженість. Вид обмежувальних характеристик залежить від тиску наддуву на номінальному режимі, особливостей та параметрів системи подачі повітря, а також і від інших чинників. Ці параметри встановлюють для кожного типу двигуна на основі випробування їх у стендових та суднових умовах і коригують відповідно до технічного стану двигуна, сорта застосовуваного палива, схем паливопідготовки та інших факторів, які впливають на теплову й механічну напруженість двигуна на часткових швидкісних режимах.

При роботі двигуна на усталеному режимі на гвинт судна потужність, що ним розвивається, буде визначатися, в першу чергу, частотою обертання та параметрами гвинта, якого він обертає. Отже, *гвинтовою характеристикою* називається залежність потужності та інших параметрів роботи двигуна від частоти обертання вала при його роботі з гребним гвинтом. При роботі двигуна за гвинтовою характеристикою його потужність повинна повністю поглинатися гребним гвинтом. Так, при сталих значеннях діаметра D і кроку H гвинта загальна закономірність змінювання споживаної ним потужності може бути записана у вигляді

$$N = c_2 n^m, \quad (1)$$

де c_2 – коефіцієнт пропорційності; m – показник ступеня (для водотоннажних суден $m = 3$, суден на підводних крилах, повітряній подушці, глісуючих суден $m = 1,6 \dots 2,2$).

Робота двигуна за гвинтовою характеристикою може бути забезпечена шляхом зниження циклової подачі палива при зменшенні частоти його обертання. Гвинтова характеристика, яка проходить крізь точку номінального режиму та перетинається в цій точці із зовнішньою номінальною характеристикою, коли орган керування подачею палива знаходиться в положенні номінальної подачі, називається теоретичною або номінальною.

На практиці при використанні гвинтових характеристик часто буває зручно замінити крутний момент на пропорційний йому середній ефективний тиск. Відповідно до формули (1) можна визначити характер зміни середнього ефективного тиску при роботі двигуна за гвинтовою характеристикою:

$$p_e = c_3 n^{m-1}, \quad (2)$$

де c_3 – коефіцієнт пропорційності.

Із залежності (2) випливає, що для водотоннажних суден p_e змінюється за гвинтовою характеристикою відповідно до параболи другого степеня; аналогічно змінюється і циклова подача палива, а годинна витрата палива G_{Π} змінюватиметься наближено до кубічної параболи:

$$G_{\Pi} \approx c_4 n^3, \quad (3)$$

де c_4 – стала величина.

Відмінною особливістю гвинтових характеристик є різке зменшення потужності двигуна при зниженні частоти обертання. Так, при номінальній частоті обертання значення потужності двигуна за зовнішньою та гвинтовою характеристиками збігаються, а при частоті обертання, що дорівнює 25 % від номінальної, потужність двигуна за гвинтовою характеристикою приблизно в 30 разів менша від потужності двигуна за зовнішньою характеристикою. При малих циклових подачах палива погіршуються процеси його розпилювання,

сумішоутворення та згоряння, двигун фактично працює на режимах, близьких до холостого ходу, й підтримувати постійною його частоту обертання за допомогою регулятора стає важко. Із цієї причини кожен двигун має мінімально стійку частоту обертання $n_{\min}$, яка складає 18...30 % від її номінального значення. Тривалість роботи двигуна при мінімально стійкій частоті обертання не повинна перевищувати 0,5...1,0 год.

На рис. 2.14 і 2.15 показані графіки зміни параметрів дво- та чотиритактних суднових двигунів за гвинтовими характеристиками. При побудові графіків урахувалася залежність (1) при $m = 3$, що дозволило як незалежний параметр використовувати потужність, а не частоту обертання двигуна.

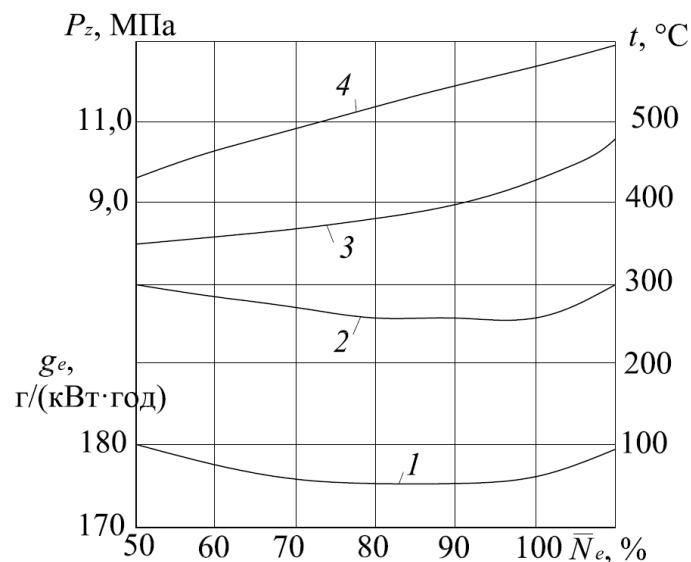


Рис. 2.14. Зміна параметрів двигуна 4ДКРН 58/170 за гвинтовою характеристикою ($N_e = 9870$ кВт, $n = 123$ об/хв):

1 – питома витрата палива; 2, 3 – температури газів за турбіною та перед нею; 4 – максимальний тиск згоряння

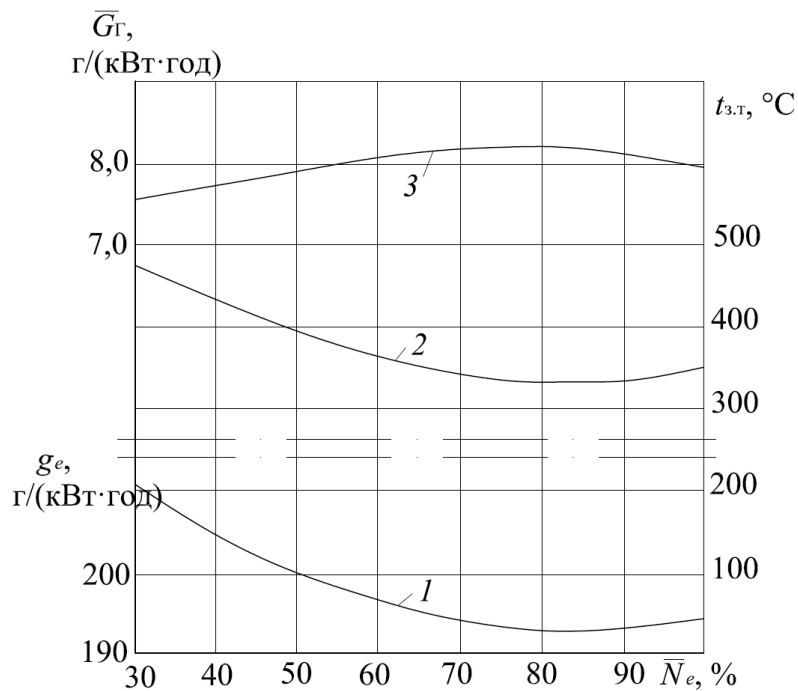


Рис. 2.15. Зміна параметрів двигуна 6ЧН 40/45 за гвинтовою характеристикою ($N_e = 3630$ кВт, $n = 600$ об/хв):

1 – питома витрата палива; 2 – температури відпрацьованих газів;

3 – відносна витрата відпрацьованих газів

Діапазон зміни потужності двигуна за гвинтовими характеристиками (30...100 %) ширший від діапазону зміни частоти обертання (55...100 %). Така схема подання гвинтових характеристик прийнята за кордоном. На рис. 2.16 наведено приклад характеристики навантаження малообертового двигуна *MAN B&W* серії *K98MC*. Деякі параметри двигуна за гвинтовою характеристикою зручно записувати в традиційному варіанті, коли як незалежний параметр використовується частота обертання двигуна (рис. 2.17).

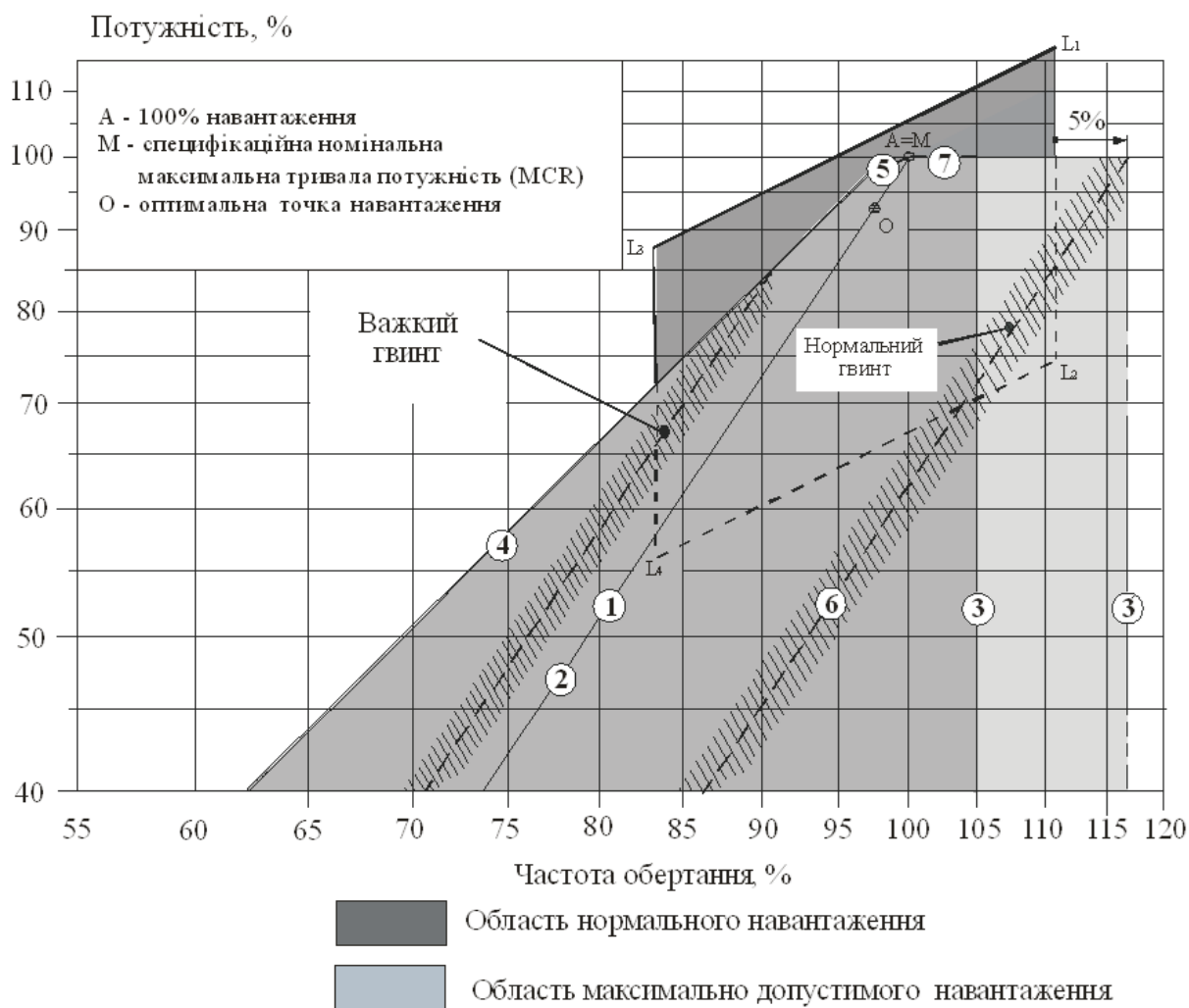


Рис. 2.16. Характеристики навантаження малообертового суднового двигуна MAN B&W серії K98MC:

1 – гвинтова характеристика, яка проходить крізь точку оптимізації О; 2 – характеристика важкого гвинта (обростання корпусу судна, важкі умови плавання); 3 – обмежувальна характеристика та розширена обмежувальна характеристика в умовах допустимих крутильних коливань; 4 – обмежувальна характеристика за крутним моментом; 5 – обмежувальна характеристика за середнім ефективним тиском; 6 – гвинтова характеристика за нормальних умов плавання; 7 – обмеження потужності безперервної роботи

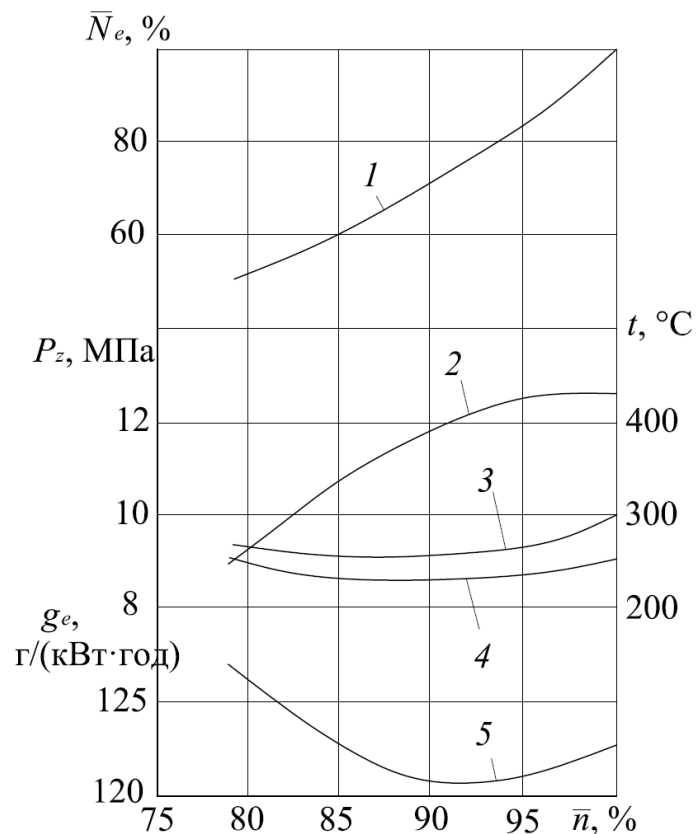


Рис. 2.17. Гвинтові характеристики двигуна 5ДКРН 70/226,8

($N_e = 9000$ кВт, $n = 95$ об/хв):

1 – потужність; 2 – максимальний тиск у циліндрі; 3 – температура газів на виході із циліндрів; 4 – температура газів на виході з ТК; 5 – питома витрата палива

При зміні ходу гвинта (шлях, який гвинт проходить за один оберт), а це можливо при зміні опору руху судна, гвинтова характеристика змінює своє положення та вигляд. Так, при збільшенні опору внаслідок збільшення осадки судна, посилення зустрічного вітру або хвилювання, а також при буксируванні, обростанні корпусу швидкість судна та хід гвинта падають, тому гребний гвинт за тієї ж частоти обертання поглинає більший крутний момент. Гвинтова характеристика, яка відповідає новому значенню ходу, на графіку розміщується лівіше від стандартної гвинтової характеристики (див. рис. 2.16). До подібної зміни призводить також обтяження гребного гвинта (збільшення крокового відношення), тому така характеристика часто називається характеристикою «важкого» гвинта.

При роботі двигуна в умовах нерухомого судна (наприклад, на швартових) гребний гвинт поглинає найбільший крутний момент та відповідна гвинтова характеристика в ряді займає крайнє ліве положення.

При зменшенні опору руху судна, що можливе при попутному вітрі або зменшенні осадки (плавання в баласті), швидкість судна та хід гвинта зростають. Гвинтова характеристика, що відповідає новому значенню ходу, розташовується правіше та нижче від характеристики вільного ходу. При використанні гвинта з малим кроковим відношенням або обрізаними по діаметру лопатями крутний момент, який поглинається гвинтом, зменшується, тому така характеристика називається характеристикою «легкого» гвинта. Аналогічне положення може займати характеристика при плаванні судна в баласті.

При роботі двигуна в умовах «легкого» гвинта його навантаження є значно меншим, ніж у попередніх випадках. Зокрема, для підтримки номінальної частоти обертання від двигуна будуть потрібні значно менші потужність та середній ефективний тиск. Перехід з режиму повного навантаження до часткового здійснюється шляхом скорочення циклової подачі палива. Подача повітря турбокомпресорами зі зменшенням навантаження та частоти обертання також зменшується, але в меншому ступені, тому коефіцієнт надлишку повітря збільшується. Це спричиняє зростання індикаторного ККД та зменшення витрати палива. Питома ефективна витрата палива спочатку дещо знижується та досягає мінімуму у зв'язку зі зменшенням механічного ККД, а потім зростає. Найбільш економічна робота двигуна забезпечується в області частот обертання у діапазоні 0,8...0,9 від номінальної.

Зменшення навантаження та скорочення витрати призводить до зменшення температури випускних газів і максимального тиску згоряння. Теплова та механічна напруженості двигуна в області малих навантажень і швидкостей менші, ніж при повній частоті обертання. При призначенні режиму повного ходу, основного для транспортних суден, необхідно, щоб теплові й механічні навантаження у двигуні на цьому режимі не виходили за допустимі

для тривалої роботи межі, а також гарантувалася надійна робота двигуна та висока економічність його робочого процесу.

У практиці двигунобудування при визначенні поля робочих режимів зазвичай виходять з максимальної тривалості номінальної потужності, яку двигун може розвивати лише за певних умов, які визначаються заводом-виробником. При відхиленні від цих умов не виключена можливість порушення нормального проходження робочого процесу. У той же час головні судові двигуни експлуатуються на різних широтах, в широкому діапазоні зміни параметрів зовнішнього середовища, на різних паливах тощо. Тому при визначенні режиму повного ходу потрібно (по відношенню до номінального режиму) мати певний запас потужності. Цими міркуваннями, а також прагненням забезпечити найбільшу економічність керуються заводи-виробники, рекомендуючи для сучасних форсованих двигунів при визначенні режиму повного ходу потрібно виходити з максимальної тривалої специфікаційної потужності, яка повинна лежати в області.

Визначення параметрів специфікаційного режиму обумовлюється вимогами до потужності та частоти обертання з боку гребного гвинта або електрогенератора. Важливе значення має й економічність двигуна, яка характеризується питомою витратою палива, що зменшується в межах розглянутої зони при зниженні як навантаження, так і частоти обертання. У двигунах MAN B&W перехід з точки номінального режиму на режим часткового навантаження у діапазоні 0,75...0,85 % від номінального дає економію у 3...5 г/(кВт·год).

На режимі максимальної специфікаційної тривалої потужності завод-виробник налаштовує двигун, підбираючи оптимальні фази газорозподілу, паливоподачі, прохідні перерізи соплового апарата турбокомпресора тощо. У цьому випадку як базовий беруть не номінальний режим, а специфікаційний та відповідні йому потужність та частоту обертання за 100 %.

На рис. 2.18, побудованому в логарифмічних координатах, пряма 1 – специфікаційна гвинтова характеристика (лінія навантажування двигуна

гребним гвинтом), що проходить через точку A специфікаційного режиму. Паралельні їй лінії являють собою гвинтові характеристики гвинта легшого (праворуч від прямої I) або більш важкого (зліва від прямої I). Паралельні пунктирні лінії 2 – сталі значення середніх ефективних тисків. Зокрема, лінія, що проходить через точку A , відповідає $P_e = 100 \%$. Лінія 3 обмежує максимально допустиму частоту обертання для тривалої роботи двигуна, яка складає 103,3 % від специфікаційних обертів. Підвищення частоти обертання до 106 % допускається лише на ходових випробуваннях судна. Лінії 4 і 5 накладають обмеження на середній ефективний тиск, який виробляється двигуном, виходячи з поданого повітря, необхідного для повного згоряння палива. Це обмежувальна характеристика, яка за будь-якої частоти обертання в діапазоні від $n_{\min}$ до $n_{\max}$ визначає максимально допустимі для тривалої роботи значення середнього ефективного тиску P_e , а значить і потужності, яку двигун може розвивати при даному швидкісному режимі.

В області частоти обертання 97...100 % від специфікаційних обертів допускається робота при тиску $P_e = P_e^{\text{спец}} = 100 \%$ (лінія 5), але якщо режим переходить в область меншої частоти обертання, то робота з $P_e = P_e^{\text{спец}} = 100 \%$ уже недопустима. Потрібно знижувати середній ефективний тиск (лінія 4), що означає необхідність зменшення циклової подачі палива. Ця вимога обумовлена погіршенням постачання двигуна повітрям при зниженні швидкісного режиму, що, в свою чергу, викликає зниження коефіцієнта надлишку повітря та погіршення згоряння палива, а також можливе зростання теплових напружень у деталях ЦПГ. Якщо ж при зниженні частоти обертання зменшувати подачу палива в циліндри, а отже, тиск P_e , як це вимагає обмежувальна характеристика 4, то падіння коефіцієнта α не відбудеться та буде гарантовано достатньо повне згоряння палива.

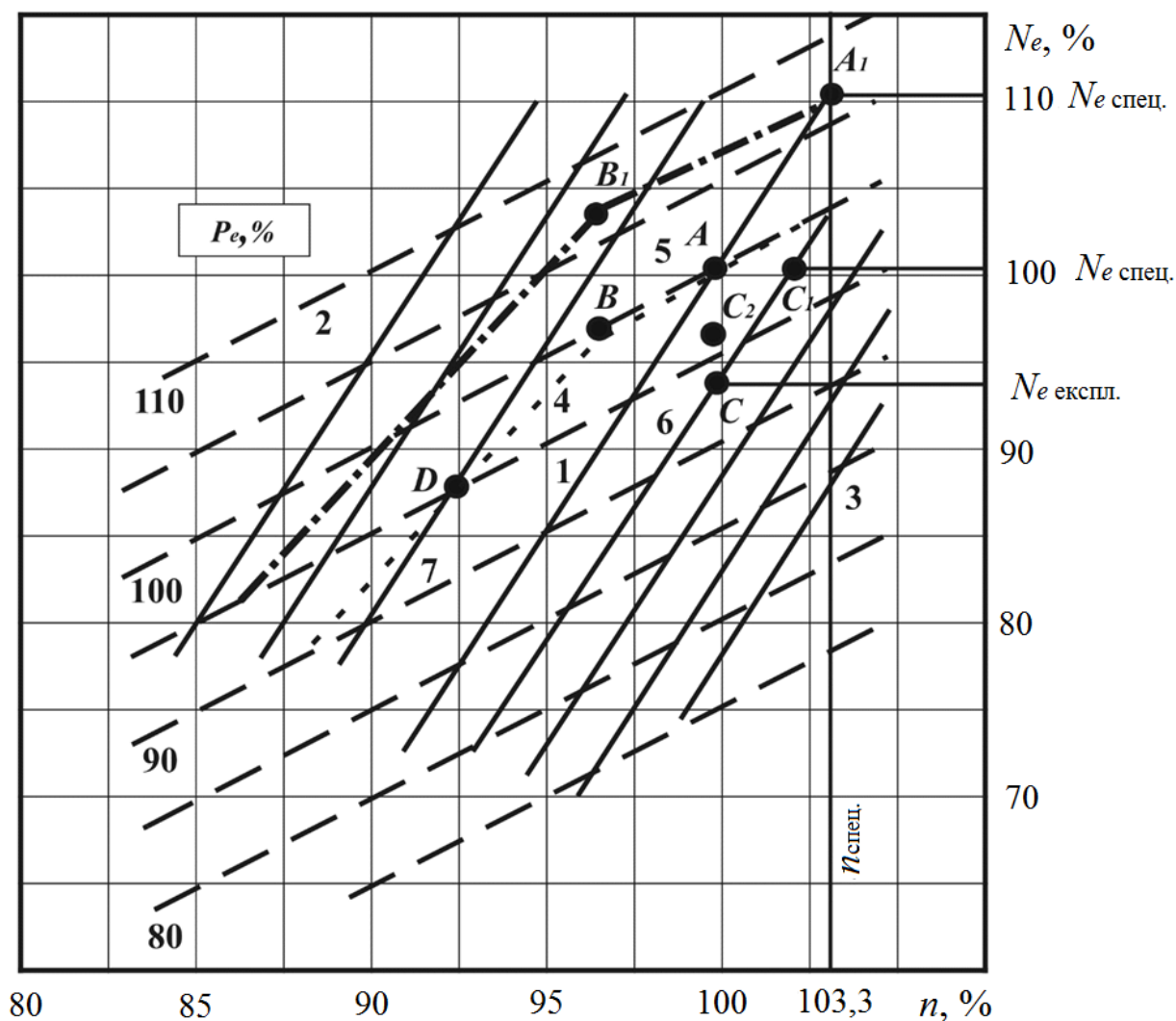


Рис. 2.18. Графік для визначення специфікаційної потужності та режиму повного ходу

Зона між лініями 4–5 та розташованої над ними ламаною жирною пунктирною лінією належить до зони перевантажень. Час роботи в ній обмежується 1 годиною кожні 12 годин. Максимально допустима потужність, яку двигун короткочасно може розвивати, складає 110 % при $n = 103,3$ % (точка A'). Гребний гвинт рекомендується підбирати таким чином, щоб його характеристика (крива 6) була на 2...3 % легше від гвинтової характеристики, що проходить через точку специфікаційного режиму (лінія 1). Це означає, що цю ж потужність двигун буде розвивати при частоті обертання на 2...3 % більшу за номінальну. Якщо за основний швидкісний режим (режим повного ходу) взяти частоту обертання $n_{\text{спец}}$ (точка C), то при повній завантаженості

судна та спокійній погоді від двигуна буде потрібна потужність на 7...10 % менша від $N_e^{\text{спец}}$. Ця потужність отримала назву *експлуатаційної* $N_e^{\text{експл}}$.

Необхідно мати запас із потужності для того, щоб зберегти частоту обертання гребного гвинта, а також швидкість судна при збільшенні опору його руху, не побоюючись перевантажити двигун. Опір збільшується при обростанні або пошкодженні корпусу та гребного гвинта, посиленні зустрічного вітру, хвилюванні тощо. У цих умовах режим роботи двигуна, який відповідає повному ходу, з точки C по регуляторній характеристиці ($n \approx \text{const}$) буде підніматися, займаючи залежно від навантаження ряд положень на лінії CA . Якщо ж опір настільки зростає, що потужність, яку розвиває двигун у точці A , стає недостатньою для того, щоб уникнути перевантаження, подачу палива не слід збільшувати. Тоді частоти обертання двигуна та гвинта почнуть знижуватися.

Новий режим роботи двигуна, що належить до важкої гвинтової характеристики, повинен лежати в точці її перетину з обмежувальною характеристикою 5–4. Так, якщо припустити, що характеристика 7 відповідає плаванню судна в льодових умовах, коли опір руху судна різко зростає, режим повного ходу має лежати в точці перетину характеристики 7 з обмежувальною характеристикою 4 (точка E) або нижче від неї.

При роботі двигуна одночасно з гвинтом та валогенератором до потужності, яка споживається при даній частоті обертання гребним гвинтом, додається потужність, що віддається генератору. Якщо положення характеристики режиму двигуна при чистому корпусі та ввімкненому валогенераторі визначається параметрами точки C , то з увімкненням генератора точка режиму переміститься в точку C'' (відрізок C'' визначає потужність генератора). У підсумку запас потужності двигуна на можливе збільшення опору руху судна скорочується.

У сучасних умовах у зв'язку зі зростанням вартості палива складова витрат на нього в загальному балансі експлуатаційних витрат судна збільшується. Тому при призначенні режиму роботи головного двигуна

важливо забезпечити максимально можливу його економію. Відомо, що економічність робочого циклу двигуна суттєво залежить від максимального тиску циклу – чим вищий P_z при тих же тисках P_e та P_i . Таким чином, чим вище відношення P_z/P_e , тим цикл є більш економічним, тим меншою є питома витрата палива та загальна його витрата. Цю обставину використовують двигунобудівними: вони рекомендують при тривалій роботі на режимах, для яких характерні менші значення частоти обертання та навантаження, а отже відповідне зменшення максимального тиску циклу, підвищувати P_z до $P_z^{\text{ном}}$ або $P_z^{\text{спец}}$ шляхом збільшення кута випередження подачі палива.

Значної економії палива можна досягти, якщо за умовами рейсового завдання допускається знижувати швидкість судна. У цьому випадку рекомендується зменшувати частоту обертання двигуна та переходити на режим економічної швидкості. Під економічною швидкістю розуміється така швидкість, яка за наявності резерву ходового часу дозволяє судну вчасно прибути в порт призначення, забезпечуючи максимальну економію паливозмащувальних матеріалів. Однак повинна виконуватися умова, що тривала робота на цьому режимі не призводить до зниження надійності головного двигуна. Тут мається на увазі, в першу чергу, відсутність інтенсивного зростання нагару та масляних відкладень у продувному й випускному трактах, відсутність небезпечних вібрацій. За основний критерій економічності при виборі швидкості судна береться витрата палива за рейс.

Перехід головного й допоміжного двигунів на режими малого ходу (режими малих навантажень) пов'язаний зі значним скороченням подачі палива в циліндри та збільшенням надлишку повітря. Одночасно знижуються параметри повітря в кінці стиснення. Особливо помітно зміну величин P_c і T_c у двигуні з газотурбінним наддувом. Це обумовлено тим, що турбонаддувний агрегат на малих навантаженнях не працює та двигун автоматично переходить на режим роботи без наддуву. Мала циклова подача палива та великий надлишок повітря знижують температуру в камері згоряння. Через низьку температуру циклу процес згоряння палива відбувається мляво, повільно,

частина палива не встигає згоріти та стікає по стінках циліндра в картер або виноситься з відпрацьованими газами у випускну систему. До погіршення згоряння палива призводить також погане сумішоутворення палива з повітрям, обумовлене зниженням тиску впорскування палива при падінні навантаження та зниженні частоти обертання. Нерівномірне й нестабільне впорскування палива, а також низькі температури в циліндрах викликають нестійку роботу двигуна, яка нерідко супроводжується пропусками спалаху та підвищеним димленням.

Нагароутворення проходить особливо інтенсивно при неналежному використанні в двигуні важких палив. При роботі на малих навантаженнях через погане розпилювання й відносно низьких температурах у циліндрі краплі важкого палива повністю не вигоряють. При нагріванні легкі фракції поступово випаровуються та згоряють, а в ядрі краплі залишаються виключно важкі висококиплячі фракції, основу яких складають ароматичні вуглеводні з найбільш міцними зв'язками між атомами. Тому окиснення їх призводить до утворення проміжних продуктів – асфальтенів та смол, які мають високу липкість і здатні міцно утриматися на металевих поверхнях.

У зв'язку з вищевказаними обставинами при тривалій роботі двигуна на режимах малих обертів та навантажень відбувається інтенсивне забруднення циліндрів й, особливо, випускного тракту продуктами неповного згоряння палива та масла. Випускні канали кришок циліндрів та випускні патрубки покриваються щільним шаром асфальтосмолистих речовин та коксу, що на 50...70 % зменшують їх прохідні перерізи. У випускній трубі товщина шару нагару може досягати 10...20 мм. Ці відкладення при підвищенні навантаження на двигун періодично спалахують, викликаючи у випускній системі пожежу. Всі маслянисті відкладення вигорають, а сухі вуглекислі речовини, які утворюються при згорянні, викидаються у навколишнє середовище.

Для того щоб цього не сталося, необхідно, по можливості, уникати експлуатації двигуна на малих навантаженнях. Особливо це стосується дизель-генераторів, режим роботи яких можна регулювати кількістю паралельно

працюючих двигунів та їх навантаженням або вибіркоvim увімкненням у суднову мережу приймачів струму. Слід стежити за чистотою випускного тракту, не допускаючи накопичення в ньому асфальтосмолистих речовин, палива та масла.

Проблема роботи двигунів на малих навантаженнях стала особливо гострою при появі на нафтовому ринку важких палив. Наслідком застосування цих палив є істотне збільшення тривалості періоду затримки або навіть відсутність займання (останнє можливе на малих навантаженнях). У першому випадку це може викликати надмірне зростання тиску газів, жорстку роботу та пошкодження деталей двигуна. У другому – накопичення незгорілого палива у випускному тракті з подальшим вибухом його парів. Падіння тиску впорскування та погіршення розпилювання, зниження температури в камері згоряння й стисненого заряду повітря при зменшенні частоти обертання та навантаження двигуна призводять до виникнення зазначених явищ, особливо в чотиритактних СОД.

Для того щоб зменшити вплив цих чинників, в останніх модифікаціях двигунів збільшують тиск впорскування на номінальному режимі до 150...200 МПа. У цьому випадку при зменшенні частоти обертання тиск впорскування буде зменшуватися не до таких низьких значень, як у тому випадку, коли на номінальному режимі цей тиск складає 70...100 МПа. Крім того, вимикають повітроохолоджувач та використовують підігрів наддувного повітря при переході на часткові навантаження. Для цього паралельно з охолодженням наддувного повітря на двигун установлюють підігрівач, в якому температура повітря підвищується до 338...353 К.

Характеристики, що являють собою залежність показників роботи двигуна від частоти обертання вала, називають *швидкісними*. Розрізняють декілька видів швидкісних характеристик: *абсолютна зовнішня, межі димлення, зовнішня та часткова*.

Абсолютною зовнішньою швидкісною характеристикою називають графік залежності від частоти обертання потужності двигуна, максимально

можливої при даній частоті обертання вала. На цьому ж графіку часто будують криві зміни середнього ефективного тиску або пропорційного йому крутного моменту двигуна та економічних показників (питомої витрати палива й ККД). Таким чином, ця характеристика обмежує поле граничних режимів двигуна.

У двигунах неповнота згоряння виражається появою у випускних газах сажі ($0,01 \dots 1,1 \text{ г/м}^3$), окису вуглецю ($0,01 \dots 0,5 \text{ \%}$ за об'ємом), оксидів азоту ($0,0002 \dots 0,5 \text{ мг/л}$), вуглеводнів ($0,009 \dots 0,5 \text{ мг/л}$) та незначної кількості парів палива й масла. За наявності навіть невеликої кількості сажі у випускних газах вони мають темне забарвлення. Крім того, при утворенні сажі відкладається нагар у камері згоряння та можливий перегрів двигуна внаслідок значного догорання палива й продуктів неповного окиснення в процесі розширення. Вміст продуктів неповного згоряння у випускних газах особливо збільшується при $\alpha < 1$.

Роботу двигуна з явно вираженим димним випуском – не догоранням – допускати не можна. Тому, хоча абсолютна зовнішня характеристика й може бути отримана при випробуваннях двигуна, в звичайних експлуатаційних умовах навантаження двигуна не можна доводити до значень, що відповідають цій характеристиці. Таким чином, абсолютна зовнішня характеристика знаходиться за межами експлуатаційних робочих режимів.

При однаковому складі суміші показники двигуна залежать від таких факторів, як кут випередження впорскування або запалювання, температура охолоджуючого агента на вході та виході, температура заряду, що поступає. Для отримання абсолютної зовнішньої характеристики необхідно, щоб усі ці фактори були оптимальними, тобто забезпечували роботу двигуна при максимально можливому середньому ефективному тиску і при заданих параметрах заряду на впуску. В експлуатації цього домогтися практично неможливо.

Зі зменшенням коефіцієнта надлишку повітря середній ефективний тиск збільшується. Однак практичне зменшення α у двигунах можливе до появи явно виражених ознак погіршення перебігу процесу згоряння – найчастіше це

наявність диму у випускних газах, що характеризує недогорання палива. Зміни потужності та середнього ефективного тиску, що відповідають появі диму у випускних газах, залежно від частоти обертання вала двигуна називають **характеристикою межі димлення**. В умовах експлуатації неможливо забезпечити роботу двигуна за цією характеристикою. Крім того, робота двигуна на межі димлення небажана, тому що навіть незначне порушення відповідності між подачею палива й повітря в бік подальшого зменшення коефіцієнта α може призвести до інтенсивного димлення, збільшення температури випускних газів та відповідно температури деталей циліндро-поршневої групи, клапанів, лопаток турбіни, а в кінцевому підсумку до виходу двигуна з ладу.

При експлуатації двигуна має значення залежність його максимальної номінальної тривалої потужності або середнього ефективного тиску від частоти обертання вала при повному відкритті дросельної заслінки в карбюраторному двигуні або при положенні органа керування подачею палива в двигуні, що забезпечує отримання номінальної потужності. Інші ж параметри роботи двигуна в цьому випадку можуть не бути оптимальними при роботі на всіх режимах, що відповідають характеристиці. Залежно від умов роботи двигуна ці параметри можуть бути оптимальними не на номінальній, а на якійсь проміжній частоті обертання (наприклад, на режимі максимального середнього ефективного тиску або крутного моменту). Такі характеристики називаються **експлуатаційними зовнішніми швидкісними характеристиками** двигуна або **зовнішніми швидкісними характеристиками**. Тобто **зовнішня** або **часткові характеристики** являють собою графічні чи аналітичні залежності показників двигуна від частоти обертання при фіксованому положенні органа керування паливними насосами, що забезпечує збереження величини активного ходу плунжера.

Під номінальною максимально тривалою потужністю (*MCR – nominal maximum continuous rating*) розуміється найбільша ефективна потужність, яка гарантується підприємством-виробником. Таку потужність двигун може

забезпечувати протягом тривалого часу при номінальному швидкісному режимі та стандартних нормальних атмосферних умовах (ISO 3046-1; ISO 15550 температура повітря – 298 К, атмосферний тиск – 100 кПа, температура охолоджуючої води – 298 К і відносна вологість 30 %), а також при опорі на впуску й випуску (що виникли при стендових випробуваннях та обумовлених в інструкції), температурі й тискам у системах змащення та охолодження, рекомендованих сортах палив (теплотворна здатність – 42,7 МДж/кг) і масел. Умови роботи двигуна в експлуатації зазвичай відрізняються від стендових, тому на номінальній потужності через небезпеку перевантаження двигун працює рідко.

Двигуни внутрішнього згоряння часто працюють при змінній частоті обертання вала, але при постійному положенні органа керування, яке відповідає меншій подачі палива або суміші, ніж при роботі за зовнішньою характеристикою. Залежності ефективної потужності двигуна від частоти обертання його вала при різних постійних положеннях органа керування подачею палива або суміші називають **частковими швидкісними характеристиками**. Часткові характеристики відповідають роботі двигуна при активному ході плунжера, при якому потужність та середній ефективний тиск складають лише частину від їхнього повного значення на номінальному режимі. За частковою характеристикою двигун може працювати без обмежень за часом, виключаючи режим мінімальної частоти обертання.

Насправді при зміні частоти обертання не залишаються незмінними ні коефіцієнт подачі паливних насосів, ні ефективний ККД двигуна. Визначальну роль відіграють конструкція паливного насоса, об'єм палива, що дроселюється в періоди наповнення та відсічки, технічний стан прецизійних елементів. Спільний вплив внутрішнього та механічного ККД обумовлює те, що ефективний ККД більшості двигунів при зменшенні частоти обертання змінюється в досить вузьких межах. Відповідно відбувається невелика зміна й питомої ефективної витрати палива, яка визначає економічність роботи двигуна. Малий вплив швидкісного режиму на ефективний ККД приводить до

того, що характер залежності середнього ефективного тиску від частоти обертання при роботі двигуна за зовнішньою характеристикою в основному визначається характером зміни циклової подачі палива (коефіцієнта подачі). У більшості випадків при зниженні частоти обертання збільшується механічний ККД, тому зростає середній ефективний тиск. Зниження середнього ефективного тиску зазвичай спостерігається в області малих частот обертання, де визначальну роль починає відігравати зменшення ефективного ККД через погіршення постачання двигуна повітрям та погіршення сумішоутворення.

На рис. 2.19 та 2.20 наведені графіки зміни основних параметрів двигунів без наддуву й з газотурбінним наддувом при їх роботі за зовнішніми характеристиками. Із цих графіків видно, що наддув істотно впливає на вигляд зовнішніх характеристик і особливо на середній ефективний тиск. Для двигунів без наддуву максимальний p_e спостерігається при частоті, нижчій від номінальної, а для двигунів з наддувом p_e досягає максимуму при частоті обертання, близької до номінальної. Такий характер зміни p_e обумовлений тим, що при зниженні частоти обертання двигуна зменшується кількість газів, що надходять у турбіну турбокомпресора, внаслідок чого знижуються частота обертання турбокомпресора й тиск наддуву. Зниження тиску наддуву призводить до зменшення коефіцієнта надлишку й густини повітря, що надходить у циліндри двигуна.

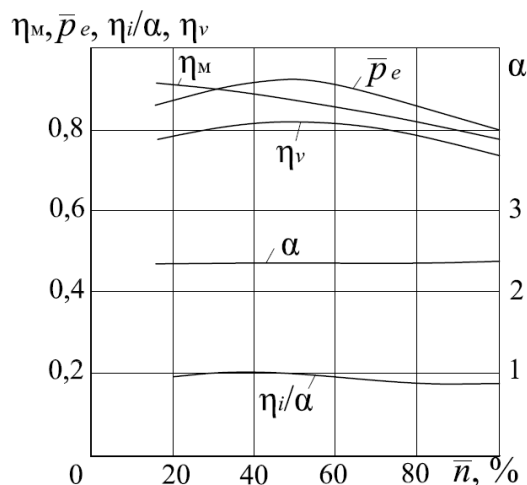


Рис. 2.19. Зміна параметрів двигуна без наддуву при роботі за зовнішньою характеристикою

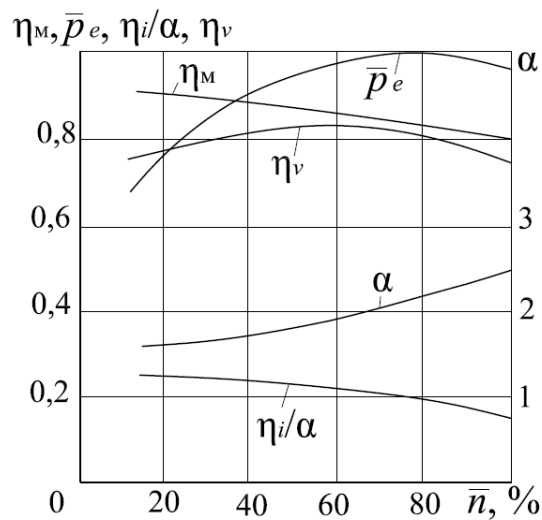


Рис. 2.20. Зміна параметрів двигуна з наддувом при роботі за зовнішньою характеристикою

При циклових подачах палива g_c нижче від номінальних значень $g_{c,ном}$ двигуни працюють за частковими швидкісними характеристиками (див. криві 3–5 на рис. 2.19), форма яких подібна до абсолютної зовнішньої швидкісної характеристики. Такі характеристики використовуються при введенні обмежень на подачу палива внаслідок ряду експлуатаційних факторів (обмеження теплової напруженості деталей), а також при побудові гвинтових характеристик.

Часткові швидкісні характеристики отримують при фіксованих положеннях органів керування паливними насосами. Оскільки зазвичай подача повітря в двигунах не регулюється, то в двигунах без наддуву (або з наддувом від приводного компресора) коефіцієнт надлишку повітря мало змінюється при зменшенні частоти обертання двигуна та при роботі на часткових характеристиках. У двигунах з газотурбінним наддувом при роботі за частковими характеристиками знижуються температура, швидкість і тиск випускних газів, що призводить до зменшення потужності газової турбіни, її частоти обертання, а отже, тиску й кількості повітря, що подається компресором у циліндри двигуна. При малих навантаженнях якість розпилювання палива та сумішоутворення погіршується, через що знижується

індикаторний ККД. У двигунах з газотурбінним наддувом зі зменшенням частоти обертання двигуна спостерігається більш різке зниження p_i , особливо при малих циклових подачах палива.

В умовах зовнішньої характеристики при зменшенні частоти обертання й скорочення коефіцієнта надлишку повітря особливо для двигунів з турбонаддувом не виключена можливість підвищення температури деталей ЦПГ та зростання в них температурних напружень. Про механічну напруженість двигуна можна судити за максимальним тиском P_z та максимальним сумарним тиском $P_{\max}$, який визначається як різниця між P_z і P_j , що виникає внаслідок дії сил інерції. У двигунах з наддувом у зв'язку з падінням тиску наддуву максимальний тиск цикла P_z зменшується, але максимальний тиск $P_{\max}$ збільшується. Це явище пояснюється зменшенням сили інерції зі зменшенням частоти обертання колінчастого вала. Таким чином, робота двигуна за зовнішньою характеристикою небезпечна, оскільки при зменшенні частоти обертання збільшується механічна напруженість та не виключена можливість зростання теплової напруженості. Цю обставину необхідно враховувати при виборі режиму роботи головного двигуна, особливо при плаванні в штормову погоду, в льодах та при буксируванні, тому що саме в цих умовах двигун виходить на режими зовнішньої характеристики: подача палива залишається постійною, а частота обертання може знижуватися при збільшенні опору руху судна.

Контрольні питання

1. Який порядок підготовки двигуна до пуску після монтажу, ремонту або тривалої стоянки?
2. Назвіть порядок пуску двигунів і правила прийому навантаження.
3. Як здійснюється спостереження за працюючим двигуном на судні?
4. Як виконуються реверсування і зупинка двигунів?
5. Які несправності можуть бути в двигуні?

6. Які роботи виконуються з двигуном при зупинці його на нетривалий і тривалий час?
7. Чим відрізняються сталі режими роботи двигунів від несталіх?
8. Які існують способи підвищення економічності двигунів на малих навантаженнях?
9. Які показники та параметри двигуна використовуються як обмежувальні?
10. Чим відрізняється зовнішня характеристика двигуна від гвинтової?
11. Сформулюйте вимоги до стійкості роботи суднових двигунів.
12. Чому економічність роботи двигуна знижується на несталіх режимах його роботи?
13. Як будується швидкісна стендова характеристика двигуна?
14. Як користуються швидкісною характеристикою при оцінці роботи двигуна?

РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНІЗМІВ ТА ПРИСТРОЇВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

3.1. Загальні вказівки щодо технічного обслуговування та ремонту суднових двигунів

Технічне обслуговування двигунів необхідно виконувати керуючись вимогами, що регламентують організацію технічного обслуговування суден і двигунів та викладені у положенні про технічну експлуатацію флоту, й відповідно до прийнятої для певного типу судна системи його технічного обслуговування і ремонту. Склад робіт з технічного обслуговування двигунів, періодичність їх виконання й інші дані (трудоемність робіт, склад виконавців, матеріально-технічне постачання тощо), необхідні для забезпечення технічного обслуговування, встановлюються на основі вимог заводської інструкції з експлуатації з урахуванням технічного стану двигунів та умов їх експлуатації. За відсутності інструкції з експлуатації необхідно використовувати певні рекомендації щодо *періодичності проведення робіт з технічного обслуговування двигунів*.

1. Щодня для всіх марок двигунів слід проводити зовнішній огляд двигуна, приладів та апаратури, перевіряти рівень масла в резервуарах масляної системи, спустити воду й механічні домішки з відстійників, паливних, масляних баків та фільтрів. При непрацюючому двигуні треба повертати колінчастий вал на 2–3 оберти при відкритих індикаторних кранах (декомпресійних клапанах), одночасно прокачуючи масло.

2. Щодня для всіх марок двигунів потрібно перевіряти, очищати та промивати масляні, паливні й водяні (забортної води) фільтри, перевіряти приводи впускних і випускних клапанів, ролики штовхачів насосів високого тиску.

3. Через 0,5...0,7 тис. год слід перевірити (за необхідності відрегулювати) зазори механізму газорозподілу.

4. Щотижня для всіх марок двигунів треба знімати індикаторні діаграми, визначати потужність, тиск P_z , P_c , P_t (за відсутності індикаторних приводів та індикаторних кранів). Промивати очищувач повітря і глушник всмоктування, визначати потужності двигуна та тиск P_z , P_c , P_t також необхідно: при виявленні неполадок у роботі одного або декількох циліндрів, після регулювання системи паливоподачі, заміни форсунки або паливного насоса, заміни циліндрової втулки й кришки, під час переходу на новий сорт палива.

5. Через 0,5...1,0 тис. год слід перевірити рівномірність подачі палива, спресувати форсунки, перевірити початок (кінець) подачі палива, перевірити та видалити відкладення нагару у випускних колекторах і на вікнах циліндрових втулок.

6. Не рідше 1 разу на 6 місяців потрібно перевіряти стан системи подачі масла лубрикаторів.

7. Через 500...700 год роботи треба перевіряти роботу штуцерів подачі масла.

8. Спочатку через 50 год, потім через 500 год слід перевіряти кріплення двигуна до фундаменту, відцентрувати з приводними агрегатами і валами.

9. Через 4,0...8,0 тис. год потрібно промити витратні паливні баки.

10. Через 1,5...5,0 тис. год треба частково зняти циліндрові кришки та підняти 1–2 поршні з виконанням необхідних робіт з технічного обслуговування.

11. Через 1,0...4,0 тис. год слід замінити масло в циркуляційній системі змащення, очистити та промити картер.

12. Через 4,0...8,0 тис. год потрібно зняти всі циліндрові кришки, підняти всі поршні, розібрати головні з'єднання, обміряти деталі ЦПГ та колінчастого вала, визначити розкепи з рухом і без руху, перевірити технічний стан усіх деталей, виконати необхідні профілактичні роботи.

Безпосереднє керівництво та відповідальність за організацію технічного обслуговування і ремонту двигунів покладається на старшого механіка, який зобов'язаний підготувати необхідну документацію (ремонтні відомості, ескізи),

проконтролювати виконання робіт судновим екіпажем (СЕ) або судновою ремонтною бригадою (СРБ) відповідно до зазначених у графіках періодичності й обсягу.

Для перевірки технічного стану двигуни, обслуговуючі їх механізми і системи не рідше одного разу на рік повинні піддаватися інспекторському огляду спеціальною комісією, яка призначається наказом керівника організації судновласника відповідно до положень про технічну експлуатацію суден флоту. Роботи з технічного обслуговування, що пов'язані з розбиранням двигунів та можуть бути виконані за час стоянки судна в порту, проводяться з дозволу старшого механіка. Якщо тривалість стоянки недостатня для проведення технічного обслуговування, а також якщо судно знаходиться в плаванні (на промислі), для проведення робіт з розбирання двигунів має бути отримано дозвіл капітана.

При проведенні ремонтних робіт необхідно керуватися нормами зносів та міжремонтних періодів двигунів, які регламентують: послідовність проведення ремонтів двигунів і міжремонтні періоди; граничні й післяремонтні розміри (зазори) основних деталей, сполучень двигунів з обслуговуючими їх механізмами; витрату запасних частин; укрупнену номенклатуру робіт за категоріями ремонтів. Послідовність проведення планових ремонтів (поточний, середній, капітальний) двигуна повинна бути узгоджена з плановими заводськими ремонтами судна. При цьому слід виходити з необхідного рівня відновлення ресурсу ремонтovanого двигуна, його терміну служби та технічного стану. Ремонт двигунів має проводитися під технічним наглядом Регістру судноплавства України.

Результати виконаних обмірів з метою визначення зносів і зазорів із зазначенням кількості відпрацьованих годин повинні записуватися у формуляр двигуна й журнал технічного стану, куди заносяться також усі виявлені дефекти та заходи, прийняті для їх усунення. Дефекти і несправності, виявлені під час огляду двигунів, мають бути усунені негайно або залежно від їх характеру при черговому ремонті.

Особи, які виконують технічне обслуговування і ремонт, повинні звертати увагу на те, щоб у процесі робіт не були пошкоджені засоби автоматизації, встановлені на двигуні й обслуговуючих його механізмах, а також лінії зв'язку (кабелі, капілярні трубки та ін.). Механічна цілісність джерел інформації, виконавчих органів, перетворювачів та інших засобів автоматизації, а також ліній зв'язку має забезпечуватися механіками. Вимкнення й демонтаж засобів автоматизації повинні проводитися з відома та за участі фахівців, що відповідають за їх технічну експлуатацію, при суворому дотриманні правил техніки безпеки і заводських інструкцій.

Старший механік після закінчення встановлених строків виконання робіт зобов'язаний своєчасно пред'явити двигуни Регістру судноплавства України.

Ремонт двигунів може здійснюватися як на судні, так і в цеху. Двигуни на капітальний ремонт, як правило, відправляють на заводи, що мають спеціалізовані цехи з капітального ремонту двигунів. При відправці в цех двигуни демонтують: від'єднують усі трубопроводи, знімають контрольно-вимірювальні прилади, роз'єднують фланці колінчастого вала і валопроводу, від'єднують двигун від судового фундаменту. Разом з двигуном у цех відправляють його формуляр. Розбирання двигуна, по суті, однакове, як на судні, так і в цеху, але в цеху воно проводиться в більш сприятливих умовах. Послідовність розбирання залежить від конструкції двигуна і зазвичай вказується в заводських інструкціях з експлуатації та ремонту. Однак рекомендується виконувати наступні загальні правила:

- деталі, труби систем і прилади укладати на заздалегідь підготовлені місця;
- розбирання проводити тільки спеціально призначеними для цієї мети інструментами і пристроями;
- при розбиранні не застосовувати надмірних зусиль, а з'ясувати причини, що заважають розбиранню, та усунути їх;
- усі відкриті порожнини закривати спеціальними заглушками;
- кінці труб глушити спеціальними пробками;

– гайки, що кріплять деталь, спочатку послідовно послабити, а вже потім відвертати;

– після розбирання гайки навертати назад на болти чи шпильки або з кожного вузла збирати на окремий дріт з біркою;

– регулювальні прокладки краще залишити на своїх місцях; за необхідності заміни вимірюють товщину прокладки, щоб при складанні поставити нову такої ж товщини;

– при знятті на з'єднувальні деталі нанести керном необхідні контрольні мітки (у разі їх відсутності), що визначають взаємне положення деталей;

– усі зняті з двигуна вузли та деталі промити гасом і витерти насухо; деталі та вузли, які не потребують ремонту, очистити, покрити мастилом і скласти на прокладках.

Дефектацію виконують шляхом зовнішнього огляду, огляду підозрілих місць за допомогою лупи і вимірювання точними вимірювальними інструментами при дотриманні певної методики. Особливу увагу приділяють наступним об'єктам.

Фундаментна рама є підставою для деталей остова, призначена для укладання колінчастого вала і служить ємністю для збирання масла, що витікає з вузлів змащення двигуна. Рама навантажена масою двигуна, силами тиску газів, сил інерції поступально рухомих і обертових мас. Фундаментну раму перевіряють на відсутність тріщин, пошкоджень ребер жорсткості. Для перевірки площини опорних поверхонь застосовують лінійку і щуп. Відхилення від прямолінійності не повинне перевищувати 0,05 мм на 1 м довжини. При великих відхиленнях опорні поверхні обробляють на верстаті або шабрють по плиті з точністю не менше п'яти плям на 1 см².

3.2. Колінчастий вал

Колінчастий вал сприймає зусилля від шатунів, перетворює їх у крутний момент і передає його споживачеві, здійснює переміщення поршнів у допоміжних ходах, передає рух до розподільного вала, приводить у дію допоміжні механізми. На вал діють сили тиску газів і сили інерції поступально

рухомих і обертових мас, згинальні й крутні моменти від цих сил. Вони викликають деформацію в елементах, концентрацію напруг, тертя та знос його шийок і підшипників. Періодично змінні крутні моменти, що викликають крутильні коливання вала, збільшують напругу в його елементах і можуть спричиняти утомленості вала.

Колінчастий вал перевіряють на співвісність. Через неоднаковий знос рамових підшипників вісь колінчастого вала втрачає прямолінійність. Про стан осі колінчастого вала судять за вимірними розкепами. Розкепом називається різниця відстаней між щокми кривошипа при двох протилежних його положеннях.

На рис. 3.1,а показаний один і той же кривошип у двох положеннях: у верхній та нижній мертвих точках. Якщо вісь вала прямолінійна, відстані між щокми кривошипа l_1 та l_2 , виміряні мікрометричним штихмасом, будуть однаковими. У цьому випадку розкеп $\Delta = l_1 - l_2 = 0$, що свідчить про прямолінійність осі вала.

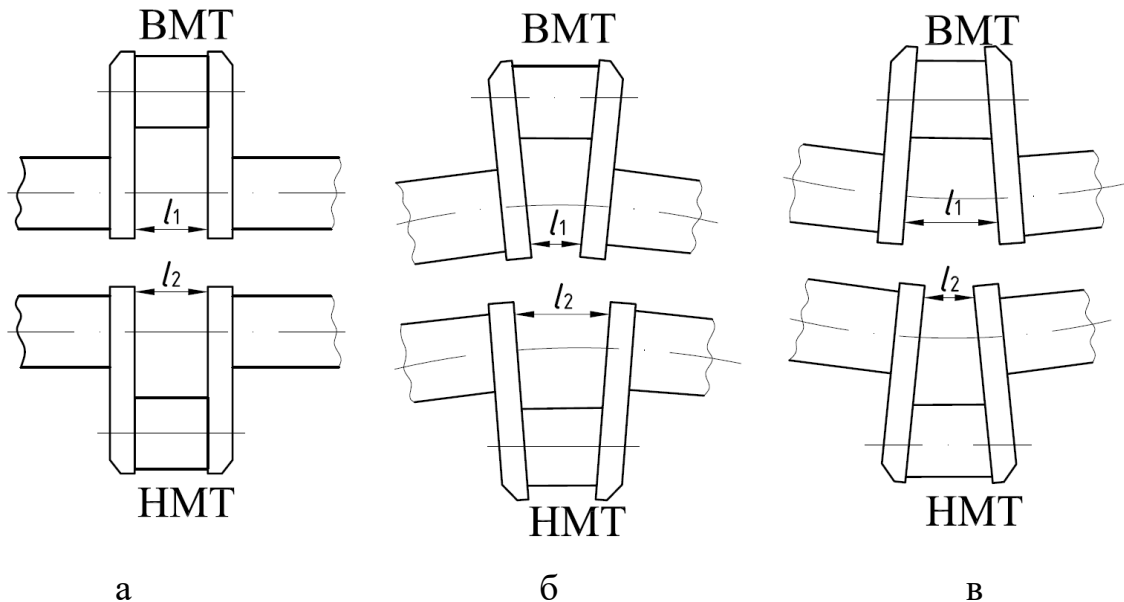


Рис. 3.1. Вимірювання розкепів колінчастого вала

Припустимо, кінцеві підшипники вала просіли більше середніх. Вісь вала прогнеться опуклістю вгору (див. рис. 3.1,б). Відстань l_1 при положенні кривошипа у ВМТ буде меншою від l_2 при положенні кривошипа в НМТ. У

даному випадку розкеп буде додатний, що вказує на те, що вісь вала вигнута опуклістю вгору. Отже, для досягнення прямолінійності потрібно підшабрити (опустити) середні підшипники. Якщо середні підшипники зносилися більше крайніх, вісь вала прогнеться опуклістю вниз (див. рис. 3.1,в).

Відстань l_1 при положенні кривошипа у ВМТ буде більшою від l_2 при положенні кривошипа в НМТ. У цьому випадку розкеп буде від'ємний, що вказує на прогин вала опуклістю вниз. Для досягнення прямолінійності потрібно шабрити (опускати) крайні підшипники.

Вимірювання розкепів та просідання колінчастого вала здійснюється в терміни, зазначені інструкцією з експлуатації, а також до й після затягування анкерних зв'язків і фундаментних болтів, після виплавляння та заміни вкладишів рамових підшипників, задирків поршнів, посадки судна на ґрунт і т. д.

При вимірюваннях просадки вала та розкепів необхідно переконатися в щільному приляганні рамових шийок до нижніх вкладишів рамових підшипників. При цьому щуп 0,03 мм не повинен проходити між шийками і вкладишами. На рис. 3.2 наведена номограма гранично-допустимих розкепів колінчастого вала, а на рис. 3.3 – схема встановлення індикатора.

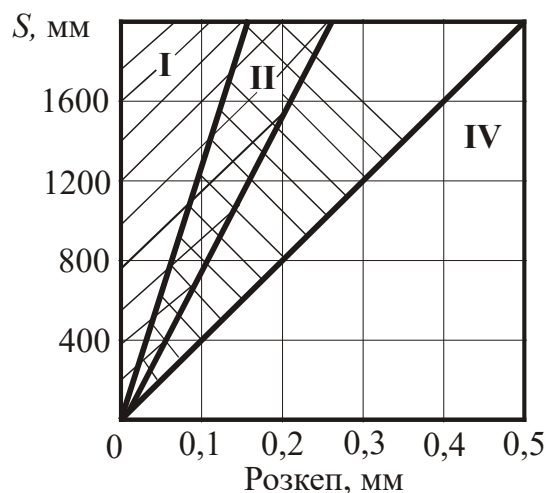


Рис. 3.2. Номограма визначення гранично-допустимих розкепів колінчастого вала: I – гарний стан; II – задовільний; III – допустимий у процесі експлуатації; IV – незадовільний (переукладка обов'язкова)

Місця встановлення пристосування з індикатором (див. рис. 3.3) для визначення розкепів повинні бути розташовані по осі щік:

$$h = \frac{S + d}{2},$$

де h – відстань від осі шатунної шийки до осі індикатора, мм; S – хід поршня, мм; d – діаметр рамової шийки, мм.

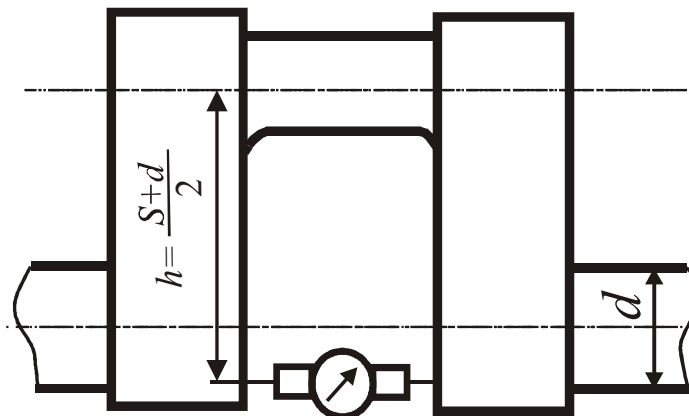


Рис. 3.3. Схема встановлення індикатора

На поверхні щік мають бути відзначені (накернені) місця установлення індикаторів. Установлювальні та гранично-допустимі величини розкепів регламентуються підприємством-виробником двигуна. За відсутності таких даних рекомендується користуватися номограмою (див. рис. 3.2), яка визначає залежність величини розкепів від ходу поршня.

Огляд та відновлення корінних і шатунних шийок

У процесі експлуатації колінчасті вали судових двигунів піддаються різним впливам: механічним, корозійним, тепловим та ін., що призводить до підвищення шорсткості, утворення інших дефектів на корінних і шатунних шийках. У кінцевому підсумку це знижує несучу здатність масляного клина і викликає підвищений знос вкладишів і шийок.

Шийки колінчастих валів оглядають при підозрі на несправність підшипників, а також через 4...7 тис. год роботи двигуна при вибіркового розкритті корінних підшипників і циліндрів.

Шийки оглядають при 5–10-кратному збільшенні: виявляють наявність підвищеної шорсткості, віспин, рисок, забоїн, корозійних пошкоджень (при

обводнюванні масла), натирань і задирок, кольорів мінливості (при виплавленні антифрикційного металу), тріщин.

Підвищену шорсткість та інші незначні дефекти усувають шліфуванням шийки вручну за допомогою ремня і наждачного паперу (рис. 3.4) або дерев'яного хомута й наждачного паперу (рис. 3.5).

Шийку змащують тонким шаром масла, обгортають наждачним папером (краще полотном), поверх якого надягають хомут або накладають у два витки ремінь.

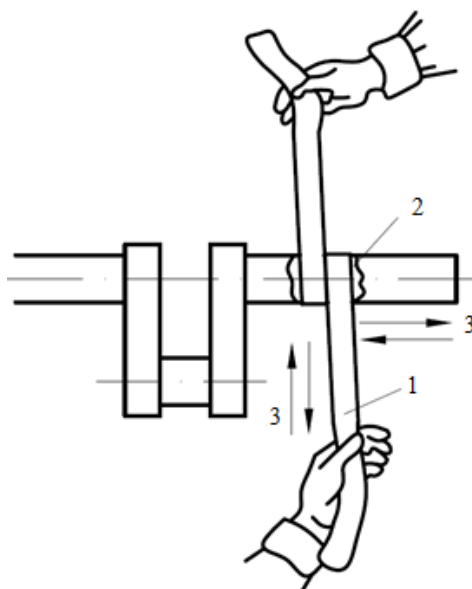


Рис. 3.4. Шліфування шийки вала за допомогою ремня:

1 – ремінь; *2* – наждачний папір; *3* – напрямки переміщення ремня

Під кінець шийку шліфують сухим дрібним наждачним папером, зменшуючи її зернистість. Після шліфування з маслом шийка стає матовою, а після сухого шліфування вона набуває дзеркального вигляду.

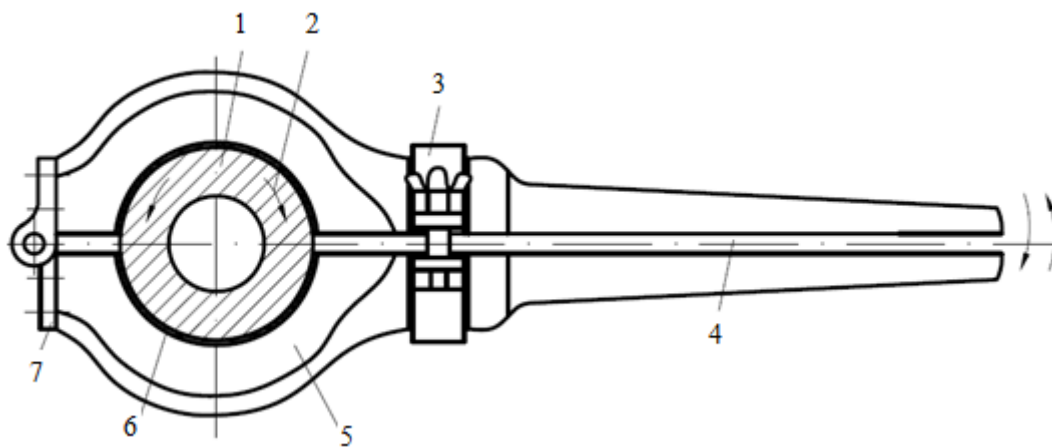


Рис. 3.5. Дерев'яний хомут для ручного шліфування шийок валів:

1 – шийка вала; 2 – напрямок руху хомута при шліфуванні; 3 – бугель з болтом і баранчиком (гайкою) для затиску хомута на шийці; 4 – зазор
5 – хомут; 6 – наждачний папір або полотно; 7 – шарнір

Краї рисунок і забоїн округляють, незначні пошкодження зачищають та зашліфовують.

При виявленні тріщин, сколів, випинання металу особливу увагу звертають на район галтелів шийок та район отворів підведення масла. Причиною їх утворення можуть бути порушення правил викочування вкладишів (використання нештатного поводку, зіткнення його з торцем ліжка), дефекти виготовлення, порушення правил експлуатації двигуна (перевантаження, підвищені розкепи і под.). В окремих випадках допускається вибірка тріщин на спеціалізованому підприємстві. Зазвичай колінчастий вал з тріщинами замінюють.

Контроль биття корінних шийок колінчастих валів

Якщо прилади для обмірювань корінних шийок відсутні, їх геометрію можна оцінити за радіальним биттям. Ним називають різницю ECR найбільшої і найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярною до базової осі (рис. 3.6).

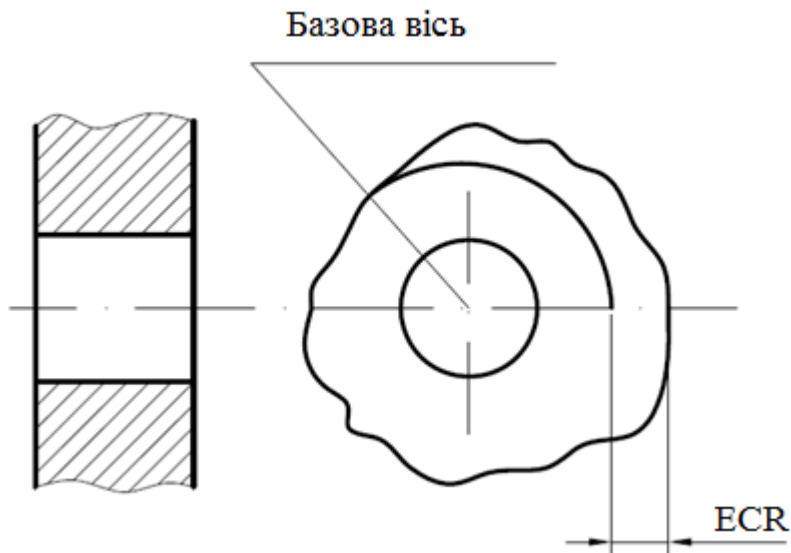


Рис. 3.6. Радіальне биття

Радіальне биття корінних шийок колінчастого вала заміряють індикатором за схемою, наведеною на рис. 3.7.

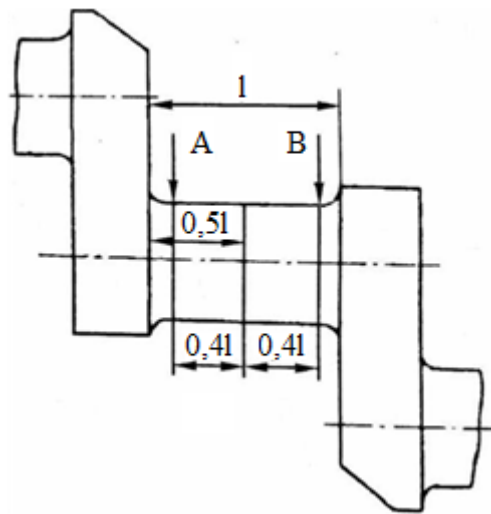


Рис. 3.7. Схема замірювання биття корінної шийки колінчастого вала

Індикатор установлюють на стояку, який, у свою чергу, закріплюють на рамі або блоці (рис. 3.8). Вимірвальний стрижень індикатора встановлюють з невеликим натягом вертикально до обмірвальної поверхні (або перпендикулярно до осі обмірвальної шийки). Нульовий розподіл циферблата поєднують зі стрілкою. Обмірвальна шийка може бути без нижнього вкладиша або лежати на ньому, що встановлює завод-виробник. Обертають

колінчастий вал на повний оберт і знімають показання індикатора через кожні 90° .

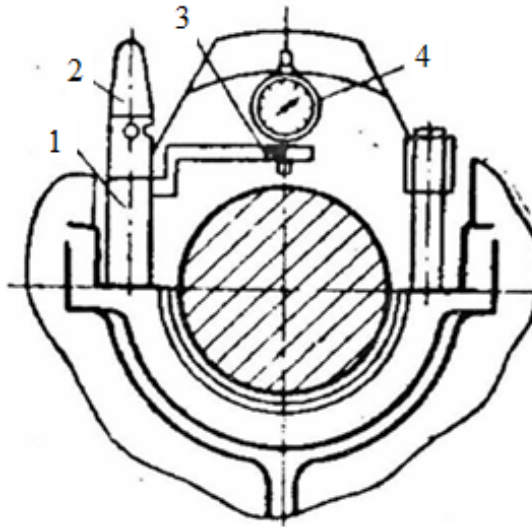


Рис. 3.8. Установлення індикатора:

1 – стояк індикатора; *2* – натискна гайка; *3* – затискач; *4* – індикатор

Після повного оберт у колінчастого вала стрілка індикатора повинна повернутися на нульову відмітку. Результати вимірювання биття корінних шийок зводять у таблицю. Величину биття визначають як максимальну різницю відхилень стрілки індикатора в діаметрально протилежних точках перетину, розташованих на відстані $0,4l$ у кожний бік від середини підшипника, де l – довжина рамового підшипника.

Наочно відхилення профілю корінної шийки від осі обертання можна уявити за допомогою круглої діаграми. Її будують у такій послідовності (рис. 3.9): накреслюють коло; через відповідні кути проставляють над або під колом величини биття; з'єднують отримані точки кривої. Якщо вісь шийки збігається з віссю обертання, то кругова діаграма покаже її реальний профіль у перерізі.

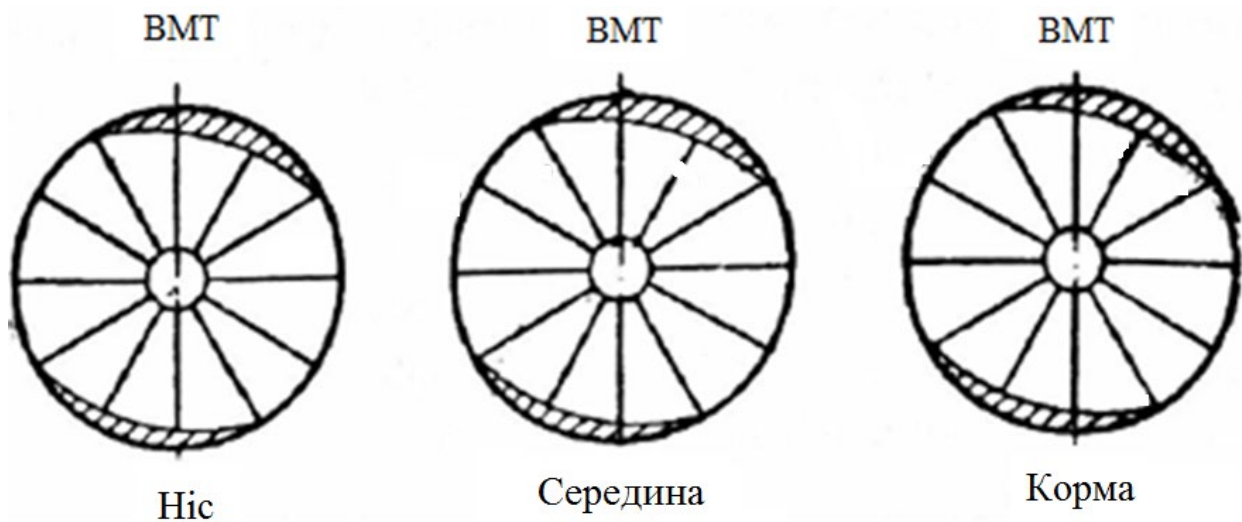


Рис. 3.9. Побудова кругової діаграми за биттям корінної шийки

Відновлення шатунних шийок без демонтажу колінчастого вала

В експлуатації двигунів нерідкі задирки шатунних шийок колінчастого вала через провертання вкладишів. Причинами можуть бути порушення умов змащення (погіршення якості масла, «масляне голодування», підвищений або знижений масляний зазор і под.), дефекти антифрикційного шару вкладишів підшипників. Поширеною причиною є також деформація розточення нижньої головки шатуна з косим зубчастим роз'ємом з шатунними болтами, які вкручуються в тіло стрижня шатуна, що призводить до порушення умов змащення.

Найбільші ушкодження шийки виникають в її вертикальній площині, де діють максимальні сили. Вони являють собою задирки, наволакування металу, збільшення овальності за гранично-допустиме значення.

Геометрію і шорсткість пошкодженої шийки відновлюють її шліфуванням у найближчий ремонтний розмір, видаленням дефектів з установленням вкладишів ремонтного розміру. Ремонтні розміри шийок зазвичай слідують через 0,5 мм у бік зменшення діаметра. Мінімальний ремонтний розмір шийки обмежений залишковою міцністю колінчастого вала. Вкладиші ремонтного розміру мають збільшену товщину в бік робочої

поверхні. По тильній поверхні (спинок) їх розміри відповідають розміру ліжка за кресленням.

Залежно від характеру пошкодження шатунні шийки відновлюють різними способами.

У даний час для шліфування шийок без демонтажу колінчастого вала широко використовують спеціальні пристрої у вигляді обертового супорта. Вони складаються з двох зкріплених дисків, між якими монтується супорт. Диски обертаються навколо шийки за допомогою ланцюгової передачі. Дана робота виконується спеціалізованими підприємствами.

Однак можливості цього механізму обмежені. При відновленні геометрії і шорсткості шатунної шийки її вісь повинна залишитися паралельно осі колінчастого вала. В іншому випадку виникають перекіс поршня у втулці, небезпека задирки втулки і поршня, пошкодження шатунних вкладишів та шийки. Для цього при монтажі пристрою за базу приймають галтелі, навколо яких воно буде обкатуватися.

На практиці вкладиш часто переміщується вздовж осі шатунної шийки і пошкоджує її жолобник. При обкатуванні навколо такої галтелі вісь обертання пристрою буде не збігатися з віссю шатунної шийки. Якщо пошкодження значні й ремонт галтелі неможливий у судових умовах, пристосування не може бути використане.

У судових умовах як тимчасовий захід можливе ручне обпилювання шийки в найближчий ремонтний розмір. Запропонована принципова технологія була неодноразово успішно випробувана на практиці: демонтують шатунно-поршневу групу; глушать масляні отвори дефектної шийки дрантям із солідолом; всю обробку виконують через картери люків.

Як правило, при задирці шийка нагрівається та її робоча поверхня гартується до такої твердості, що драчовий напилок ковзає по ній. Для обдирання загартованого шару використовують старі наждакові кола, надавши їм попередню увігнутість за формою шийки.

Після цього шийку обробляють напилками з припуском на діаметр 0,15...0,20 мм. Необхідно надати їй необхідний діаметр, не виходячи за межі допустимої овальності. Складність полягає в тому, щоб зберегти паралельність шатунної шийки осі корінних шийок. В іншому випадку виникають неприпустимий перекіс поршня у втулці, небезпека його заклинювання або прилягання верхнього вкладиша не по всій довжині, його перевантаження і руйнування.

Для цього шийку обпилюють смужками по всій довжині шийки, поступово поширюючи їх на всю окружність. Прямолінійність шийки контролюють по лінійці, на просвіт, приклавши її до утворюючої шийки. Одночасно обробляють галтелі за шаблоном, виготовивши його за розмірами неушкодженої шийки.

Геометрію шийки постійно контролюють мікрометром. Обробку закінчують після досягнення припуску на діаметр для остаточного шліфування.

Остаточне доведення шийки в ремонтний розмір і надання їй дзеркальної поверхні забезпечують шліфуванням та поліруванням. Ці операції виконують за допомогою спеціального пристрою, принципова схема якого наведена на рис. 3.10.

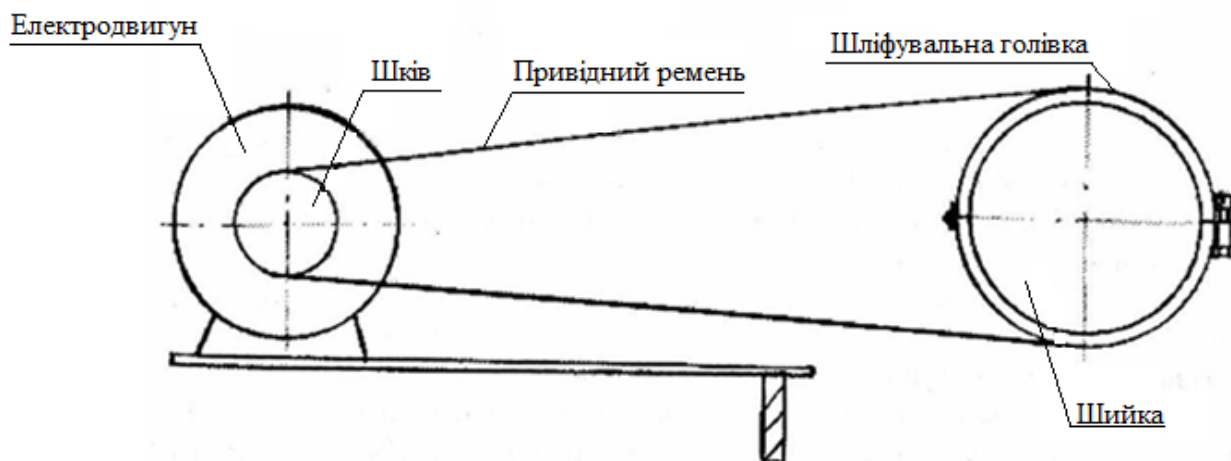


Рис. 3.10. Схема пристосування для шліфування шатунної шийки

Контроль і промивання масляних каналів колінчастого вала

У процесі експлуатації в масляних порожнинах колінчастого вала скупчуються грязьові відкладення і маслянисті викиди, що перешкоджають нормальному струменю масла, що викликають небезпеку порушення змащення підшипників. Тому при кожній зміні масла, а також після 4000...7000 год експлуатації (раз на рік) контролюють чистоту масляних каналів і за необхідності очищають.

Для очищення масляних каналів у корінних шийках демонтують трубопроводи підведення масла до корінних підшипників, розбирають корінні підшипники, залишаючи на місці нижні вкладиші крайніх підшипників, а також нижній вкладиш середнього підшипника. Віддають технологічні заглушки на масляних каналах. Відкладення та викиди видаляють продуванням масляних каналів стисненим повітрям. Якщо вони затверділи, їх розпушують дротом і видаляють промиванням каналів дизельним паливом.

Очищення масляних каналів у щоках і шатунних шийках виконують при демонтажі шатунно-поршневих груп.

Після закінчення монтажу масляну систему двигуна прокачують маслом для видалення грязьових скупчень. При цьому контролюють надходження масла до підшипників за характером випливаючого з них масла.

Після очищення масляних каналів при найближчому огляді всередині картера слід звернути увагу на герметичність заглушок. Відомі випадки, коли вони відкручувалися. Масло, витікаючи з отворів, менше надходило до підшипників, що викликало їх інтенсивний знос.

Просідання рамових шийок колінчастого вала вимірюють контрольною скобою і щупом на відстані 15...20 мм від галтелей після зняття кришок та верхніх вкладишів підшипників носової і кормової частин шийки (рис. 3.11). При цьому кривошип першого циліндра повинен бути поставлений у положення ВМТ.

Як правило, контрольні скоби поставляються разом з двигуном. Знявши кришки рамових підшипників, перевіряють стан кожної шийки вала. Для цього

скобу 1 ставлять над рамовою шийкою на опорну площину фундаментної рами 2 та вимірюють щупом зазор між скобою 3 і шийкою 4. Збільшення цієї відстані в порівнянні зі значенням, отриманим раніше, вказує на знос антифрикційного металу підшипників.

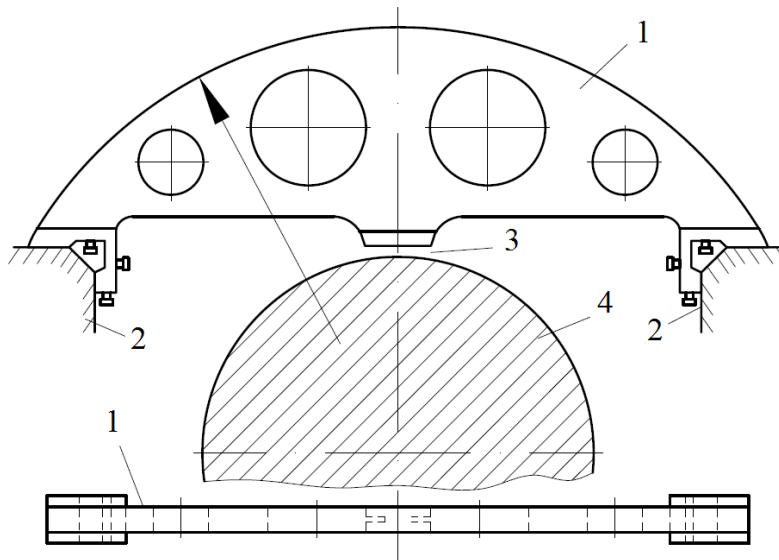


Рис. 3.11. Вимірювання просідання колінчастого вала скобою та щупом

Після демонтажу та ретельного очищення колінчастий вал уважно оглядають і перевіряють на відсутність тріщин, волосовин або задирок на поверхні.

3.3. Втулка робочого циліндра

Циліндрові втулки виготовляють з легованого чавуну або литої сталі, зазвичай цільними і рідше складеними (для деяких двигунів фірм «Фіат», «Зульцер» та ін.). Внутрішню частину втулки шліфують та іноді на неї наносять тонкий шар (0,05...0,08 мм) пористого хрому. Дзеркало сталеві втулки цементують, гартують токами високої частоти або азотують.

Виходи продувних і вихлопних вікон на дзеркалі втулки акуратно заокруглені, щоб забезпечити нормальну роботу поршневих кілець та захистити їх від надмірного зносу.

Для вільного радіального розширення втулки передбачають невеликий зазор у місцях її з'єднання з блоком, а у деяких двигунах використовують

чавунні чи сталеві проставкові кільця. Осьове (поздовжнє) переміщення втулки забезпечує сальникове ущільнення.

При огляді робочої поверхні втулок циліндрів необхідно звертати увагу на натертості, раковини, задирки, подряпини, тріщини на дзеркалі, а також на перемичках випускних та продувних вікон. При огляді поверхонь, що омиваються водою, буртів та посадкових поясків слід звертати увагу на корозійно-ерозійні руйнування. Дозволяється залишати без виведення натертості загальною площею не більше 50 см², глибиною 0,2 мм та довжиною 80 мм для циліндрів діаметром до 0,5 м. Для циліндрів більшого діаметра загальна площа натертостей збільшується пропорційно діаметру циліндра, а для меншого діаметра – зворотно-пропорційно. Дозволяється залишати без виведення окремі риски глибиною 0,5 мм та довжиною не більше 100 мм, але з обов'язковим притуплюванням гострих кромek. Зачищати циліндрові втулки на місці без випресування дозволяється дрібним карборундовим каменем або наждачним промасленим папером тільки в поперечному напрямку. Зачистка втулок у поздовжньому напрямку забороняється. Після зачистки треба перевірити чистоту отворів для змащення циліндрів і за необхідності прочистити їх доступним способом.

Втулки 4-тактних двигунів зношуються переважно у верхній частині. У двотактних двигунах, крім зносу у верхній частині, спостерігається також підвищений знос на перемичках між вихлопними вікнами, що пояснюється корозійною дією вихлопних газів, високою температурою стінок через відсутність охолодження, несприятливими умовами змащення, деформацією втулки. Якщо втулки в районі вікон охолоджуються, знос на перемичках між вихлопними вікнами значно зменшується.

Робоча поверхня втулки може набути конусної, бочкоподібної та еліптичної форм. Найбільший знос, як правило, спостерігається у верхній її частині в районі між першим і другим поршневыми кільцями при положенні поршня у ВМТ. Вигляд зносу нагадує криву зміни тиску газів у циліндрі двигуна, дещо відрізняється від неї лише у верхній частині втулки.

Підвищений знос втулки у верхній частині пояснюється значним питомим тиском між першим ущільнювальним поршневым кільцем і стінкою циліндра, підвищеним тепловим навантаженням та погіршенням змащення в цьому районі, а також високою корозійною дією продуктів згоряння.

Характер зношування втулки циліндра в площині обертання кривошипа і в площині осі циліндрів приблизно однаковий, проте абсолютний знос при правильному centruванні деталей руху в площині обертання кривошипа зазвичай більший. Це викликає еліптичність внутрішньої поверхні втулки в її поперечному перерізі. Середній нормальний знос втулки за 1000 год роботи двигуна залежно від його конструкції, ступеня швидкохідності складає 0,02...0,21 мм.

У період пуску і прогріву двигуна циліндрова втулка працює у важких умовах. Основною причиною інтенсивного зносу втулки в пусковий період є хімічна корозія, що викликається кислотами, які утворюються при згорянні палива в циліндрі. Вода, необхідна для утворення кислот, знаходиться у вигляді пари в продуктах згоряння. Якщо температура води на виході при роботі двигуна в усталеному режимі складає 313...318 К, то в цих умовах хімічна корозія значно зменшується в порівнянні з пусковим періодом, проте повністю не усувається. На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що не можна допускати зниження температури стінок циліндра до температури точки роси кислотних парів.

Інший спосіб боротьби з хімічної корозією – нейтралізація утворення безпосередньо на стінці циліндра розчинів кислот спеціальними циліндровими маслами з присадками.

Крім нагару в циліндрі утворюються відкладення у вигляді лакової плівки (липкої речовини), що покриває район ущільнення тронка поршня, що ускладнює рух кілець і викликає «зависання». Ця плівка утворюється з масла в результаті ущільнення і полімеризації вуглецевих з'єднань при їх термічному розпаді. Кількість лакових відкладень мало залежить від сорту масла і визначається головним чином температурним режимом двигуна. Ці

відкладення спільно з продуктами неповного згоряння палива призводять до прискорення абразивного зношування втулки циліндра, поршня і поршневих кілець.

Кількість масла, що подається на поверхню циліндрової втулки, визначається для кожного конкретного типу ДВЗ залежно від розмірів циліндра, системи газообміну, розташування масляних штуцерів тощо. Недостатнє надходження масла на поверхню циліндричної втулки може призвести до напівсухого тертя. У цьому випадку у верхній частині втулки, де температура стінки висока, знос може досягти великої величини.

Надмірне змащення також небажане, тому що при цьому в камері згоряння інтенсивно утворюється суміш нагару та масла, що збільшує теплову завантаженість на циліндр і його абразивний знос.

Найбільший допустимий знос втулки для тронкового двигуна дорівнює приблизно 0,5 %, а для малообертових крейцкопфних – 0,8 % від діаметра циліндра.

До підвищеного зносу втулки може призвести вода, що потрапила в циліндр із продувальним повітрям або через ущільнення втулок. Вода погіршує умови змащення циліндрів і спричиняє їх інтенсивний знос. У разі підвищеного зносу деталей відпрацьоване циліндрове масло набуває темного кольору. Якщо це відпрацьоване масло нанести на аркуш чистого паперу і наблизити до нього постійний магніт, то за наявності в маслі металу, лист притягнеться до магніту, й це буде свідчити про підвищений знос втулки і кілець.

Крім зносу від стирання циліндрові втулки можуть мати загальну деформацію, тріщини і задирки робочої поверхні, корозійні та кавітаційні руйнування охолоджуючої поверхні.

Тріщини можуть виникати у втулці через температурні деформації в районі вікон і заїдання поршня. При цьому спостерігається підвищений знос поршневих кілець, а іноді – їх поломка.

Задирки втулки і поршня в двотактному двигуні виникають у результаті сухого тертя на окремих ділянках, підвищення температури у зоні тертя і

внаслідок перегріву двигуна при загорянні відпрацьованого масла в підпоршневій порожнині. Причинами загоряння масла є неправильне його дозування на циліндро-поршневу групу, низька якість компресійних кілець і незадовільні очистка та вентиляція підпоршневої порожнини.

До ознак появи тріщин у втулці належать:

- підвищення температури охолоджуючої води на виході з пошкодженого циліндра;
- різання коливання тиску охолоджуючої води, підвищений тиск води на всмоктуванні;
- інтенсивна поява повітряних бульбашок в оглядових контрольних стеклах системи охолодження.

Циліндричну втулку з тріщиною необхідно замінити. Якщо цього зробити не можна, пошкоджений циліндр виключають з роботи.

При експлуатації двигунів бувають випадки, коли на втулках і блоках з боку охолодження з'являються місцеві руйнування, схожі на лінійні порожнечі і раковини, що являють собою плями великих розмірів, з найбільшою глибиною в центрі. Глибина раковин може досягати 6...7 мм, в окремих випадках ураження бувають наскрізними.

Причинами зазначених руйнувань є електрохімічна корозія та кавітаційна ерозія. До факторів, що обумовлюють електрохімічної корозії, відносять:

- корозійну активність охолоджуючої води, яка визначається її складом, застосовуваними антифризами, температурою, швидкістю циркуляції і т. д.;
- дію гальванопар у результаті контакту різнорідних металів або металу з накипом.

Установлено, що присутність в охолоджуючій воді розчиненого кисню або кислоти призводить до корозії охолоджуючої поверхні деталей двигуна і звуження проходів води через відкладення на них продуктів корозії. У разі виявлення твердого накипу порожнини охолодження блока циліндрів повинні бути піддані хімічному очищенню. Після очищення внутрішніх стінок та зовнішніх поверхонь втулок необхідно провести їх ретельний огляд для

визначення глибини корозії і кавітаційної ерозії. При значних корозії та кавітаційній ерозії втулки слід замінити.

При нагріванні води із солями тимчасової жорсткості двовуглекислий калій і магній розкладаються з утворенням карбонатів і вуглекислоти, які спричиняють посилення корозії у зв'язку з виникненням місцевих гальванопар (у результаті зміни потенціалу металу під накипом). До посилення корозії призводить і забруднення охолоджуючої води маслом за рахунок дії гальванопар, які виникають у результаті різниці потенціалів на ділянках поверхонь, покритих та непокритих масляною плівкою.

Руйнівну дію гальванопар можна значно зменшити встановленням протекторів на найбільш уразливих ділянках, протектори необхідно розташовувати так, щоб напрямок руху іонів збігався з напрямком потоку охолоджуючої рідини. Для МОД зазвичай застосовують цинкові протектори, для ВОД – магнітні.

Огляд протекторів, установлених у порожнинах охолодження блока циліндрів, а також огляд та хімічне очищення водяного простору блока повинні проводитися в терміни, зазначені в інструкції підприємства-виробника. Кріплення цинкових протекторів має здійснюватися сталевими болтами або шпильками. Відсутність зносу протектора свідчить про порушення електричного контакту опорної поверхні протектора з поверхнею, що захищається, або невідповідність матеріалу протектора своєму призначенню. Для забезпечення надійного контакту треба зачистити до блиску опорні поверхні протекторів і болтів кріплення. Протектори, зношені більше ніж на 50 %, необхідно замінити. Розміри протектора для перевірки на знос слід визначати після очищення від нерозчинних продуктів корозії.

До найбільш серйозних пошкоджень деталей, що взаємодіють з охолоджуючою водою, відносять кавітаційні руйнування. Основну роль у появі кавітаційних руйнувань відводять вібрації втулок. Інтенсивність руйнувань залежить від температури і швидкості охолоджуючої води та форми розподілу потоку.

До ефективних заходів щодо запобігання електрохімічній корозії і кавітаційному руйнуванню належать:

- регулярне чищення порожнин охолодження від продуктів корозії і накипу, покриття поверхонь антикорозійним складом;
- зменшення вібрації втулок шляхом забезпечення мінімального зазору між поршнем і втулкою;
- хромування втулки;
- установлення протекторів;
- додавання в охолоджуючу воду інгібіторів (нітрату натрію, хромату калію та ін.).

Коли знос втулки досягає гранично-допустимої величини (0,4...0,8 % від діаметра), підтримувати задовільні умови роботи циліндра стає важко, втулку слід замінити.

Для випресовування втулки використовують спеціальні пристрої, що поставляються заводом-виробником. Після виймання втулку і блок очищають від іржі, накипу та інших відкладень.

Опорні фланці втулки притирають до блока. Якщо в двигуні застосовують префіксальні кільця, то площини прилягання останніх притирають до блока і фланця втулки. Правильно посаджена втулка не повинна мати зазор між опорними поверхнями (щуп товщиною 0,03...0,04 мм не має проходити між ними). Кільцевий зазор у нижній частині між кільцем ущільнювача блока і втулки має бути рівномірним.

Знос циліндрових втулок виявляють шляхом вимірювання мікрометричним штихмасом у трьох поясах I, II, III (рис. 3.12). Пояс I знаходиться між першим і другим компресійними кільцями при положенні поршня у ВМТ. Пояс II відповідає району осі поршневого пальця при положенні поршня у ВМТ. Пояс III знаходиться на 5...10 мм вище від нижнього маслоснімного кільця, коли поршень знаходиться у НМТ.

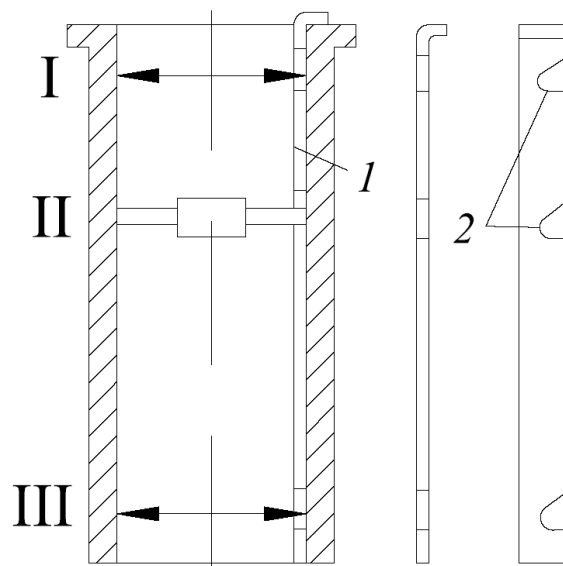


Рис. 3.12. Пояси вимірювання циліндрової втулки
і шаблон, який застосовується при вимірюванні

Для того щоб вимірювання були зроблені в потрібних поясах, застосовують шаблон *1*, показаний на рис. 3.12 справа. Шаблон являє собою планку з листової сталі товщиною 3...4 мм. Він загнутий у верхній частині та має вирізи *2*, кількість і місце яких відповідає поясам вимірювання. Для того щоб здійснити вимірювання за двома взаємно перпендикулярними площинами, місце установлення шаблону фіксують рисками на фланці циліндричної втулки. За результатами вимірювань визначають знос і овальність втулок. При граничних зносах втулки замінюють. Граничний знос у поясі I 0,65...1,10 мм, овальність 0,35...0,50 мм. Циліндрову втулку також замінюють, якщо вона має тріщину або глибокі задирки. Дрібні задирки і поздовжні риси зашліфовують дрібним карборундовим каменем або наждачним промасленим папером тільки в поперечному напрямку (зачищати задирки в поздовжньому напрямку забороняється). При цьому перевіряють чистоту масляних каналів.

Перед установленням втулки внутрішні поверхні заоболонкового простору фарбують водостійкою фарбою, крім насадок поясків, які змащують жиром або рідким милом.

Перед запресуванням втулки на місце рекомендується її опустити в циліндр без гумових кілець ущільнювачів для перевірки посадки втулки на опорній поверхні блока та ущільнююче червономідне кільце.

При правильному розмірі червономідного кільця втулка без ущільнюючих гумових кілець сідає на місце при легкому погойдуванні. На пояску по всьому колу будуть видні сліди зіткнення з блоком. Якщо таких слідів немає, висоту пояска необхідно підняти, прочеканивши його в середній частині. Втулку не можна ставити на місце з великим зусиллям. Якщо вона сідає туго, треба її підняти і шабером зняти виступні місця на червономідному кільці.

На підготовлену для посадки в блок втулку необхідно надіти гумові кільця ущільнювачів, змащені жиром, милом або вазеліном. Гумові кільця повинні одягатися на втулку з невеликим натягом і сидіти в канавках, щільно облягаючи втулку, дуже важливо, щоб гумові кільця не повністю заповнювали свої канавки і не були сильно стиснені на них. Кільце має виступати над поверхнею втулки не більше ніж на 1,0 мм.

Після підготовки втулку орієнтують по циліндровому блоку. Необхідно стежити за тим, щоб не змістити впускні і продувні вікна по відношенню до блока, а також отвори для штуцерів. Для полегшення цієї роботи на фланці втулки і на блоці є риси.

Остаточне встановлення втулки виконують затягуванням циліндричної кришки або за допомогою спеціального пристрою. Потім обміряють втулку в районі посадкових місць, щоб переконатися, що втулка сіла нормально і не відбулося її стиснення. Зменшення діаметра втулки після запресовування більше ніж на 0,02...0,03 мм не допускається.

Після постановки втулки блок опресовують водою на тиск 0,3...0,8 МПа. Перед гідравлічним випробуванням блока циліндрів закріплюють на місці штатними шпильками, також повинні бути поставлені на місце масляні штуцери. Можливі пропуски води спостерігають по опорному фланцю втулки,

внутрішній поверхні втулки та через продувний і вихлопний колектори в районі вікон.

Перевірка стану поршня щодо осі втулки в трьох площинах поршня при стисненні повзуна дає уявлення про те, яке положення зайняла втулка щодо осі циліндра і поршня.

3.4. Кришка робочого циліндра

Кришка робочого циліндра закриває та ущільнює робочий циліндр і утворює разом з поршнем та втулкою камеру згоряння, в ній розміщені елементи систем, що забезпечують роботу двигуна. На кришку діють зусилля зтяжки шпильок і змінного тиску газів, а також високе теплове навантаження. Тому кришка повинна мати достатні міцність і жорсткість, а для підтримки необхідного температурного рівня елементів має охолоджуватися.

У більшості суднових ДВЗ кришка має коробчату конструкцію, утворену верхнім і нижнім (вогневим) днищами, сполученими вертикальними стінками. Форма кришки визначається типом двигуна, конструкцією камери згоряння, кількістю робочих клапанів, формою каналів до них, розташуванням форсунок. Для ВОД кришки часто виконують блоковими на весь двигун або для групи в 2–3 циліндри. Кришки СОД і МОД з умов виготовлення та зручності монтажу завжди виконують індивідуальними. Останні можуть мати в плані квадратну, шести- або восьмигранну та круглу форму.

Кришки двотактних двигунів з контурною продувкою мають порівняно просту конструкцію, оскільки в них відсутні випускні клапани і канали. При прямоструминно-клапанній продувці випускні клапани не тільки ускладнюють конструкцію кришки, але і підвищують її теплову напруженість. Кришки сучасних МОД з такою продувкою зазвичай мають один випускний клапан, СОД – два або чотири.

Кришки чотиритактних СОД і ВОД мають два або чотири робочих клапани з каналами до них складної конфігурації. У цьому випадку будуть спостерігатися нерівномірне нагрівання і підвищена температура елементів

кришки. У ВОД з розділеним сумішоутворенням конструкція кришки ускладнена через розміщення в ній вихрової камери або передкамери. Вогневі днища багатоклапанних кришок завжди виконують плоскими.

Крім робочих клапанів у кришках поміщають форсунку, індикаторний кран (СОД і МОД), а в двигунах, що запускаються стисненим повітрям, – пусковий клапан. На кришках двигунів з D більше 300 мм повинен бути встановлений запобіжний клапан.

Робота з ремонту циліндрових кришок зводиться до наступного:

- очищення поверхні, дотичної з газами, від нагару і промивання гасом;
- очищення від накипу й бруду водяного простору;
- заміни зруйнованих цинкових протекторів новими;
- огляду кришки на відсутність тріщин і обгорання з боку камери згоряння.

При огляді кришок необхідно звертати увагу на можливі дефекти: тріщини та раковини на зовнішніх поверхнях; відкладення накипу і корозійних продуктів на охолоджуваних поверхнях; неплотинність роз'єму складових кришок; жолоблення, знос сідел та втулок клапанів; пошкодження посадкових місць форсунок і клапанів; нагароутворення, обгорання, вм'ятини й подряпини на посадкових місцях клапанів і форсунок; прогоряння, нерівності, пошкодження прокладок й опорних поверхонь ущільнюючих буртів; обрив шпильок. Огляд цинкових протекторів та кислотне очищення заоболонкового простору кришок мають проводитися в терміни, зазначені в інструкції з експлуатації двигуна. Кріплення цинкових протекторів проводиться тільки сталевими болтами або шпильками.

Ступінь обгорання визначають за шаблоном, виготовленим з листової сталі. Шаблон прикладають до днища та вимірюють щупом зазор між ним і днищем. За величиною зазору судять про обгорання. Для виявлення тріщин вдаються до гідравлічних випробувань на тиск 0,5...0,6 МПа. Чавунні кришки з обгорілими днищами і за наявності тріщин замінюють новими.

Не виявивши дефектів, приступають до притирання впускних, випускних, пускових і запобіжних клапанів та корпусів форсунок.

При розбиранні впускних і випускних клапанів треба звернути увагу на стан штока, його втулки та робочої поверхні, а також на посадкове місце клапана в кришці циліндра.

Перед притиранням сідла клапани оглядають, щоб переконатися в тому, що проточування для виведення раковин і забоїн не потрібне. Якщо є глибокі раковини або забоїни, клапани проточують на верстаті, сідла виправляють шарошкою (ручною фрезею, рис. 3.13).

Притирання клапанів роблять наступним чином: змазують сідло притиральною пастою та обертають клапан на півоберту то в один, то в інший бік, одночасно притискаючи тертьові частини і слідкуючи за тим, щоб не було перекосу. Клапан обертають за допомогою пристрою (рис. 3.14) або коловоротом.

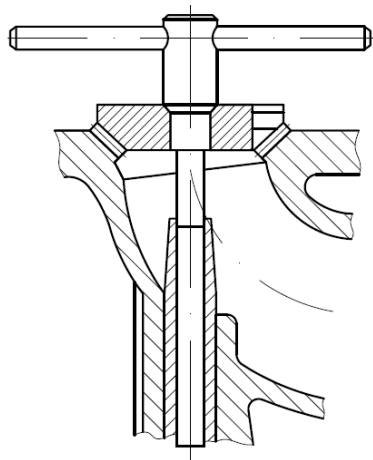


Рис. 3.13. Шарошка для обробки клапанних сідел

Притирання продовжується до тих пір, поки по всій окружності не утворюється рівний матовий пояс. Остаточне притирання здійснюють пастою ДОІ, розведеною на гасі. Закінчення притирання визначають так: витирають насухо поверхні, що притираються, і роблять поперек пояса 12...16 рисок простим м'яким олівцем; ставлять клапан на місце та повертають на 1/4 оберту. Якщо всі риси стерлися, значить притирання проведене добре. Якість притирання визначають також і гасом. Невелику кількість гасу наливають

зсередини і спостерігають – якщо через 5...10 хв гас не проник через притерте ущільнення, притирання хороше.

Щільність клапанів перевіряється подачею стисненого повітря під тиском 0,5...0,6 МПа по гнучкому шлангу через індикаторний кран при положенні поршня у ВМТ та перевіркою на слух виходу повітря в патрубки або прокручуванням колінчастого вала при закритому індикаторному крані у циліндрі, що перевіряється.

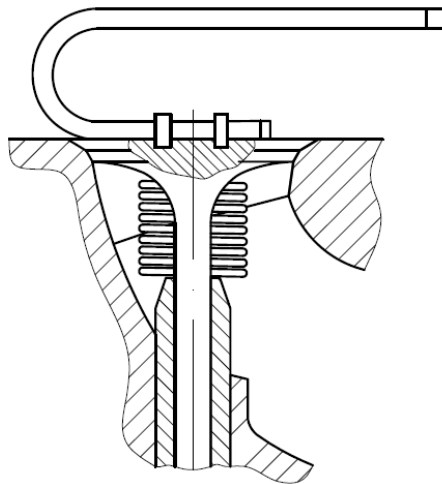


Рис. 3.14. Пристрій для притирання клапанів

При ремонті кришок доводиться змінювати напрямні втулки клапанів. Знос напрямних втулок випускних клапанів при роботі двигуна визначають за димленням, при ремонті – вимірюванням. Граничний зазор між штоком клапана і напрямною втулкою дорівнює $0,015 d$, де d – діаметр штока клапана.

Центруючий бурт кришки перевіряють за плитою на фарбу. Пливу фарбують фарбою. Кришку буртом кладуть на плиту і пересувають по ній. Забарвлення бурту повинне бути рівним, щуп 0,05 мм не має проходити між плитою і буртом. При забиттях і підгоряннях посадкового бурту кришка бракується.

При встановленні нової кришки циліндра слід обов'язково заміряти висоту камери стиснення методом, рекомендованим інструкцією з експлуатації двигуна. За відсутності таких рекомендацій замір висоти камери стиснення

повинен проводитися за допомогою двох свинцевих відбитків одночасно в напрямку «ніс» та «корма». Висота камери стиснення може регулюватися:

- зміною товщини компресійної прокладки (у двигунів з окремою нижньою головкою шатуна);
- зменшенням висоти ущільнюючого бурту кришки;
- зміною товщини прокладок під ущільнюючим буртом кришки.

3.5. Поршень

Для попередження аварійних пошкоджень та зносів поршні підлягають періодичній ревізії згідно з планом-графіком профілактичних оглядів, розробленим на основі рекомендацій заводу-виробника. Поршні допоміжних двигунів оглядають через 1500...3000 год, головних – через 3000...6000 год роботи.

Огляд і очищення поршня виконують після виймання його з циліндра й відділення шатуна. Перед очищенням поршня від нагару і сажі необхідно попередньо його оглянути. Поршень повинен мати одноманітну матову поверхню. Наявність освітлень і натертих місць вказує на погане прилягання поршня до робочої втулки або його перекіс. Перекоси можуть виникати через неправильне припасування шатунного підшипника. Перекіс поршня має бути усунутий при монтажі.

При ревізії поршень ретельно очищають від нагару і сажі, оглядають, проводять необхідні вимірювання, всі виявлені дефекти усувають.

До дефектів, що найбільш часто зустрічаються, належать: тріщини на головках, задирки та заїдання поршня, знос напрямної частини поршня, знос поршневих канавок, знос і поломка поршневого пальця.

Тріщини можуть бути поверхневі та наскрізні, на днищі й тронці. Поява тріщин на днищі поршня можлива при значному тепловому навантаженні; перегріві головки через несправність системи охолодження, випадковому перекритті клапанів охолодження або значних відкладеннях у порожнині охолодження; швидкому навантаженні непрогрітого двигуна; незадовільному

регулюванні процесу згоряння палива в циліндрі; порушенні кута розпилювання і далекобійності струменя палива при впорскуванні.

За наявності наскрізних тріщин відпрацьовані гази проникають в охолоджуючу порожнину головки, перегрівають охолоджуючу рідину і порушують нормальну циркуляцію в системі охолодження поршня. Коли тиск газів у циліндрі стає нижчий тиску охолоджуючої рідини, навпаки, рідина протікає в циліндр по цих тріщинах. При цьому особливо небезпечна ситуація складається, якщо як охолоджуюча рідина використовується масло. Масло, потрапивши в циліндр, частково згоряє разом з паливом, а частково викидається у випускний і продувний колектори. Якщо масло надходить у циліндр у великій кількості, то в результаті передчасних спалахів виникають важкі глухі удари, що може призвести до руйнування поршня.

Ознакою появи в газовому тракті незгорілого масла є наявність темно-блакитного диму у випускних газах. Дефектний циліндр визначають шляхом відкриття індикаторних кранів. При попаданні масла в циліндр температура випускних газів у ньому підвищується. За перших же ознак появи наскрізних тріщин двигун повинен бути зупинений.

Тріщини на тронці виникають при сильних заїданнях і задирках поршня внаслідок різних причин: перевантаження двигуна; порушення охолодження; поломки поршневих кілець; перекоси деталей групи руху; недостатній зазор між поршнем і втулкою; нагрівання поршневих кілець; значне нагароутворення в циліндрі; деформації робочої втулки; швидке навантаження непрогрітого двигуна; недостатність або повне припинення змащення циліндра через штуцери; недостатня обкатка двигуна й под.

Момент виникнення задирки поршня зафіксувати дуже важко, зазвичай виявляють лише його наслідки, однак при уважному спостереженні за працюючим двигуном виявити деякі ознаки появи задирки все ж можна. Так, при заїданні та задирках підвищується температура охолоджуючої води в аварійному циліндрі, виникає швидко наростаючий стук у ньому, з'являється

дим у картері, значно зменшується частота обертання колінчастого вала двигуна.

До появи наскрізних тріщин у головці може призвести й обгорання днища поршня в результаті його перегріву і впливу газової корозії та ерозії. Перегрів днища викликає відпуск матеріалу, погіршення його механічних властивостей і втрату твердості.

При одночасному впливі перегріву, корозії і змінних навантажень на головці поршня руйнується зовнішній шар металу, днище стоншується і з'являються тріщини. Однією з основних причин обгорання головки поршня є порушення кута розпилювання і далекобійності струменя палива при впорскуванні палива.

Поршні, що мають тріщини, значні прогорання днища, облом тронка, іржу на зовнішній робочій поверхні, глибокі задирки і риски, замінюють новими. За наявності на поршні неглибоких натирань, задирків та рисок дозволяється їх зашліфувати поперек осі поршня. Напрацювання, що утворюються в канавках поршнів, повинні бути видалені проточуванням. При збільшенні канавок по висоті, що перевищує норми, встановлені інструкцією з експлуатації, старі кільця мають бути замінені новими зі збільшеним розміром по висоті.

Для визначення величини зносу поршня обмірюють його тронкову частину, оскільки головка поршня зазвичай не стирається. Якщо результати обміру покажуть, що знос перевищує допустимі межі, поршень замінюють або ремонтують.

Зазор між тронком поршня і втулкою вимірюють щупом при знятті поршневих кілець за двома взаємно перпендикулярними напрямками у верхній та нижній кромках поршня при його положенні у верхній і нижній мертвих точках. При виявленні граничного зносу чи зазору між поршнем і циліндровою втулкою поршень бракують. Для чавунних поршнів монтажний зазор між поршнем і втулкою дорівнює 0,12...0,20 мм, граничний – 0,35...0,80.

При експлуатації кільцеві канавки розбиваються; їхня форма з прямокутної стає трапецієподібною. Цей знос виникає під дією сил тертя від тиску газів на кільці і при зміні напрямку руху поршня. Вироблення канавок тягне за собою пропуск газів у картері і зниження тиску стиснення у циліндрі. Знос канавок по висоті визначають у декількох точках за колом, заміряючи для цього зазор між еталонним кільцем, надітим на поршень, і стінкою канавки. Дефектні канавки підганяють під кільця ремонтного розміру, наплавляють (сталеві поршні), а потім проточують канавки під номінальний розмір.

Для демонтажу поршня відкривають люки картера, знімають нижню половину шатунного підшипника і поворотом колінчастого вала встановлюють поршень у ВМТ. До поршня приєднують монтажну скобу 1 (рис. 3.15) і за допомогою підйомного пристрою виймають поршень разом із шатуном. Денце поршня очищають від нагару, кільця роблять рухомими. При сильному закоксуванні кільця поршень протягом години витримують у лужному розчині (на 10 л води 100 г кальцинованої соди, 100 г зеленого мила, 100 рідкого скла, 10 г хромпіка). Після очищення поршень промивають гасом і сушать.

Якщо підсумувати, то до характерних дефектів поршнів належать: знос канавок під поршневі кільця; знос отворів під поршневий палець; знос на еліптичність і конусність головки й тронка поршня; утворення рисок і задирок на їх поверхні; обгорання денця поршня й тріщини на поверхні головки. Поршні з тріщинами і значним обгоранням денця бракуються. Ступінь обгорання визначається шаблоном з листової сталі й щупом.

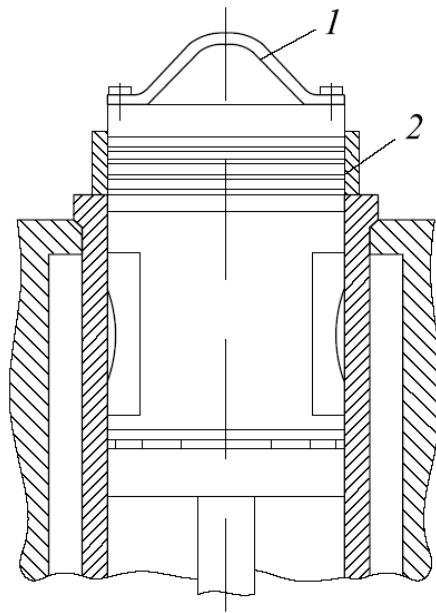


Рис. 3.15. Пристрій для демонтажу і монтажу поршня:

1 – монтажна скоба; *2* – монтажне кільце

Еліптичність, конусність поверхонь поршня, знос канавок під кільця та отвору під палець визначають вимірюваннями. Для того щоб визначити знос поршневого пальця, його відпресовують за допомогою пристрою, зображеного на рис. 3.16.

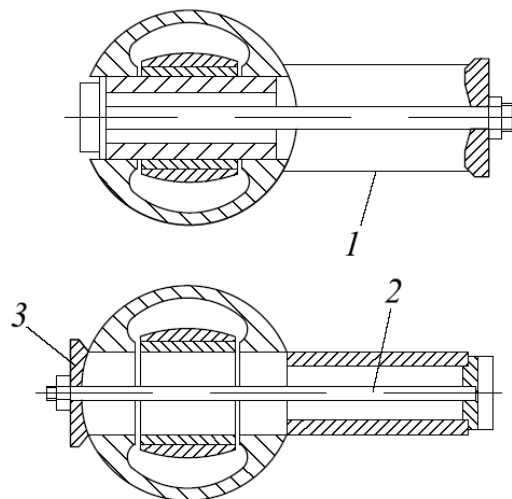


Рис. 3.16. Пристрій для демонтажу та монтажу поршневого пальця

Навертаючи гайку *2* на болт завдяки втулці *1* і упору *3*, палець випресовують або запресовують. Пальці вимірюють мікрометром у двох взаємно перпендикулярних площинах: по вертикалі (в робочій площині) і

горизонталі, чотирьох поясах (два пояси розташовуються в бобишках і два – в районі втулки верхньої головки шатуна).

При тугій посадці поршневого пальця для демонтажу останнього рекомендується нагрівати поршень у маслі або іншим способом до температури 100 °С. Забороняється нагрівати поршень для демонтажу понад 100 °С.

При огляді поршневих пальців необхідно звертати увагу на задирки, натирання, вм'ятини, тріщини, викришування цементованого шару. Після обмірювань поршневих пальців і внутрішніх діаметрів бобишок поршнів слід визначити, чи відповідає посадка (зазор або натяг) пальця в поршні рекомендованій інструкцією підприємства-виробника. Для визначення величини зносу поршневих пальців (за діаметром, овальністю та конусністю) проводяться вимірювання їхніх діаметрів у декількох поперечних перерізах у двох взаємно перпендикулярних напрямках паралельно й перпендикулярно до осі поршня.

При ремонті поршня основною операцією, яку виконують на судні, є заміна поршневих кілець. При значному закоксуванні поршневих кілець необхідно для видалення нагару витримувати поршень у спеціальному розчині протягом 2...3 год за температури 80...95 °С з наступною механічною очисткою. Рекомендовані склади розчинів наведені у табл. 3.1. Зняття кілець з поршня має проводитися тільки за допомогою спеціальних пристосувань.

Таблиця 3.1. Склади розчинів для видалення нагару з деталей (кг/1 т води)

Компоненти розчину	З алюмінієвого сплаву				Із чорних сплавів		
	Номер складу (умовно)						
	1	2	3	4	1	2	3
Їдкий натр	—	—	—	—	25	100	25
Кальцинована сода	18,5	20	10	10	33	—	31
Рідке скло	8,5	8,0	—	—	1,5	—	10
Мило	10	10	100	—	8,5	—	8
Хромпik	—	5	5	3	—	5	5

Поршневі кільця належать до деталей, що швидко зношуються. Поршневі кільця під час експлуатації двигуна зношуються, втрачають пружність, коробляться і ламаються. Знос кілець відбувається на поверхні зіткнення з опорними площинами канавок поршня і по зовнішній циліндричній поверхні, яка треться по втулці. Найшвидше зношується перше кільце, що знаходилося в зоні високих температур і тисків.

У результаті зносу збільшуються зазори в замку кільця і канавці поршня. Підвищений знос кілець призводить до порушення герметичності робочого простору в циліндрі й прориву газів між тронком та втулкою. Відпрацьовані гази, що прорвалися, руйнують масляну плівку і викликають перегрів кілець, прискорюючи їх знос.

Недостатній зазор між кільцем та канавкою поршня по висоті або надлишок масла призводить до пригорання кілець. Такі кільця погано прилягають до поверхні втулки, сильно перегріваються, коробляться, втрачають пружність і перестають виконувати свої функції. Нагар, який накопичився на кільцях, потрапляє між поршнем і втулкою, викликає підвищений знос, перегрів, заїдання й задирки деталей циліндро-поршневої групи.

До ознак надмірного зносу або заїдання ущільнюючих кілець відносять: зменшення тиску газів у циліндрі наприкінці стиснення; пропуск газів у картер; зниження потужності двигуна.

У разі значного зносу маслоснімних кілець підвищується витрата циркуляційного масла, випускні гази набувають темно-блакитного кольору. Основним зносом маслоснімних кілець є знос пояска. У кільця висотою 6 мм прилеглий поясок дорівнює 2 мм, при збільшенні пояска в два рази кільце бракується (рис. 3.17).

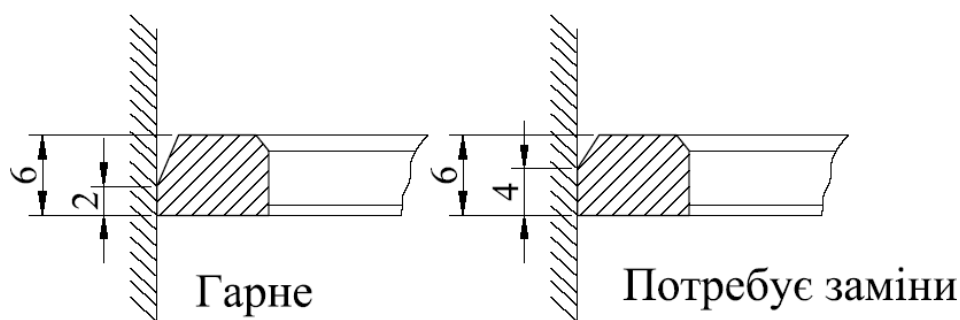


Рис. 3.17. Визначення зносу маслоснімного кільця

Знос кільця по колу визначають за зазором у замках і поршневих канавках. Зазор у замках заміряють безпосередньо в циліндровій втулці при вийнятому поршні. Для цього кільця по черзі заводять у найменш зношену (верхню) частину втулки. Установивши кільце строго перпендикулярно до осі циліндра і притримуючи його рукою, щупом визначають фактичний зазор у замку. Для двигуна в експлуатації допускають збільшення зазору в замку в два рази в порівнянні з нормальним монтажним зазором. Допустимі норми теплових зазорів у стику кільця наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Допустимі норми теплових зазорів поршневих кілець

Діаметр циліндра, мм	Тепловий зазор, мм	
	монтажний	на межі
До 150	0,4...0,6	3,0
151...200	0,7...0,9	3,5
Більше 200	1,0...1,3	4,0

Величину стирання кільця по висоті визначають за допомогою мікрометричної скоби. При зменшенні висоти на 0,10...0,15 мм кільця замінюють. Зазор між кільцем і робочою поверхнею вимірюють щупом, перекочуючи кільце по канавці (цей зазор не повинен перевищувати подвійного монтажного розміру). Якщо зазор перевищує $0,04...0,06h$ (де h – висота кільця), кільця замінюють.

Правильність геометричної форми кільця перевіряють у неробочій частині втулки на світло. Кільце 2 вставляють у нову циліндричну втулку 1

(рис. 3.18), знизу світять лампою, а зверху дивляться. Зазор у місці найбільшого просвіту не має перевищувати 0,03 мм.

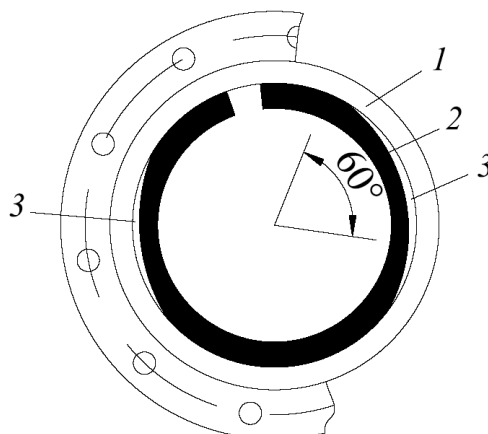


Рис. 3.18. Визначення порушення форми кільця

Якщо є безперервний просвіт 3 більше 60° або якщо в просвіт проходить щуп 0,1 мм, кільце бракується.

Зазор у замку в поршневих кільцях перевіряється щупом при встановленні кільця в найменш зношеній (нижній) частині втулки або спеціально виготовленому калібрі, виконаному під розмір номінального діаметра втулки циліндра.

Пружність кільця перевіряється за допомогою спеціального пристосування або шляхом порівняння зазорів у замку кільця у вільному стані. Різниця зазорів у замку нового та знятого з поршня кілець у вільному стані не має перевищувати 5 % зазору в замку нового кільця.

Зазор у замку до стиснення і після нього повинен бути приблизно однаковий. Кільце бракується, якщо при розведенні його кінців на 20 % від його зовнішнього діаметра з подальшим звільненням залишкова деформація перевищує 10 %. У суднових умовах кільце поміщають у втулку, якщо воно не опускається під дією сили тяжіння, пружність вважається допустимою.

Випробування кілець на короблення проводиться на перевірній плиті. Пливу фарбують, кладуть на неї кільце і зрушують. Під дією власної ваги забарвлення кільця повинно бути рівномірним, щуп 0,05...0,08 мм не має проходити між кільцем і плитою.

Кільця, які мають задирки, сліди пропусків газу більше ніж на 1/4 кола, непридатні для роботи.

На практиці часто пошкоджені верхні кільця ущільнювачів замінюють приробленими наступними за ними кільцями.

При встановленні кільця на поршень необхідно виконувати наступні вимоги:

- кромки поршневих кілець мають бути запилені, а самі кільця добре підігнані по пазам;
- замки кілець повинні бути запилені таким чином, щоб при роботі їхні кінці, проходячи повз продувні та випускні вікна, не вдарялися по кромках, які, у свою чергу, також мають бути округлені;
- установлення кілець з гострими кромками не допускається;
- кільце треба ставити в ту канавку, в якій воно перебувало;
- маслоснімні кільця потрібно ставити прилеглим пояском вниз, як показано на рис. 3.17;
- замки кілець треба розмістити на 120° один відносно одного;
- поршень слід помістити в свій циліндр.

Монтажне кільце 2 (див. рис. 3.15) полегшує постановку поршня в циліндр. Зняття та встановлення кілець на місце виконуються за допомогою пристроїв, показаних на рис. 3.19.

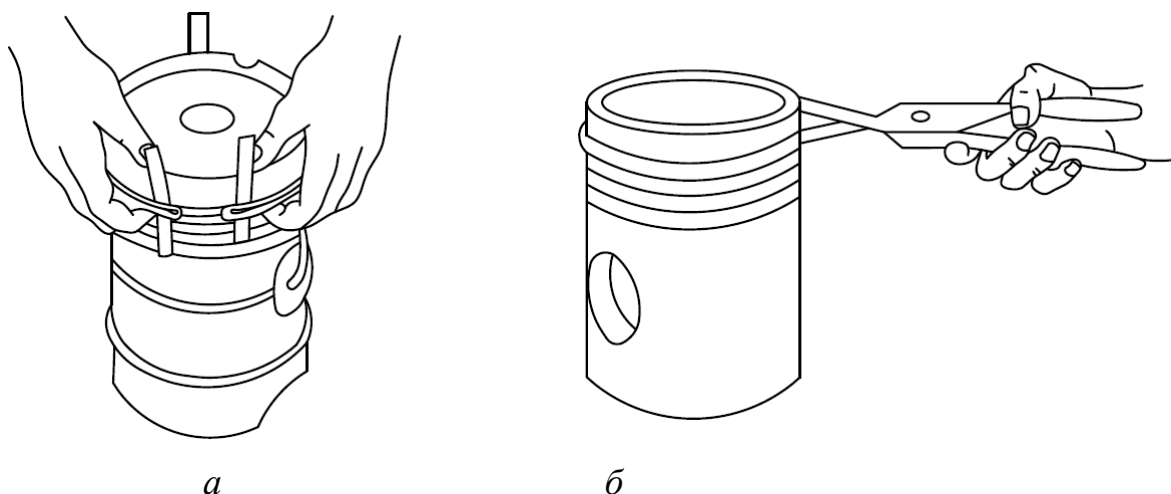


Рис. 3.19. Зняття і надягання поршневих кілець на поршні:

а – за допомогою пластинок; *б* – спеціальними кліщами

Хромовані поршневі кільця повинні замінюватися новими за наявності слідів викришування хрому або в тому випадку, коли хром зноситься більше ніж на 1/4 від робочої поверхні кільця. Установлення нових хромованих кілець можна робити тільки за нової або реставрованої циліндрової втулки, що має правильну геометрію циліндричної частини. У протилежному випадку зношені або пошкоджені хромовані кільця мають замінюватися нехромованими. Маслознімні кільця, висота циліндричного пояса яких збільшилася вдвічі у порівнянні з номінальним розміром, підлягають заміні новими. За відсутності нових маслознімних кілець допускається проводити зменшення висоти циліндричного пояса методом проточування або обпилювання.

3.6. Шатун

Шатун з'єднує колінчастий вал з поршнем або поперечкою. Він складається зі стрижня, верхньої та нижньої головок. У верхній головці шатуна знаходиться головний підшипник, у нижній – шатунний.

Верхню головку в тронкових двигунах виконують нерознімною. У неї вставляють втулку, яка утворює з поршневим пальцем підшипник. Матеріалом втулки служить бронза або сталь із заливкою свинцевої бронзи. Масло до підшипника підводиться через осьове свердління в стрижні шатуна.

У крейцкопфних двигунах верхня головка шатуна має форму вилки з двома підшипниками, за допомогою яких шатун приєднується до шийки поперечки крейцкопфа, шатуни можуть мати і безвиличну верхню головку. При фланцевому з'єднанні штока з поперечкою деякі двигуни мають один головний підшипник з розвиненою опорною поверхнею.

Головні підшипники крейцкопфних двигунів виконуються рознімними без вкладишів із заливкою бабітом безпосередньо в головці шатуна.

Нижня головка шатуна завжди рознімна. Обидві половини шатунного підшипника з'єднані між собою п'ятою шатуна шатунними болтами. Об'ємна шатунна головка центрується по відношенню до стрижня шатуна центруючим

виступом або шайбою, що вставляється у відповідні виточки в п'яті стрижня і верхній половині підшипника.

У місці з'єднання нижньої головки зі стрижнем шатуна ставлять сталеву компресійну прокладку. Змінюючи її товщину, можна регулювати довжину шатуна, а отже, змінювати ступінь стиснення циліндра і моменти газорозподілу.

Основними дефектами шатунів є знос підшипників у головках шатуна і пошкодження шатунних болтів.

Пошкодження можуть бути також у вигляді тріщин, вигину і скручування. При виявленні тріщин і скручування шатуни замінюють. Невеликі вигини усувають рихтуванням за допомогою домкратів або гідравлічного преса. Зношені або ослаблені втулки верхньої головки замінюють. Втулку, що підлягає заміні, випресовують за допомогою преса або шляхом нагрівання верхньої головки до 150 °С та охолодження струменем холодної води внутрішньої стінки втулки. При цьому головка шатуна розширюється, а втулка стискається та її легко випресовують мідним молотком. Нову втулку виготовляють з припуском по зовнішньому діаметру для забезпечення натягу і запресовують пресом в отвір верхньої головки, нагрітої до 150 °С.

При розбиранні та складанні нижньої головки шатуна особливу увагу приділяють шатунним болтам. Після розбирання їх промивають у гасі, насухо витирають і оглядають. Потім болти кип'ятять у маслі, насухо витирають і покривають крейдяною обмазкою. Непомічені при оглядах тріщини проявляються у вигляді потемнілих рисок.

При огляді шатунних болтів і гайок необхідно звернути увагу на можливі дефекти: пошкодження різьби, забоїни, натирання, тріщини, скручування болтів, ослаблення посадки гайок на різьбі болтів та в отворах головок шатунів. Ці дефекти мають спричинити заміну болтів. Крім того, болт повинен бути замінений при досягненні встановленого підприємством-виробником напрацювання або якщо його залишкове подовження перевищить норми, встановлені підприємством-виробником. Довжину болта вимірюють з точністю

до 0,01 мм. Періодичність вимірювань залишкового подовження та дефектоскопічного контролю шатунних болтів встановлюється інструкцією з експлуатації двигуна.

При сильних забоїнах поршнів циліндрів, значному перегріві шатунних підшипників, а також у разі якщо мала місце робота двигуна в рознос, відповідні шатунні болти підлягають заміні. Шатунні болти при встановленні не повинні вивалюватися з отворів головки шатуна або входити в нього дуже туго. При збиранні допускаються лише легкі удари мідної або свинцевої кувалди масою 3...5 кг, при цьому не мають бути пошкоджені торцеві поверхні болтів.

Нові виготовлені шатунні болти, що надійшли на судно для поповнення змінно-запасних частин, повинні мати паспорт, в якому вказується хімічний склад матеріалу та результати механічних випробувань зразка. На кожен болт з різьбою діаметром понад 20 мм мають бути нанесені товарний знак підприємства-виробника й довжина з точністю до $1,8 \times 10^{-4}$. Місце, розміри і спосіб нанесення знаків маркування повинні бути обрані з урахуванням збереження її протягом строку служби болта. Паспорт і товарний знак мають бути збережені протягом строку служби болта. Установлення шатунних болтів без паспорта й товарного знака підприємства-виробника забороняється.

При заміні болтів слід перевірити прилягання опорних поверхонь головок та гайок до відповідних площин гнізд у шатуні. При гарному приляганні опорних поверхонь щуп товщиною 0,03 мм не повинен проходити під головку болта й опорну частину гайки.

Якщо після затягування гайки виявиться, що свердління у болта для шплінта не збігається з прорізами гайки, необхідно послабити затяжку та повторити операцію знову. Якщо знову не збіжаться отвори, то гайку треба повернути в бік натягу до збігу отвору з прорізом. Шплінтування гайок шатунних болтів необхідно проводити тільки стандартними сталевими шплінтами, які щільно входять до свердління болта, або іншими засобами, передбаченими конструкцією двигуна. Використання дроту, шплінтів, які були

у вжитку, або невідповідного розміру забороняється. При затягуванні гайки, болта застосовують тільки нормальні або динамометричні ключі, оскільки слабке затягування чи перетягування гайок неприпустимі.

Остаточне тонке розточування отвору у втулці верхньої головки шатуна здійснюється після її запресовування. Розточують на розмір, що дорівнює діаметру поршневого пальця, плюс величина зазору між пальцем і втулкою. Отвір у нижній головці шатуна розточують на розмір, що дорівнює діаметру шатунної шийки, плюс величина масляного зазору в підшипнику. Осі отворів у верхній та нижній головках шатуна необхідно перевіряти на паралельність і схрещування на спеціальному пристрої (рис. 3.20).

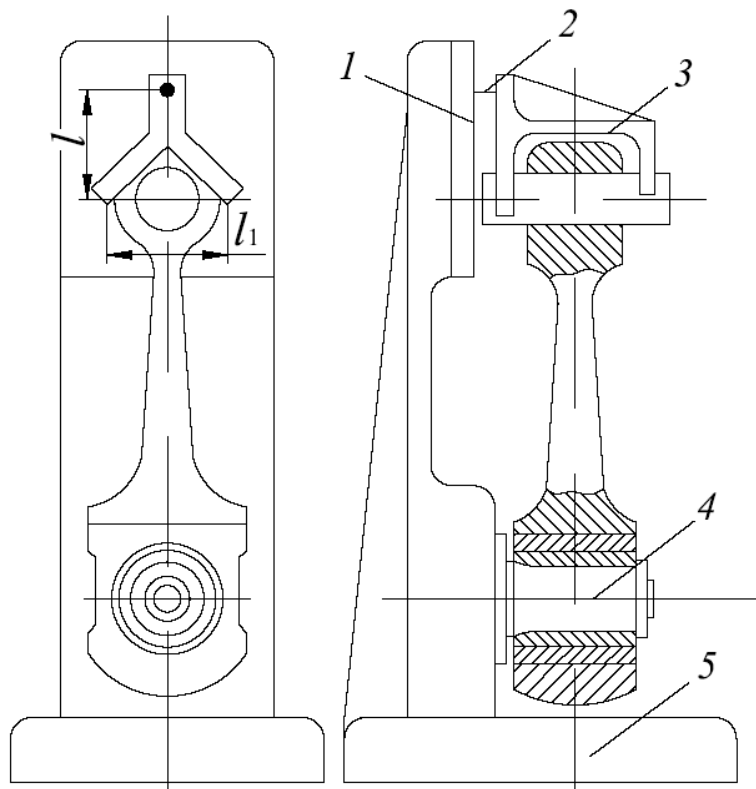


Рис. 3.20. Пристрій для перевірки паралельності та схрещування осей отворів у головках шатуна

Шатун у зборі встановлюють на розтискну оправку 4, нерухомо закріплену на корпусі 5 пристрою, і затискають на ній. В отвір верхньої головки шатуна вставляють поршковий палець і на нього ставлять призму 3, що має штифти 2, торці яких розташовані точно в одній площині, перпендикулярній до

її базової поверхні. Призму підводять до зіткнення хоча б одного штифта з плитою l пристрою, поверхня якої лежить у площині, перпендикулярній до осі оправки 4. Вимірюючи щупом зазор між іншими двома штифтами й плитою, визначають непаралельність і схрещування осей головок шатуна, віднесені відповідно до базової довжини l (непаралельність) або l_1 (схрещування). Якщо відхилення перевищують допустимі значення, вісь нижньої головки шатуна виправляють шабреньням.

3.7. Підшипники

У суднових двигунах застосовують такі підшипники:

- товстостінні з бабітовою заливкою;
- тонкостінні, вкриті свинцевою бронзою, та бронзові, як рознімні, так і нерознімні.

Основним показником є відношення товщини тіла вкладиша без заливки до зовнішнього діаметра. У товстостінних вкладишах цей показник складає 0,065...0,100, у тонкостінних – 0,025...0,045.

Товстостінні вкладиші виготовляють з прокладками в площині рознімання двох половин для регулювання масляного зазору. Тонкостінні вкладиші не мають прокладок. У них регулювання масляного зазору досягається спилуванням торців вкладишів у площині рознімання. Тонкостінні підшипники, залиті свинцевою бронзою, при зносі замінюють. Для заливки товстостінних підшипників застосовують бабіти Б83, БН і Б16. Зазвичай нижні рамові й верхні шатунні підшипники заливають бабітом Б83, верхні рамові та нижні шатунні – бабітом БН і Б16.

Заміри зазорів у підшипниках, що не вимагають розбирання, виконуються щупом з обох торців. Зазор у нероз'ємних головних підшипниках тронкових двигунів заміряється також щупом (при роз'єднанні шатуна та поршня) між втулкою шатуна і пальцем з обох торців по всій окружності.

У процесі експлуатації двигуна до основних видів зносу та пошкодження підшипників належать:

– зменшення товщини шару бабіту. При заливці підшипників товщина шару бабіту береться в межах 3...5 мм. Зменшення товщини шару бабіту в два рази вважається граничним;

– тріщини і викришування, які можуть виникнути в результаті поганого підгону вкладиша до постелі й великих зазорів у підшипниках;

– відставання бабіту від вкладиша, яке може з'явитися внаслідок незадовільної заливки або поганого підгону вкладиша до постелі. Відставання визначають постукуванням: деренчливий звук вказує на відставання бабіту;

– виплавку бабіта, що виникає при незадовільному укладанні вала, поганому підведенні або очищенні масла.

Дрібні риси, задирки ремонтують зачисткою напилком. Невеликі тріщини і раковини усувають виправкою бабіту газовим пальником до основного металу вкладиша та наплавленням на його місце бабіту тієї ж марки.

Підшипники зі зменшенням товщини шару до мінімально допустимого значення тріщинами й викрашуваннями, відставанням та виправкою бабіту перезаливають. Перезаливка проводиться на спеціальних ділянках судноремонтного підприємства і складається з таких робіт: виділення старого бабіту, очищення, знежирення, травлення, лудіння і заливка нового бабіту.

Після перезаливки перевіряють якість заливки і знімають виступний бабіт. Потім площини рознімання пришабровують на фарбу по плиті. Правильно при шабренні стики вкладиша повинні мати рівномірно розподілені плями фарби, щуп 0,05 мм не має проходити між плитою і вкладишем. Одночасно перевіряють паралельність між площинами рознімання та твірною лінією, як показано на рис. 3.21.

Після припасування площин рознімання вкладиші збирають з набором прокладок на хомутах та передають на попередню розточку по діаметру шийок з припуском 1,0...1,5 мм на остаточну розточку. Потім затилкову поверхню вкладиша приганяють по постелях (гніздах) на фарбу. Поверхню постелі забарвлюють тонким шаром фарби. Вкладиші укладають на постіль, щільно притискають і переміщують по колу на 15...20 мм у кожний бік, потім

виймають. Якщо забарвлення спинки буде нерівномірним, то забарвлені місця шабрують або спилюють шлюсарною пилкою.

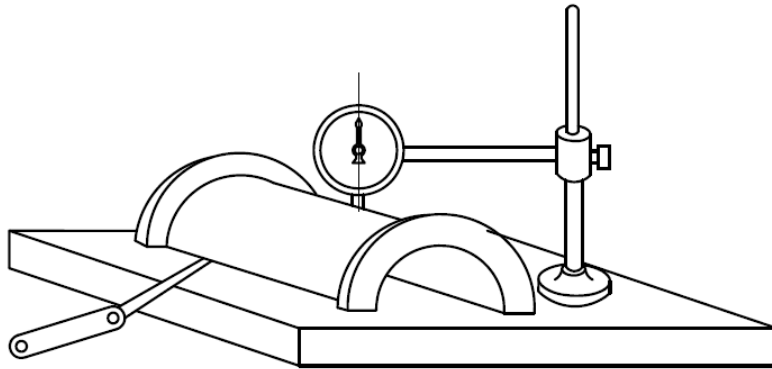


Рис. 3.21. Перевірка площин рознімання вкладиша на паралельність з лінією спинки

Операцію припасування проводять до тих пір, поки затилки вкладиша не забарвлюватимуться рівномірно (2–3 плями на кожному квадратному сантиметрі), а щуп 0,05 входите між вкладишем та постіллю на глибину не більше 5...10 мм.

Після припасування по постелях вкладиші збирають з набором прокладок для остаточного проточування. При остаточному проточуванні залишають припуск 0,15...0,30 мм на шабрення вкладиша по шийці вала. На робочих поверхнях вкладиша фрезерують охолоджувачі й канавки для проходу масла.

При припасуванні вкладишів підшипників по валу на поверхню шийок наносять тонкий шар фарби, вал опускають у підшипник, а останній складають. Вал провертають на один оберт, і підшипник розбирають. Пофарбовані місця знімають шабером. Операцію повторюють до тих пір, поки поверхня вкладишів не буде пофарбована рівномірними плямами фарби. Після цього підшипник збирають. Набором прокладок встановлюють монтажний масляний зазор. Величину монтажного масляного зазору беруть з формуляра двигуна. Він знаходиться в межах 0,05...0,08 мм. Для регулювання масляного зазору необхідно мати комплект прокладок товщиною 0,03; 0,05; 0,10; 0,20; 0,50 мм і т. д.

У кожному стику вкладиша має бути встановлено рівну кількість прокладок однакової товщини. Товсті прокладки ставлять униз, а тонкі – вгору. Тонкі прокладки виготовляють з каліброваної латуні і фольги, а товсті – з латуні або сталі. При встановленні прокладок треба стежити, щоб зазор між кромками прокладок і шийкою вала дорівнював половині масляного зазору в підшипнику. Якщо він буде меншим, то змащення підшипника порушиться. При більшому зазорі масло буде витікати з підшипника. За відсутності прокладок між підшипниками зазор може бути зменшений за рахунок перезаливання або заміни вкладишів.

Масляний зазор у підшипниках вимірюють щупом або обтисненням свинцевого дроту, як показано на рис. 3.22. Поперек шийки по її кінцях кладуть два свинцевих дроти, діаметр яких на 0,2...0,3 мм більший від необхідного зазору. Верхній вкладиш та кришку ставлять на місце й затягують. Потім знімають кришку і вимірюють товщину розплющених свинцевих дротів мікрометрами.

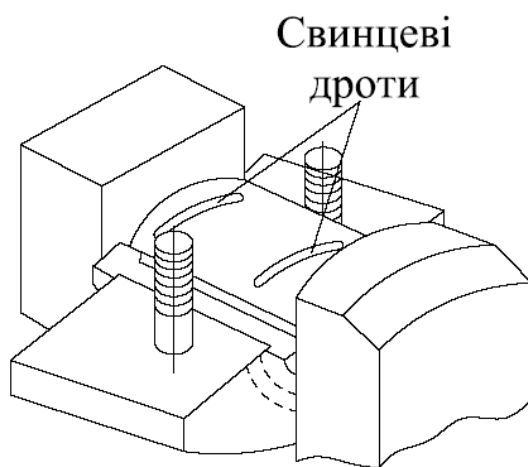


Рис. 3.22. Перевірка масляного зазору в підшипнику
за відбитком свинцевого дроту

Діаметр свинцевого дроту, застосовуваного для замірів зазорів підшипників, повинен приблизно дорівнювати подвійній величині очікуваного зазору. Довжина кожного відрізка дроту має бути близько $1/3$ від довжини окружності. Якщо перевіряється зазор менше 0,06...0,08 мм, а також якщо підшипники мають тонкостінну бабітову заливку, заливку зі свинцевої бронзи

або гальванічного покриття, використання свинцевого дроту для перевірки величини зазору не допускається і зазор слід заміряти щупом.

Замір осьового зазору в підшипниках проводиться щупом з обох боків (ніс, корма). При регулюванні осьового зазору необхідно враховувати величину температурного подовження вала.

Вкладиші тонкостінних підшипників з бабітовою заливкою, із заливкою свинцевою бронзою, з гальванічним покриттям замінюють при виявленні масляних зазорів, які перевищують допустимі, а також при появі серйозних дефектів заливки у вигляді відставання та викришування. Підшипники цих видів ні в якому разі не ремонтують, а замінюють новими заводського виготовлення. При заміні вкладишів рамових підшипників треба керуватися даними вимірювання розкепів колінчастого вала та замірами просадною скобою. Обпилювання стиків вкладишів і кришок тонкостінних підшипників з метою зменшення масляного зазору, а також шабрування заливки категорично забороняються. Заливку вкладишів необхідно оберігати від ударів та подряпин.

Допускається заміна одного вкладиша тонкостінних підшипників з бабітовою заливкою: верхнього або нижнього. На відміну від них тонкостінні підшипники зі свинцевої бронзи та гальванічним покриттям слід замінювати всі разом, тобто комплектом. Величина натягу вкладиша підшипника визначається згідно з інструкцією з експлуатації.

При огляді шпильок рамових підшипників та гайок необхідно звернути увагу на можливі дефекти: пошкодження різьби, забоїни, натирання, тріщини, скручування шпильок, ослаблення посадки гайок на різьбі й шпильок в отворах кришки рамового підшипника. Ці дефекти спричиняють заміну шпильок. Крім того, шпилька повинна бути замінена при досягненні встановленого підприємством-виробником терміну роботи.

Шпильки рамових підшипників не мають хитатися в отворах кришки або входити в них занадто туго. При збиранні допускаються лише легкі удари мідною або свинцевою кувалдою масою 3...5 кг по верхній кришці рамового підшипника.

3.8. Механізм газорозподілу

Механізм газорозподілу відкриває і закриває впускні й випускні органи відповідно до прийнятих фаз газообміну. Він складається з робочих клапанів і деталей, що передають до них рух від колінчастого вала – шестерень, розподільного вала, штовхачів, штанг, важелів.

Деталі механізму газорозподілу знаходяться під великою дією динамічних навантажень, тому їх огляд і ремонт виконують не тільки при ремонті двигуна, але і в процесі експлуатації під час проведення технічного обслуговування двигуна.

До найбільш характерних пошкоджень механізму газорозподілу належать:

– зношування робочих поверхонь кулачкових шайб у місцях накату шайб на ролики штовхача. Знос кулачкових шайб визначають спеціальним шаблоном, як показано на рис. 3.23. Якщо просвіт між шаблонами 2 і шайбою 1 перевищує 1,0...1,5 мм, шайбу бракують;

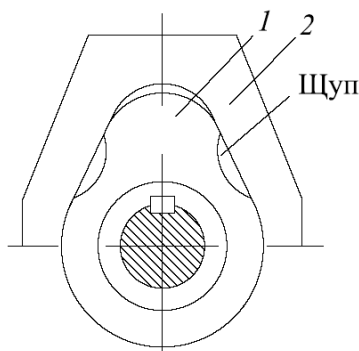


Рис. 3.23. Перевірка зносу кулачкових шайб за шаблоном

– ослаблення посадки шайб на валу, що визначається на звук шляхом постукування шайб мідним молотком;

– виникнення в кулачкових шайбах тріщин, викришування (виявляється оглядом і обмацуванням);

– знос шийок розподільного вала на овальність і конусність, який визначається обмірюванням. Овальність шийок розподільного вала, що дорівнює 0,07 мм, вважається граничною;

– знос і поломка зубів передавального механізму. Може бути ослаблення посадки шестерень на валу. Знос зубів визначається вимірюванням зазору між зубами, як показано на рис. 3.24. Зазор між зубами не повинен перевищувати 0,2 мм.

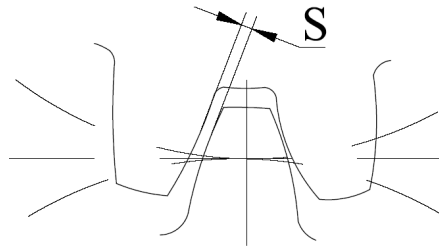


Рис. 3.24. Визначення зносу зубів шестерень

Кулачкові шайби зі зношеними робочими поверхнями за наявності тріщин і викришувань замінюють. Для цього шайбу нагрівають паяльною лампою і збивають. Нові шайби нагрівають у маслі до 200 °С і в нагрітому вигляді насаджують на вал.

Розподільні вали ВОД виготовляють як одне ціле з кулачками. При значних зносах кулачків, шийок або будь-яких пошкодженнях вал замінюють.

Огляд зубчастих передач передавального механізму проводиться з метою визначення стану зубів коліс і виявлення можливих дефектів: рисок, задирків, подряпин, зносу, тріщин, наволакування, піттингів, викришування та поломок. Крім того, виконуються вимірювання величини осьового зазору, перевірка кріплення коліс зубчастих передач на валу. Для визначення величини зносу зубчастих передач заміряють бічні зазори між зубами ведучого і веденого колеса не менше ніж у чотирьох положеннях (через 90 градусів повороту) з обох кінців зуба. Замір проводять за допомогою щупів або мікрометра, заміряють товщину відбитка свинцевого дроту, який прокатується між зубами коліс. Зношені шестерні передавального механізму замінюють.

Шестеренний привід монтують по мітках на зубах кожної пари шестерень, яка сполучається. Зуб з міткою однієї шестерні повинен входити в западину між міченими зубами іншої шестерні. Правильність зачеплення

шестерень визначається на фарбу. Зуби однієї шестерні фарбують і за відбитками на зубах іншої судять про правильність зачеплення.

Вали зі зношеними шийками проточують на найближчий ремонтний розмір. Перед укладанням відремонтованого розподільного вала на місце підшипники ремонтують і пришабровують по шийкам вала. Вісь покладеного в підшипники розподільного вала має бути паралельна осі колінчастого вала.

Огляд ланцюгової передачі механізму газорозподілу проводиться з метою визначення натягу ланцюга і стану ланок. До основних дефектів ланцюгової передачі належать: знос втулок (роликів) та щік ланок, задирки зубів, зірочок, пальців, втулок і подовження ланцюга. При виявленні дефектів у ланках ланцюга слід провести його демонтаж та видалити зіпсовані ланки відповідно до інструкції з експлуатації. Підтягування ланцюга також проводиться згідно з інструкцією з експлуатації.

При виявленні дефектів у ланках ланцюга необхідно:

- перевірити стан робочої поверхні кулачкових шайб на відсутність вибоїн, вм'ятин, рисок, задирків, розтріскувань і відставань шару цементациї;
- перевірити просідання та прогин розподільного вала;
- перевірити щільність посадки кулачкових шайб на розподільному валу;
- перевірити величину масляних зазорів у підшипниках розподільного вала, механізмі газорозподілу й напрямних втулках клапанів;
- перевірити якість притирання клапанів;
- переконатися у відсутності тріщин на корпусах випускних клапанів, що охолоджуються водою, а також пошкодження прокладок;
- перевірити пружність пружини клапанів.

3.9. Паливна апаратура

Паливна система необхідна для підготовки та подачі палива в циліндр, складається з пристроїв для очищення і підігріву палива, віскозиметра, насосів високого тиску й підкачувального, форсунок, паливопроводів низького і

високого тисків. Паливну систему поділяють на паливну систему низького і високого тисків.

Система низького тиску забезпечує підготовку (зберігання, транспортування, очищення, підігрів палива) і подачу палива до системи високого тиску.

Для організації процесу згоряння палива паливна система високого тиску двигуна (паливна апаратура) повинна забезпечити:

- упорскування точно дозованої циклової подачі палива;
- задані фази паливоподачі (початок і кінець) та характеристику впорскування, що сприяє робочому процесу двигуна на будь-якому його експлуатаційному режимі;
- якісне розпилювання палива, тобто високий його тиск перед отворами, що розпилюють на всіх експлуатаційних режимах двигуна, включаючи малі навантаження і холостий хід.

Загальні вимоги до ремонту паливної апаратури зводяться до наступного:

- після зняття паливопідвідних трубок на відкриті штуцери повинні бути поставлені заглушки;
- перевірка паливних насосів і форсунок має проводитися в зібраному вигляді. Розбирати насос або форсунку дозволяється тільки в разі встановлення в них технічних дефектів;
- при розбиранні та складанні необхідно дотримуватися бездоганної чистоти. Розібрані деталі промивають у відфільтрованому паливі й висушують. Обтирати деталей заборонено;
- не можна змішувати деталі одного насоса з деталями іншого.

Розбирання й збирання паливної апаратури повинні проводитися на спеціально підготовленому робочому місці із застосуванням спеціального інструменту та пристроїв. Дозволяється тільки комплектна заміна прецизійних пар елементів насосів і форсунок. Перекомплектування прецизійних деталей не допускається. Деталі паливної апаратури після розбирання мають бути промиті

й без протирання укладені на чистий папір або фанеру. Не дозволяється протирати деталі паливної апаратури якою-небудь тканиною.

Штуцери паливних насосів, форсунок і форсункових трубок, а також ущільнювальні конуси штуцерних гайок не повинні мати тріщин, вм'ятин, подряпин та інших пошкоджень, які можуть призвести до порушення герметичності порожнин високого тиску.

Вихід з ладу форсунок – явище нерідке. Спочатку в них виникають несправності, які можуть бути усунені. Тому під час експлуатації форсунки перевіряють і регулюють не рідше 1–2 разів на місяць. До основних дефектів форсунок належать: знос голок та розпилювачів; закоксування соплових отворів; збільшення зазору між прямою поверхнею корпусу форсунки і штока голки; порушення ущільнення між торцями корпусу розпилювача та форсунки; тріщини в корпусі форсунки і розпилювача; зминання торцевих поверхонь контакту штока, проставок та голки; risks, подряпини й корозія на робочій поверхні голки і корпусу розпилювача; наклепи на запірному конусі голки та фасці розпилювача; зависання голки й обгорання сопла. При розбиранні форсунки необхідно звернути увагу на натирання у парі голка–напрямна, заїдання голки, а також наклеп на конічній частині (або торці) голки. Якщо виявлені дефекти усунути притиранням неможливо, то пара голка–напрямна повинна бути замінена.

Перевірку форсунок здійснюють на спеціальному стенді, який складається з ручного насоса високого тиску і манометра (рис. 3.25). На стенді перевіряють тиск початку відкриття голки, форму факелів розпилювання, стан соплових отворів і щільність пари голка–напрямна. За відсутності зазначеного стенда дозволяється користуватися насосами двигуна, встановлюючи на них трубку з трійником і манометром. Перед обпресуванням форсунки необхідно перевірити щільність нагнітального клапана паливного насоса.

Форсунку 1 приєднують до нагнітального трубопроводу 4, на якому встановлений манометр 2. Паливний насос високого тиску 5 прокачують уручну важелем 6. Витратний бак 3 заповнюють відфільтрованим паливом.

Перед перевіркою на форсунки відкривають клапан для спуску повітря та ручкою паливного насоса високого тиску прокачують до повного видалення повітря із системи.

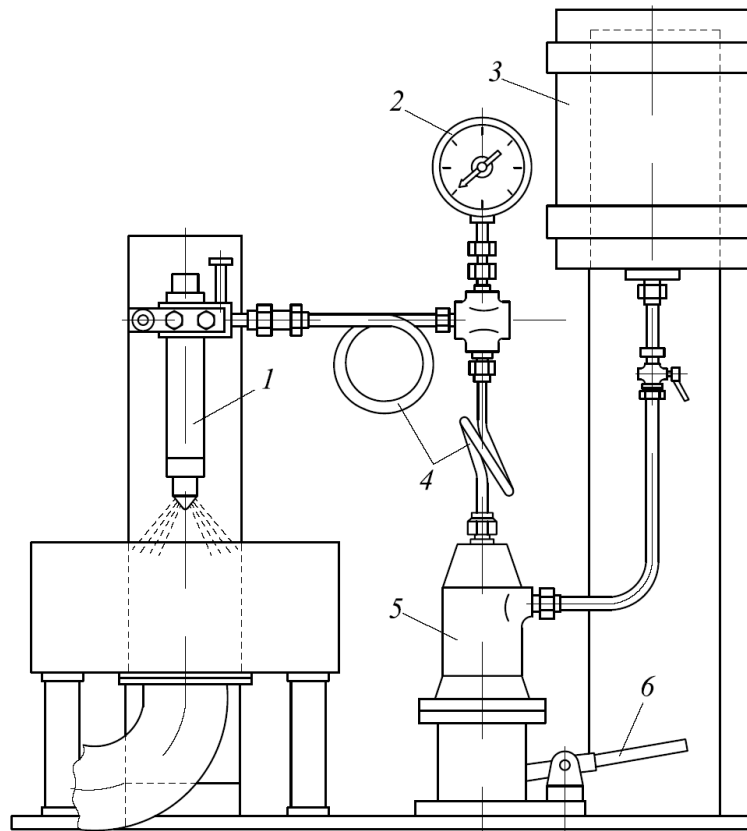


Рис. 3.25. Схема стенда для регулювання і випробування форсунок

Для того щоб перевірити форсунку на тиск упорскування, роблять 5–6 упорскувань. Потім повільно підвищують тиск і відмічають, при якому тиску відбувається впорскування. За допомогою регулювального болта змінюють натяг пружини форсунки, щоб початок впорскування відбувався при встановленому тиску.

Для перевірки якості розпилювання та засміченості розпилюючих отворів рекомендується обернути соплоутримувач форсунки аркушем паперу в один шар, різким натисканням на важіль прокачати насос та подати порцію палива у форсунку. При правильному розташуванні отворів у соплі їх відбитки на розгорнутому паперовому циліндрі будуть лежати на одній прямій на рівних відстанях один від одного. За відбитками струменів палива на папері судять про засміченість отворів. Засмічені отвори очищають голкою діаметром на 0,05

мм меншим від діаметра розпилюючих отворів. Крім того, необхідно звернути увагу на неприпустимість пошкодження кромek і стінок сопла. Прочищення отворів сопла без розбирання забороняється. Паливо, що виходить із соплових отворів, має бути у вигляді туману, без місцевих згущувань і цівок, а форма факелів та їх спрямованість однаковими.

Щільність пари голка–напрямна повинна відповідати нормам, зазначеним в інструкції з експлуатації (як для нових пар, так і пар, які перебувають в експлуатації). За відсутності норм час падіння тиску на 5,0 МПа за рахунок витоків через зазор між голкою та напрямною має бути не менше 15 с для нових пар і 5 с для пар, які перебували в експлуатації. Потрібно враховувати при цьому, що результати випробувань залежать від довжини та діаметра нагнітального трубопроводу, тому норми щільності повинні уточнюватися шляхом порівняння результатів опресування з результатами опресування еталонної пари, виконаної на тому ж стенді й за тих же умов.

При перевірці на стенді (див. рис. 3.25) пари голка–напрямна на щільність роблять 5–6 упорскувань, потім повільно піднімають тиск нижче від тиску початку впорскування на 0,5...1,0 МПа і витримують форсунку під цим тиском 5 хв. При поганій щільності за цей час на розпилювачі утворюється крапля. Нещільність можна усунути притиранням конуса запірної голки до сидла втулки за допомогою пасти ДОІ. При цьому треба стежити, щоб притиральна паста не потрапила на циліндричну поверхню голки.

У справній форсунці впорскування має відбуватися при заданому тиску через всі розпилючі отвори. Після впорскування сопловий наконечник розпилювача повинен бути сухим. Для перевірки форсунки на відсутність підтікань необхідно після ретельного прокачування обтерти сопло насухо, а потім провести 5–6 подач палива. Крапля палива на кінці сопла вказує на підтікання його. Для усунення підтікання треба вдруге розібрати форсунку і притерти (підігнати) деталі.

Гайку розпилювача слід затискати зусиллям, рекомендованим інструкцією з експлуатації, а за її відсутності – зусиллям, установленим

експериментальним шляхом. Забороняється затискати гайку надмірним зусиллям. Гайку розпилювача рекомендується ставити на спеціальній пасті («Молікот» з дисульфідом молібдену та ін.) або на графіті з циліндровим маслом. Затягувати та віддавати гайку розпилювача необхідно при віджатій пружині форсунки.

При збиранні форсунки має бути перевірений підйом голки. Величину підйому голки встановлюють відповідно до заводської інструкції з експлуатації двигуна. Середні величини підйому голки складають:

- 0,2...0,3 мм для форсунки з плоскою посадкою голки у двигунах малої та середньої потужностей;

- 0,4...0,5 мм для форсунок з конічною посадкою голки у двигунах малої та середньої потужностей;

- 0,6...0,7 мм для форсунок з конічною посадкою голки для тихохідних двигунів великої потужності.

Нерівномірність пропускної здатності форсунок не повинна перевищувати 1,5 %.

При огляді деталей паливного насоса треба звертати увагу на стан робочих поверхонь плунжерів, втулок, клапанів. На них не має бути наклепу, раковин, рисок і корозії. При виявленні задирків у плунжерної пари замінити її. Застосування притирального матеріалу для розхожування плунжерної пари допускається у виняткових випадках за відсутності запасних пар. При огляді слід звернути увагу на тріщини та натирання на спіралях пружин і сидлах клапанів. При виявленні таких дефектів пружини і клапани потрібно замінити. Під час огляду паливних насосів треба послідовно перевірити і відрегулювати щільність, правильність установа кулачкових шайб на розподільному валу (шляхом перевірки моменту початку та кінця подачі палива), а також рівномірність подачі палива по циліндрах і встановлення нульового положення.

Основними несправностями паливних насосів є нещільності нагнітального й всмоктувального клапанів, а також пари плунжер–втулка.

Перевірка щільності паливних насосів проводиться при знятих форсункових трубках і нагнітальних клапанах. У цьому випадку привід ручного відсічення встановлюється на повну подачу палива, а на штуцер паливного насоса – манометр. Після закріплення на штуцері манометра за допомогою важеля створюється тиск палива в насосі, що відповідає рекомендованому заводською технічною документацією. Якщо насос зберігає цей тиск протягом 15...20 с (для нових плунжерних пар) та 5...7 с для плунжерних пар, що знаходяться в експлуатації, то герметичність вважається достатньою. На двигун повинні встановлюватися насосні пари з розбіжністю показань із щільності не більше ніж на $\pm 10\%$ від середньої щільності плунжерних пар усіх насосів.

Нагнітальний клапан контролюють так. На нагнітальний штуцер (рис. 3.26, а) навертають патрубок 1 з манометром 3. Після прокачування насоса вручну до повного видалення повітря верхній отвір патрубка затягують гайкою 2 з конусом; потім ручним прокачуванням над нагнітальним клапаном (у патрубку 1) створюють тиск 40 МПа і спостерігають за його падінням. Якщо за одну хвилину тиск падає в межах 1,0...2,0 МПа, то щільність клапана вважається нормальною.

Для того щоб перевірити всмоктувальний клапан, патрубок 1 знімають, а на нагнітальний штуцер навертають гайку 2 з конусом. Після прокачування насоса гайку 2 затягують. Опускаючи плунжер, робочу камеру насоса заповнюють паливом. Потім за допомогою важеля 4 (див. рис. 3.26, б) плунжер піднімають. Якщо всмоктувальний клапан тримає добре, плунжер не повинен підніматися.

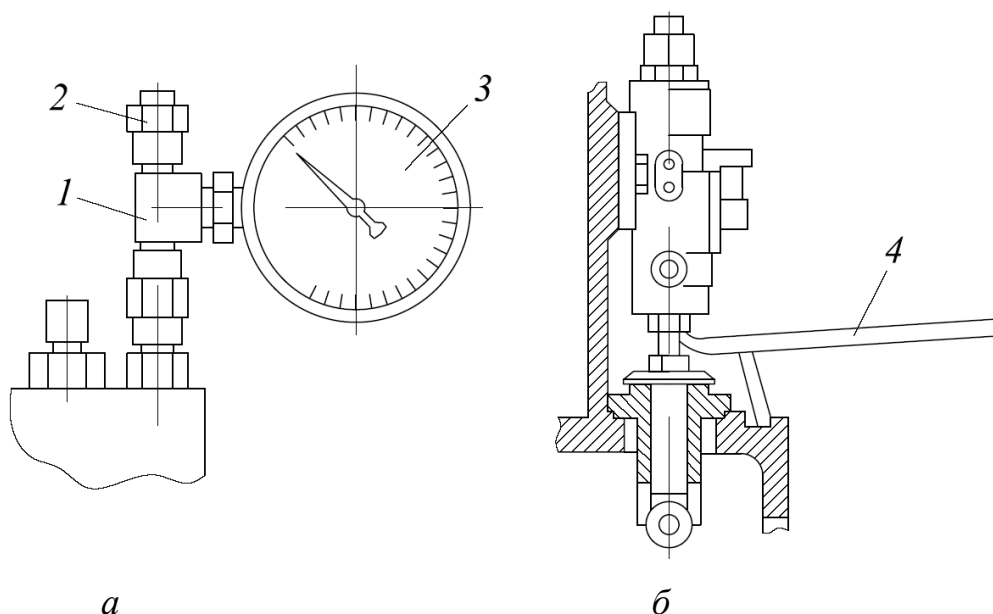


Рис. 3.26. Пристрій для перевірки паливних насосів

Щільність нагнітального і всмоктувального клапанів може бути досягнута шляхом притирання їх до своїх сідел за допомогою пасти ДОІ. Якщо притиранням не досягнута необхідна щільність, клапани замінюють разом із сідлами. Нещільні пари плунжер–втулка замінюють новими. Замінені пари плунжер–втулка, нагнітальні й всмоктувальні клапани із сідлами не викидають, а здають у спеціальні пункти.

Перевірка моменту початку подачі палива (кута випередження) в паливних насосах із золотниковим розподілом та інших паливних насосах з регулюванням кінця подачі виконується капілярною скляною трубкою діаметром 1,0...1,5 мм, установленою за допомогою накидної гайки на штуцер насоса. При цьому повільно повертають маховик двигуна та фіксують момент зрушування палива в трубці, який і буде відповідати початку подачі. За наявності градуювання на ободі маховика визначається безпосередньо кут випередження подачі палива в циліндр. За відсутності на ободі градуювання слід заміряти за дугою маховика відстань від зафіксованої позначки до позначки ВМТ відповідного циліндра та визначити кут випередження за формулою

$$\beta = 360^\circ \frac{a}{\pi D},$$

де a – відстань, заміряна за ободом маховика від знайденої позначки до ВМТ відповідного циліндра, мм; D – діаметр обода маховика, мм.

За невідповідності величин кутів, що перевірено даними підприємства-виробника, або при переході на інший сорт палива регулювання кута випередження подачі палива (у паливних насосах з регулюванням кількості подаваного палива за рахунок зміни кінця подачі) виконується:

- поворотом кулачкової шайби паливного насоса на розподільному валу;
- зміною положення сполучної муфти розподільного вала (для двигунів з кулачковими шайбами, які не допускають повороту).

Остаточне налаштування здійснюється зміною довжини регульованого штовхача паливного насоса. Регулювання моменту початку подачі палива повинно проводитися при положенні регулюючих органів паливних насосів, що відповідає роботі двигуна на основному режимі (як правило, на режимі повного ходу). Для забезпечення одночасного і надійного вимикання паливних насосів при зупинці двигуна та отримання достатньої рівномірності подачі палива по циліндрах необхідно перевірити й відрегулювати нульову подачу палива насосами та рівномірність подачі для основного режиму роботи двигуна. Регулювання паливних насосів на рівномірність подачі палива по циліндрах проводиться після того, як буде перевірена герметичність насоса та відрегульовані моменти початку (кінця) подачі.

Перевірка рівномірності подачі палива по циліндрах виконується в наступному порядку. Під'єднують форсункові трубки до відповідних насосів і форсунок, що працюють у парі. Форсунки встановлюють розпилювачами вниз і до них прикріплюють мірні стакани ємністю 100...200 см³ (порожні склянки попередньо зважують). Потім з максимально можливою швидкістю виконують 10–15 повних подач насоса важелем ручного прокачування. Після відстою палива визначають його масу і знаходять подачу насоса за один хід. Відсоток нерівномірності розраховується таким чином:

$$K = 2 \frac{A - B}{A + B} 100\%,$$

де А і Б – найбільша та найменша кількість палива, яка подана одним з насосів.

Нерівномірність подачі палива не повинна перевищувати 6 %. При великій нерівномірності проводиться регулювання насоса. Якщо конструкція паливних насосів допускає регулювання нерівномірності подачі палива тільки при встановленні насоса на двигуні, то насоси приводяться в дію шляхом обертання колінчастого вала двигуна за допомогою стисненого повітря або вручну (для допоміжних двигунів малої потужності).

Перевірка нульової подачі палива насосами проводиться з метою забезпечення одночасного вимикання всіх насосів при зупинці двигуна, а також при положенні муфти регулятора, яке відповідає гранично-допустимій мінімальній частоті обертання. В обох випадках усі насоси мають одночасно припинити подачу палива. Регулювання нульової подачі залежить від конструкції насосів і проводиться відповідно до інструкції з експлуатації. Перевірка нульової подачі проводиться одночасно з перевіркою і регулюванням рівномірності подачі палива по циліндрах.

Остаточне регулювання паливних насосів повинно проводитися на працюючому двигуні при навантаженнях 50, 75 і 100 %. При цьому на кожному із зазначених режимів різниці основних показників роботи окремих циліндрів (температура випускних газів, максимальний тиск згоряння) не мають перевищувати значень, установлених підприємством-виробником.

3.10. Агрегати наддуву

Двигун з газотурбінним наддувом є комбінованою установкою, що складається з двигуна, газової турбіни і нагнітача. Працюючи на змінних режимах, кожен із цих агрегатів має власну характеристику, яка має зв'язок з різними показниками робочого процесу. При підвищенні середнього індикаторного тиску збільшується кількість обертів турбокомпресора, підвищується температура газів перед турбіною та за турбіною, збільшуються тиск наддувного повітря, температура повітря до й після холодильника.

Найбільше допустиме значення температури газів перед турбіною обмежується жаростійкими властивостями матеріалу лопаток газової турбіни.

У період експлуатації необхідно контролювати температуру підшипників турбокомпресора, частоту обертання ротора, тиск наддуву та температуру вихлопних газів і наддувного повітря. Граничне навантаження двигуна можна визначити за температурою вихлопних газів. Надмірне підвищення температури вихлопних газів може спричинити обгорання, короблення та інші пошкодження лопаток газової турбіни, тому робота двигуна за температури вихлопних газів, що перевищує межі, передбачені інструкцією для даного двигуна, забороняється.

При постійній потужності й частоті обертання вала двигуна зі збільшенням температури навколишнього середовища зменшується ступінь стиснення в нагнітачі, підвищуються температура газів, що надходять до газової турбіни, та ефективна питома витрата палива.

При одночасному зменшенні тиску, збільшенні вологості та температури атмосферного повітря температура вихлопних газів може підвищитися на 20...25 % порівняно з номінальним значенням, що змушує зменшувати навантаження на двигун.

Температуру наддувного повітря за охолоджувачем підтримують у межах 30...40 °С. Вона не повинна бути нижчою від точки роси, щоб не перешкоджати виділенню вологи з продувного повітря за низької температури забортної води, яка прокачується через повітряний холодильник та охолоджує наддувне повітря. Найвигідніший режим роботи повітряних холодильників обирають з таблиць граничної вологості наддувного повітря залежно від тиску, температури та його вологості.

Вода, що виділилася в ресивері з наддувного повітря або що надійшла в ресивер через нещільності в повітряному холодильнику, разом з наддувним повітрям надходить у циліндри двигуна, внаслідок чого порушуються процеси змащення та горіння палива в циліндрі, особливо при використанні палива з

великим вмістом сірки. Видалення води з колектора наддувного повітря здійснюється через зливні крани у нижній частині.

Повсякденний догляд за турбокомпресором полягає у забезпеченні його нормальним змащенням, охолодженням та працездатності агрегату.

Після зупинки двигуна тривалість обертання ротора турбокомпресора за інерцією служить ознакою справної роботи останнього. Цей час вказується в інструкції з експлуатації турбокомпресора і зазвичай дорівнює 1,0...1,5 хв.

Залежно від конструкції та умов експлуатації турбокомпресор розбирають для огляду та перевірки зношування деталей приблизно через 8000 год роботи двигуна. Перед оглядом порожнину охолодження промивають та очищають від накипу. Зношені цинкові протектори замінюють новими. Внутрішні порожнини повітродувки й турбіни очищають від масла, пилу та нагару.

Оцінку технічного стану турбокомпресорів слід проводити на підставі даних про величину й зміну контрольованих параметрів: температури відпрацьованих газів перед турбіною і після турбіни, тиску відпрацьованих газів, температури повітря після повітроохолоджувача, тиску наддуву, частоти обертання турбокомпресора.

При огляді турбокомпресорів звертають особливу увагу на щільність посадки робочого колеса на валу, відсутність слідів зачеплення рухомих і нерухомих деталей, цілісність та справність бандажів і лопаток. У сопловому апараті перевіряють відсутність короблення, тріщин або поломок лопаток. Перевіряють радіальний зазор між лопатками та сопловим апаратом, а також осьовий зазор між турбінним диском і сопловим апаратом. При пошкодженні кулькових підшипників їх замінюють на нові. Турбокомпресор, що має навіть незначні дефекти, не допускається до експлуатації. Площини роз'єму корпусу турбокомпресора чистити шабером або наждачним папером не можна (щоб не порушити газощільність з'єднання).

Вібрація турбокомпресора може з'явитися внаслідок порушення врівноваженості ротора, викривлення осі вала ротора, несправності

підшипників, несправності системи змащення та ін. При появі вібрації турбокомпресор зупиняють, з'ясовують несправність і усувають її.

У разі пошкодження колеса, вала або диска агрегат необхідно відправити для ремонту на завод, який має відповідне обладнання для балансування ротора.

Унаслідок неповного згоряння палива в циліндрі двигуна, рясного змащення циліндра та наявності у вихлопних газах солей, обводнення палива морською водою проточна частина турбіни засмічується (лопатки й сопловий апарат), через що зменшується прохідний переріз для газів та, отже, кількість обертів турбіни падає, а також знижується тиск наддувного повітря. Нерівномірне відкладення нагару на лопатках викликає незрівноваженість ротора, що призводить до вібрації турбіни. Для запобігання попаданню сторонніх предметів із циліндрів двигуна в турбіну перевіряють стан фільтра.

Періодичність оглядів продувних насосів ротативного типу залежить від їх конструкції, вказується в інструкції з експлуатації двигуна і складає 1000...1200 год роботи двигуна. Несправності продувних насосів зазвичай виникають унаслідок попадання сторонніх предметів у приймальну порожнину насоса, надмірного зношування його деталей, поганого стану клапанів, неправильного змащення. Потрапляння сторонніх предметів у порожнину продувного насоса може бути виявлено за наявним ненормальним шумом під час роботи останнього. У цьому випадку двигун негайно зупиняють, з'ясовують причину шуму та усувають її.

При переборці продувного ротативного насоса заміряють зазори між роторами, між роторами і корпусом, між роторами й торцевими кришками, між зубами шестерень приводу насоса, в підшипниках. Величина цих зазорів не повинна бути більшою за вказані в інструкції з експлуатації двигуна. Під час роботи насоса ротори нагріваються і розміри їх збільшуються. Мала величина зазорів може призвести до дотикання роторів між собою, а також з корпусом, що спричиняє підвищений знос деталей продувного насоса. Порушення величини проміжків між зубами шестерень приводу насоса викликає

несинхронне обертання роторів насоса, що може призвести до аварії. Дрібні ризики на поверхні роторів не є серйозним дефектом та усуваються зачищенням наждачним папером.

При нещільності клапанів та різних ущільнень у продувному насосі продуктивність його різко зменшується. Нещільності усувають притиранням клапанів і заміною або підтягуванням ущільнень.

Сітка приймальної порожнини продувного насоса або фільтра має бути чистою та справною. Робота з пошкодженою або знятою сіткою не допускається.

При рясному змащенні або несправних масляних ущільненнях у робочу порожнину продувного насоса потрапляє масло, яке потім разом з повітрям надходить у циліндр двигуна, порушуючи справну роботу останнього. Тому з повітряного ресивера періодично спускають масло, відкриваючи зливні крани в ньому, та очищають ресивер від бруду.

3.11. Кожухотрубні охолоджувачі

Зовнішній огляд кожухотрубних охолоджувачів виконують щодня. Візуально виявляють, насамперед, протікання робочих середовищ у з'єднаннях з трубами, між кришками і корпусом. Їх причинами можуть бути ослаблення обтиску болтів, знос прокладки або ущільнювальних поверхонь. Якщо виникаючі течії усунути обтисненням з'єднання не вдається, замінюють прокладку. При цьому оглядають поверхні ущільнювачів фланців. Пошкодження на них закладають полімерними матеріалами, з подальшим шабренням для забезпечення площинності.

Для того щоб попередити раптове виникнення течії в з'єднаннях, рекомендується періодично виконувати їх контрольну обтяжку зусиллям і за схемою, рекомендованою заводом-виробником. Тим самим збільшується тривалість служби прокладок.

Контролюють герметичність ущільнення «плаваючої» трубної дошки. При роботі теплообмінника і підвищенні температури трубного елемента його

довжина збільшується. Оскільки одна трубна дошка жорстко кріпиться до корпусу, то інша повинна мати можливість переміщатися в ньому. Для її ущільнення застосовують різні конструкції, одна з яких показана на рис. 3.27.

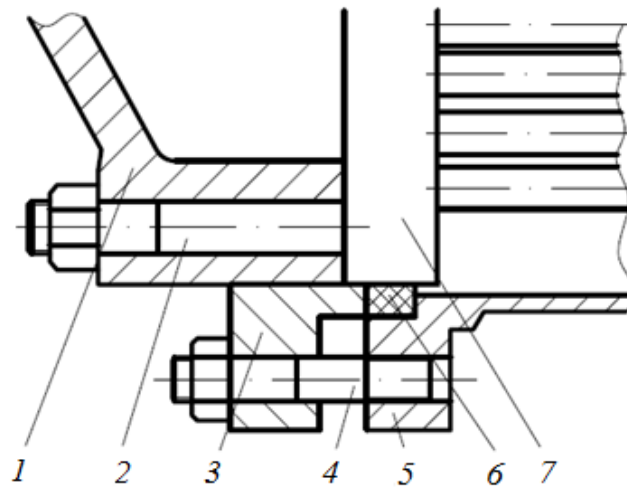


Рис. 3.27. Ущільнення плаваючої трубної дошки

Кришка 1 кріпиться до плаваючої трубної дошки 7 болтами 2. Гумове ущільнююче кільце 6 вставляється в проточування фланця корпусу 5 і підтискається притискним кільцем 3 за допомогою болтів 4. При цьому воно роздається, притискається до циліндричних поверхонь трубної дошки й фланця корпусу і, тим самим, ущільнює їх. При протічках у вказаному з'єднанні підтискають спочатку натискне кільце, ще більше роздаючи ущільнююче кільце і щільніше притискаючи його до поверхонь трубної дошки й фланця корпусу. Якщо течі не припиняються, теплообмінник виводять з дії, віддають натискне кільце і видаляють ущільнююче кільце. Зачищають поверхні ущільнювачів і за необхідності відновлюють їх полімерним матеріалом. Вставляють нове кільце ущільнювача та обтискають натискне кільце.

Виявляють і усувають пошкодження ізоляції та фарбування корпусів і деталей теплообмінників.

При зовнішньому огляді обов'язково контролюють:

- ступінь забруднення теплопередавальних поверхонь за температурами робочих середовищ і непрямыми ознаками;
- герметичність порожнин робочих середовищ за непрямыми ознаками.

В охолоджувачах і конденсаторах не рідше одного разу на 3–6 місяців оглядають цинкові протектори, доступ до яких можливий без розкриття теплообмінника (рис. 3.28).

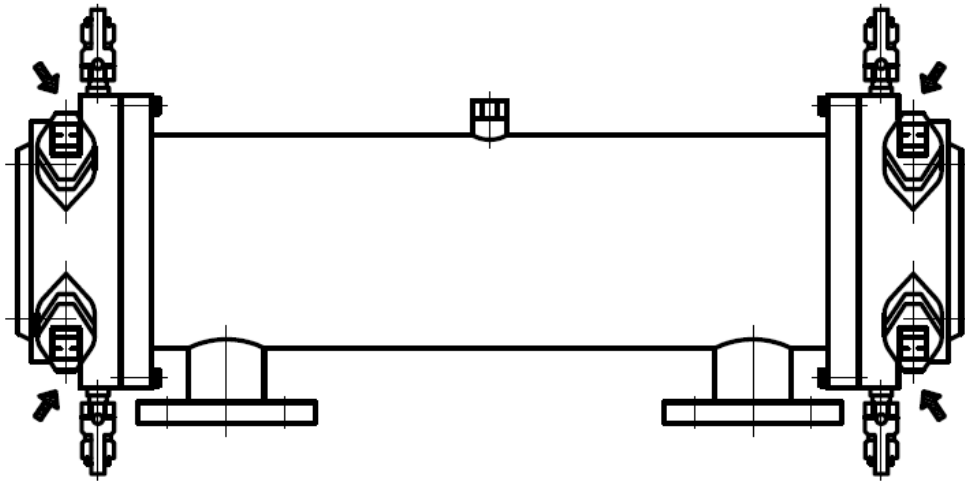


Рис. 3.28. Протектори охолоджувачів, які необхідно оглянути

Контроль забруднення охолоджувачів. Регулювання температури води/масла здійснюється терморегулюючим клапаном шляхом їх перепуску в обвід охолоджувачів. Більш докладно потоки води/масла та їх температури показані на рис. 3.29.

Ступінь забруднення охолоджувачів також можна оцінити щодо зменшення кількості перепускнуї води/масла. Терморегулятори води/масла також зазвичай мають показчики ступеня відкриття перепуску охолоджуючої води. Найбільш зручні показчики годинникового типу. Ці показання щодо повного закриття перепуску рекомендується використовувати для оцінки ступеня забруднення охолоджувачів.

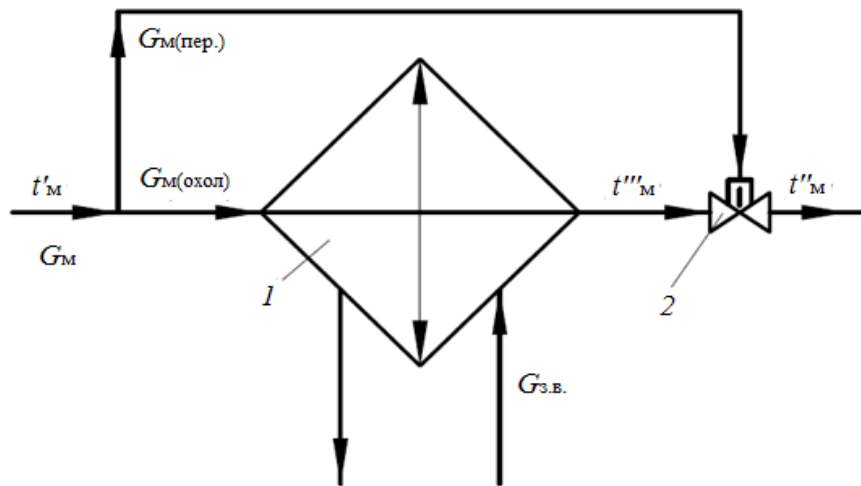


Рис. 3.29. Схема регулювання температури води/масла двигуна:

1 – охолоджувач; 2 – терморегулюючий клапан

Ознаки недостатньої теплопередавальної здатності охолоджувачів можуть з'явитися також з інших причин. Тому також необхідно враховувати вплив забруднення трубопроводів і фільтрів заборотної води, знос насосів заборотної води, порушення щільності поворотних камер з боку заборотної води (в кожухотрубних теплообмінниках), знос діафрагм, що регулюють кількість ходів робочого середовища між трубками в кожухотрубних теплообмінниках.

У кожухотрубних теплообмінниках порожнину заборотної води очищають механічним способом, а водяну/масляну порожнину – хімічним.

Контроль герметичності маслоохолоджувача. При роботі охолоджувачів тиск у водяній/масляній порожнині повинен бути завжди більшим, ніж з боку охолоджуючої води. Цієї умови треба дотримуватися також при введенні в дію охолоджувача: спочатку слід відкрити січні клапани на трубопроводі води/масла, потім на трубопроводі охолоджуючої води. В іншому випадку при негерметичному маслоохолоджувачі охолоджуюча вода потраплятиме в його масляну порожнину та обводнить масло. При цьому різко погіршується його мастильна здатність, виникає небезпека виходу з ладу підшипників колінчастого вала, розподільного вала, деталей циліндро-поршневої групи. З іншого боку, при негерметичному охолоджувачі масло через більший тиск буде перетікати в порожнину заборотної води і повертатися в

море, викликаючи його забруднення. При слідуванні судна прибережними водами це загрожує серйозним наслідками. Крім того, масло дороге, його витрата враховується, і його втрата вкрай небажана. Тому розгерметизацію масляного охолоджувача необхідно своєчасно виявляти за різними непрямими ознаками.

Класичний спосіб заснований на розумінні, що розгерметизація трубного елемента в кожухотрубних охолоджувачах або свищ у пластині пластинчастого охолоджувача будуть призводити до витікання масла в порожнину охолоджуючої води і зменшення її кількості в масляній системі. Це може бути виявлено за більш інтенсивним зниженням рівня масла в картері або циркуляційній цистерні двигуна, періодично контрольованим. При цьому слід урахувати можливість попадання води в картер двигуна через нещільності в з'єднанні втулки з блоком і вплив цих протікань на рівень масла в картері або циркуляційній цистерні. Тому при кожному вимірюванні рівня масла слід на дотик оцінити його мастильну здатність. При розтиранні масла між пальцями не повинно відчуватися підвищене тертя. За необхідності слід взяти аналіз проби масла.

При виявленні підвищеної витрати масла (або підвищеного зниження його рівня в картері або цистерні) слід переконатися, що причиною є охолоджувач, використовуючи більш «тонкі» методи контролю.

Основним способом є відбір проб охолоджуючої води після охолоджувача. Вона може бути взята безпосередньо з бортового зливного отвору (зазвичай окремого для кожного двигуна). Підставляють відро на мотузці, наповнюючи його наполовину. Після відстою проби води оглядають її поверхню на світлі. Навіть незначні частинки масла, розподілившись по поверхні, створять на ній райдужну плівку. Проба води може бути взята з крана, зазвичай для спуску повітря з водяної порожнини (рис. 3.30). Перед взяттям проби води слід на короткий час зменшити її витрату через охолоджувач, прикриваючи клапан на виході. При зменшеній швидкості води частинки масла будуть спливати вгору під дією флотаційного ефекту. Пробу

води відбирають у пляшку з прозорого скла ємністю 0,5 л із широким горлом, не доливаючи до його зрізу 25...30 мм. Після відстою також оглядають поверхню проби води на світлі, виявляючи райдужну плівку.

Якщо на трубопроводі забортної води після охолоджувача є оглядове скло («ліхтар») і воно прозоре, його також можна використовувати для контролю. У підсвіченій протоці води навіть незначні частинки масла, що потрапили в неї через свищі охолоджувача, будуть проглядатися як «іскорки».

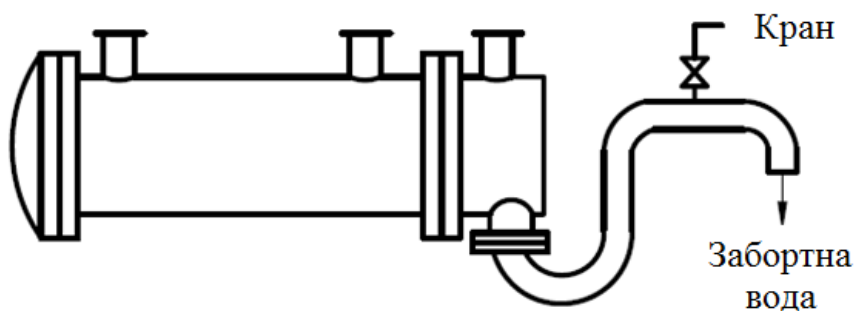


Рис. 3.30. Відбір проб води

Розбирання та збирання охолоджувачів. Перед і при розбиранні кожухотрубного теплообмінного апарата виконують загальні вимоги техніки безпеки.

Порядок і технологія розбирання конкретного кожухотрубного теплообмінника повинні відповідати рекомендаціям заводу-виробника.

Кожухотрубні теплообмінники зазвичай розбирають частково, тільки з боку внутрішньої поверхні трубок. Обсяг їх розбирання повинен бути мінімальним, тільки для виконання необхідних робіт.

Якщо розбирання виконується для інспектування чистоти поверхні трубної дошки і внутрішньої поверхні трубок, то обмежуються демонтажем труб підведення і відведення робочого середовища до кришок, зняттям (за наявності) оглядових лючків.

Якщо необхідний повний доступ до трубних дошок і трубок, спочатку знімають труби підведення і відведення робочих середовищ до кришки. Далі знімають кришку. На великих теплообмінниках відводять її убік, щоб стала

доступною трубна дошка, на малих – укладають на пайоли внутрішньою поверхнею вгору для подальшого очищення й огляду. Знімають прокладки, очищають поверхні ущільнювачів. Кришку з іншого боку демонтують для обпресування трубного елемента або відновлення його герметичності. Для очищення обмежуються розкриттям лючків.

Демонтаж трубного елемента виконують для його очищення або заміни. Для того щоб не пошкодити прокладки, за допомогою віджимних болтів зміщується трубний елемент і талями виймають його з корпусу. Знімають прокладки. Оглядають поверхні ущільнювачів.

Очищення охолоджувачів. Механічним способом очищають внутрішні поверхні прямих труб охолоджувачів і конденсаторів. Омивані забортною водою, вони обростають водоростями, отвори труб забиваються ракушками, а при плаванні в прибережних водах – сміттям, мулом.

При підготовці до механічного очищення дотримуються заходів безпеки: від перекриття січних клапанів підведення і відведення води до зливу води через зливні штуцери. Демонтують забійні (найближчі до охолоджувача) труби підведення і відведення води. Демонтують з обох боків кришки. Якщо на задній кришці з поворотною камерою є лючки, можна обмежитися їх розкриттям, а демонтувати кришку з боку підведення і відведення робочих середовищ. Часто цього достатньо, щоб через відкриті люки очистити задню трубну дошку і вибрати забруднення, вибиті з трубок з протилежного боку.

Обростання на трубних дошках, що перекривають вхідні отвори труб, зчищають волосяними щітками. Трубки, забиті водоростями, черепашками або мулом, визначають на світло, встановлюючи з протилежного боку переносний ліхтар або лампу. У повністю забитих трубках світло не буде проглядатися, а в частково – будуть чітко видні забруднення на внутрішній поверхні.

Забиті проходи в трубках пробивають гнучкими пластмасовими трубками. Можна використовувати і жорсткі трубки або прутки, якщо перед теплообмінником достатньо місця, щоб їх завести всередину трубок на всю їх довжину.

Решту відкладень, слиз на внутрішніх поверхнях труб зчищають пластмасовими йоржами. Вони можуть бути змонтовані разом з прутком (для очищення малих теплообмінників) або прикріплюються до протяжного тросика або прутка (рис. 3.31). Йорж прикріплюють до гачка і протягують його через трубку.

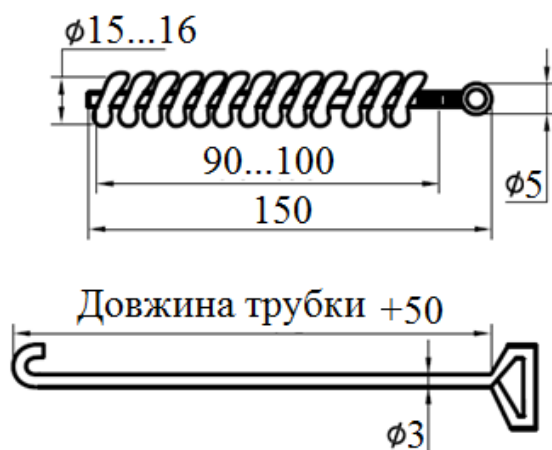


Рис. 3.31. Йорж та пруток для йоржа

Хімічним способом очищення видаляють біологічні обростання, накип з внутрішньої поверхні труб охолоджувачів і конденсаторів, органічні відкладення на зовнішній поверхні підігрівачів палива. Залежно від характеру забруднень застосовують різні хімічні реагенти.

Біологічні обростання, що залишилися після механічного очищення, звичайно являють собою ракушки, міцно прикріплені до поверхні. Їх видаляють тими ж засобами, що і накип.

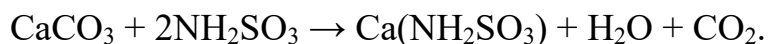
Накип на внутрішніх поверхнях труб – в основному це відкладення карбонату кальцію CaCO_3 . При взаємодії з вуглекислим газом, що містяться у воді, карбонат кальцію перетворюється на розчинний у воді гідрокарбонат:



Однак при температурах понад $\sim 50^\circ\text{C}$ гідрокарбонати перетворюються назад на нерозчинні карбонати, які й осідають на поверхнях нагрівання:



Хімічне очищення поверхонь нагрівання від накипу виконують за допомогою сульфамінової кислоти ($2\text{NH}_2\text{SO}_3$). Вона полягає у перетворенні карбонату кальцію на сіль, добре розчинну у воді:



Вітчизняна промисловість поставляє сульфамінову кислоту у вигляді кристалічного білого порошку, який змішують з водою для одержання розчину певної концентрації (зазвичай до 5 %).

Із зарубіжних засобів широко застосовують DESCALX фірми UNITOR також на основі сульфамінової кислоти, що являє собою порошок з індикатором червоного кольору. Його змішують з прісною водою для утворення розчину концентрацією 2,5...10 % залежно від ступеня накипоформування. При цій концентрації розчин буде червоного кольору. У міру нейтралізації кислоти він змінює колір: стає помаранчевим при нейтралізації 85 % кислоти і безбарвним – при нейтралізації всієї кислоти. Схожі властивості має SAF-ACID descaling compound виробництва компанії ASHLAND. При розчиненні у воді він забарвлює її в золотий колір. У міру спрацьовування кислоти колір розчину змінюється на зелений.

При використанні сульфамінової кислоти різних виробників слід суворо дотримуватися запобіжних заходів.

Невеликі трубні елементи очищають замочуванням у хімічному розчині, демонтуючи їх з корпусу. Заливають у спеціальну ємність воду і розводять у необхідній кількості й концентрації рекомендований хімічний препарат. Підігрівують його до температури 60 °С (барботуванням парою або занурювальним електричним нагрівачем). Поміщають у ємність трубний елемент, щоб він покритися розчином зверху. Знизу підводять гострий пар і барботують розчин протягом необхідного часу. Після очищення промивають трубний елемент прісною водою і в кінці – лужним розчином для нейтралізації кислоти (наприклад, ALKALINITY CONTROL фірми UNITOR).

Для прискорення та більш ефективної очистки спеціалізовані фірми застосовують спеціальні переносні установки (рис. 3.32). Спеціальну ємність

для очищення заповнюють хімічним розчином. Підігрівають його занурювальним електричним нагрівачем. Поміщають у цю ємність трубний елемент. За допомогою насоса забезпечують циркуляцію хімічного розчину, очищаючи його у фільтрі.

Великі теплообмінники очищають без демонтажу трубчастого елемента з корпусу. Найпростіший спосіб – замочування.

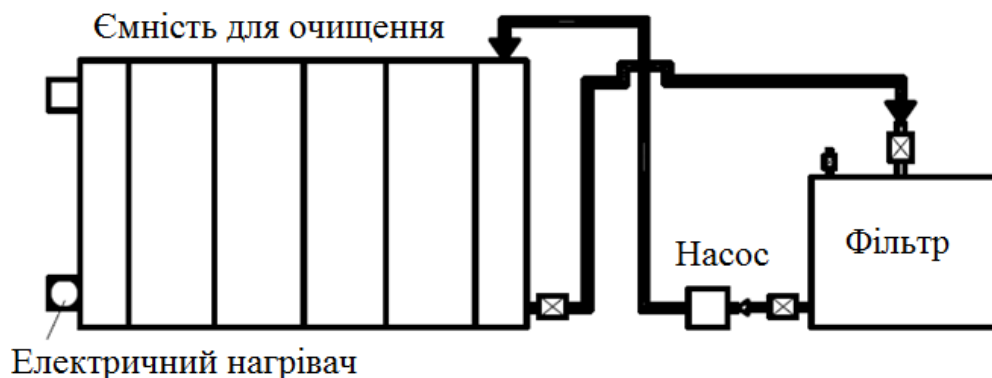


Рис. 3.32. Принципова схема установки хімічної очистки теплообмінних апаратів шляхом циркуляції розчину

Інший спосіб з циркуляцією розчину – є більш ефективним. До зливних штуцерів (у кришці або корпусі) підключають трубопроводи з насосом і ємністю. В ємності готують хімічний розчин, підігрівають його і прокачують насосом через внутрішню порожнину теплообмінника до закінчення очищення. Після очищення промивають внутрішню порожнину прісною водою і нейтралізують залишки кислоти лужним розчином.

Органічні відкладення видаляють розчинниками на основі фосфорної кислоти. Найбільш поширений CARBON REMOVE R фірми UNITOR – сильнодіючий розчинник з інгібіторами корозії для руйнування вуглецевих відкладень. Зовні він являє собою рідину темного кольору. При його використанні слід суворо дотримуватися запобіжних заходів.

Більш безпечний CARBONCLEAN LT фірми UNITOR. Це також некорозійний, сильнодіючий розчинник для видалення вуглецевих відкладень. CARBONCLEAN LT низькотоксичний по відношенню до навколишнього

середовища і персоналу, що працює з ним, тому не містить хлорованих розчинників або фенольних сполук. Зовні являє собою блідо-жовту рідину.

Ремонт охолоджувачів. У результаті утворення свищів у трубах в ушкоджених вальцювальних з'єднаннях виникають перетікання робочого середовища з більш високим тиском у порожнину з меншим тиском, що як, правило, неприпустимо. На працюючому теплообміннику їх виявляють за непрямыми ознаками.

Конкретну дефектну трубку або вальцювальні з'єднання виявляють шляхом опресування трубного елемента (колектора) зовні, тобто шляхом створення надлишкового тиску в корпусі. Залежно від призначення теплообмінника і виду робочого середовища та зовнішньої поверхні трубок можуть бути використані різні способи.

Перший спосіб полягає в опресуванні трубного елемента зовні робочим середовищем, і звичайно не вимагає його зняття з корпусу. Демонтують з обох боків теплообмінника кришки (з U-подібною конфігурацією труб – з одного боку). Для того щоб зберегти герметичність простору всередині корпусу теплообмінника, натискне кільце з боку плаваючої трубної дошки залишають обтиснутим. З боку фіксованої трубної дошки герметичність зберігається, якщо трубна дошка кріпиться до фланця корпусу за допомогою шпильок з упорним буртом (рис. 3.33). При складанні теплообмінника після закладу трубного елемента в корпус та суміщення отворів у фланці 2 і трубній дошці 3 заводять шпильки 4 та обжимають їх гайками. Для того щоб шпилька не проверталася, її утримують за квадрат.

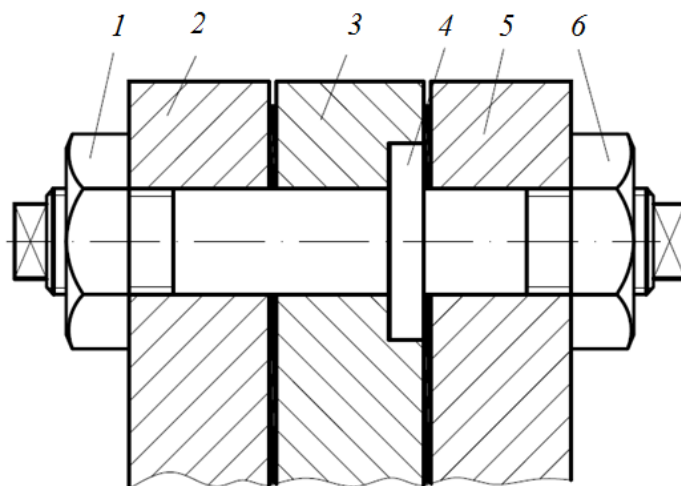


Рис. 3.33. Кріплення трубної дошки шпильками з упорним буртиком

Своїм упорним буртом шпилька притискає через прокладку трубну дошку до фланця корпусу.

Потім надягають на шпильки кришку 5 з прокладкою та остаточно обтискають гайками 1, 6. При такому кріпленні після зняття кришки зазвичай зберігається щільність з'єднання трубної дошки з фланцем корпусу.

Однак оскільки обтиснення шпильок все-таки стало меншим, рекомендується попередньо до демонтажу кришки виконати контрольну обтяжку гайок 1, 6.

Можливе кріплення трубної дошки шпильками без упорного бурту. Трубна дошка може мати такий же діаметр, як у фланців корпусу і кришки з такими ж отворами під стяжні шпильки, або може бути меншого діаметра і розміщуватися всередині стяжних шпильок, як показано на рис. 3.34.

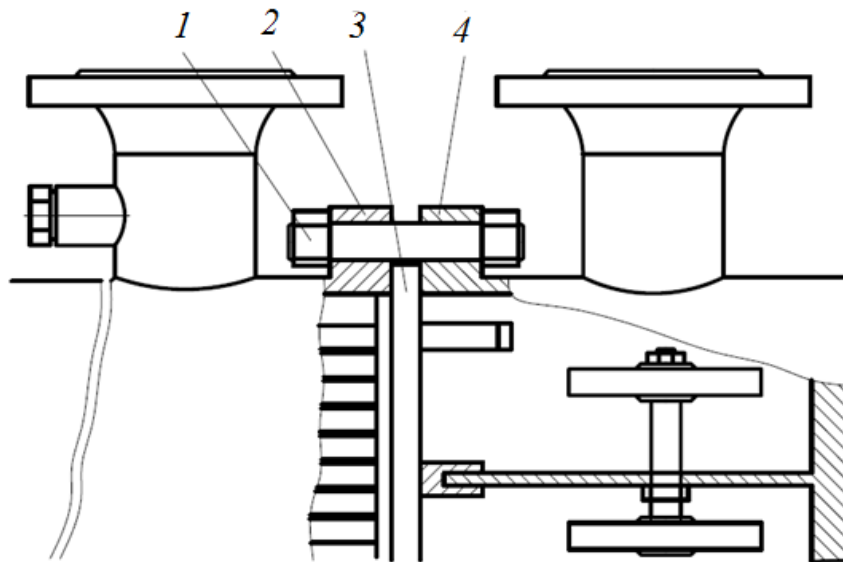


Рис. 3.34. Кріплення трубного елемента шпильками без упорного бурту

Жорсткість і щільність з'єднання корпусу, трубного елемента і кришки забезпечуються обтисненням шпильок *1*, тобто їх витяжки в межах пружної деформації. Прагнучи повернутися до вільного стану, вони, через гайки, стягують фланці корпусу *2* і кришки *4* та притискають їх поверхні ущільнювачів до трубної дошки *3*. Після зняття кришки трубна дошка вже не притискається до фланця корпусу і не ущільнюється. Тому її додатково притискають до фланця корпусу або болтами через отвори в ній (якщо її діаметр дорівнює діаметру фланця корпусу), або за допомогою струбцин, жорстких сталевих планок з отворами під болти *1* на кінцях.

Тільки після цього створюють невеликий тиск у корпусі теплообмінника (зовні трубок) штатним або переносним насосом. Оскільки тиск робочого середовища зовні трубок стає вищим від атмосферного тиску в осушених трубках, з дефектної трубки або з'єднання буде витікати робоча рідина.

Інший спосіб полягає в опресуванні трубного елемента повітрям зовні. Осушують корпус теплообмінника. Демонтують кришки і за необхідності притискають трубну дошку до фланця корпусу теплообмінника. Демонтують підвідний відвідні труби до корпусу і встановлюють на фланці металеві заглушки з прокладками. Вивертають пробку для осушення корпусу і під'єднують до штуцера повітряний шланг. Обмазують трубні дошки мильним

розчином і подають повітря тиском близько 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) у порожнину корпусу.

Дефектну трубу глушать з обох кінців з допомогою конусної заглушки (рис. 3.35). Її виготовляють з латуні, міді або деревини твердих порід. Довжина заглушки повинна бути 30...50 мм. Менший діаметр заглушки повинен дорівнювати внутрішньому діаметру труби. Кут між твірними конуса заглушки 3°.

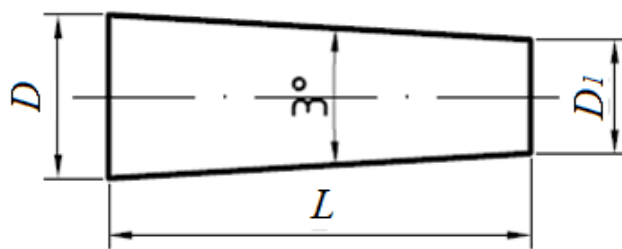


Рис. 3.35. Заглушка

Глушіння труб зменшує площу теплопередавальної поверхні та викликає ті ж наслідки, що і забруднення теплопередавальних поверхонь. Теплообмінники із заглушеними трубами доведеться частіше очищати, тому їхні ресурси на забруднення (запаси на забруднення) зменшуються.

Завод-виробник зазвичай обмежує кількість заглушених труб у межах 10...30 % від їх загальної кількості. Вважається, що зменшена на цю величину теплопередавальна поверхня має забезпечувати температурні режими робочих середовищ, тому її фактична площа більша від розрахункової, тобто має запас. Ця рекомендація застосовна, якщо заглушені трубки рівномірно розподілені по ходах робочого середовища, тому фактичний запас площі теплопередавальної поверхні, як правило, перевищує 30 %.

Для заміни дефектної трубки висвердлюють обидва розвальцьованих кінці (рис. 3.36, *a*). Діаметр свердла не повинен бути більшим від зовнішнього діаметра трубки, щоб не пошкодити отвір у трубній дошці. При висвердлюванні стінка труби зменшується та її посадка в отворі трубної дошки

послаблюється. Після висвердлювання обох кінців трубку вибивають за допомогою ступінчастої оправки (див. рис. 3.36, б).

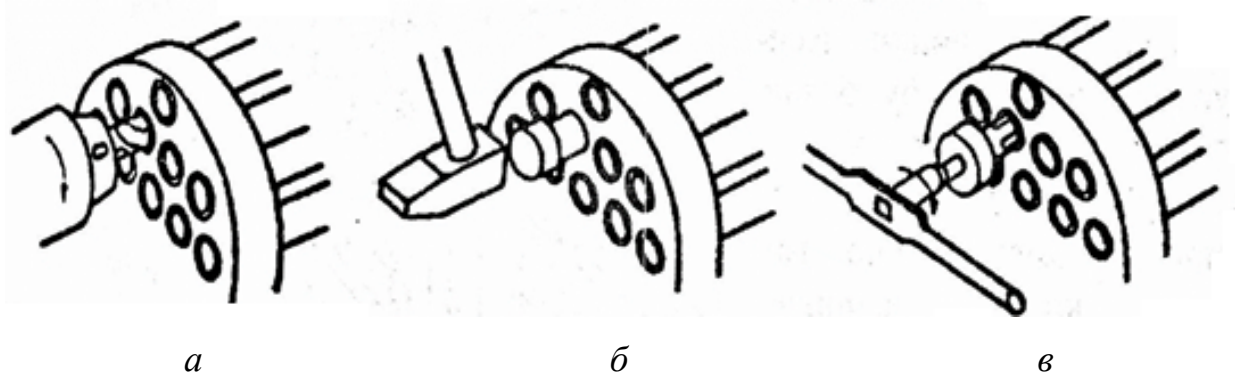


Рис. 3.36. Заміна дефектних труб:

а – висвердлення трубки; *б* – вибивання трубки; *в* – вальцювання трубки

Якщо кінці труби, що виступають з трубної дошки, мають відбортуння або розвальцювання «під дзвіночок», то її зубилом вминають всередину. Труба втрачає натяг і може бути вибита без розсверлювання.

Зачищають отвір у трубній дошці, кромки заокруглюють або знімають з них фаску. Нову трубку обрізають з невеликим припуском по довжині і вводять в отвори трубної дошки і діафрагм, поки вона не вийде з протилежної трубної дошки. Для того щоб поєднати трубку з отвором другої трубної дошки, через нього в трубку вставляють пруток як напрямну.

Після закладення нової трубки її кінці розвальцювають (роздають) на повну товщину трубної дошки за допомогою спеціального інструмента (див. рис. 3.36, в).

На рис. 3.37 показана найбільш проста конструкція вальцювання для роздачі труби.

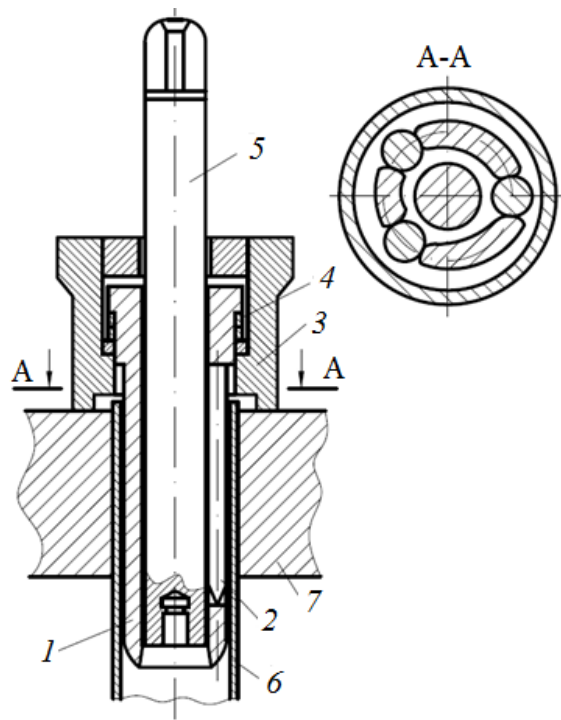


Рис. 3.37. Вальці

У циліндричному полуму корпусі *1* вальців є три поздовжніх перерізи. У корпус вставлено три конічних сталевих ролики *2*, загартовані і ретельно відшліфовані. Діаметри роликів більші від ширини цих вирізів, і вони можуть висуватися з них, та не випадати. Меншим діаметром ролики звернені вгору. Всередину корпусу між роликами вставлено конічне веретено *5*, також загартоване і відшліфоване. Від випадіння з корпусу воно закріплене гвинтом (після збирання). Конусність веретена вдвічі більша, ніж у роликів, і меншим діаметром воно звернене вниз. Ролики завдяки вдвічі меншій і зворотній конусності з веретеном, обкатуючись по ньому, будуть описувати циліндричну поверхню. Корпус вальців разом із закріпленим на ньому упорним підшипником *4*, на якому він обертається в процесі роботи, поміщений у муфту *3* і закритий різьбовою кришкою.

Вальці працюють таким чином. Квадратний кінець веретена вставляють у шпindel пневматичної машинки. Корпус заводять у трубу *6* так, щоб торець муфти спирався на трубну дошку *7*. Вмикають пневматичну машинку, яка починає обертати веретено, і натискають на нього, переміщаючи в осьовому напрямку. Оскільки веретено має конусність, то при осьовому переміщенні

воно вибирає зазор між роликами і висуває їх з прорізів корпусу, поки вони не торкнуться внутрішньої поверхні труби. При подальшому натисканні на веретено ролики сильніше притискаються як до нього, так і до поверхні труби. Відповідно, виникають сили тертя між поверхнями роликів і веретена, за рахунок яких ролики починають не прослизати по поверхні веретена, а обертатися, обкатуючись по ній. Точно також за рахунок сил тертя роликів з поверхнею труби вони починають обкатуватися і по ній, обертаючи вже корпус вальцювання у підшипнику в зворотній веретену бік.

При осьовому переміщенні веретена радіальні зусилля обертових роликів деформують трубу, збільшуючи її зовнішній діаметр і зменшуючи зазор між трубою та отвором до нуля, тобто здійснюють роздачу труби. Після збільшення діаметра труби до повного заповнення зазору в отворі радіальний тиск при вальцюванні передається на стінки отвору трубної дошки, який також деформується. У результаті цієї роздачі матеріал труби отримує пластичні (залишкові) деформації, а матеріал трубної дошки – пружні. По закінченні вальцювання отвір трубної дошки прагне повернутися в початкове положення (стиснутися), але цьому перешкоджає труба, що отримала залишкові деформації, тобто посадка труби в отворі виходить з натягом. У результаті цього між поверхнями труби та отвором виникають значні радіальні зусилля (контактні напруження), що забезпечують міцність і щільність вальцьованого з'єднання.

Ремонт дефектних вальцювальних з'єднань полімерними матеріалами. Буває, що течі по вальцювальному з'єднанню виникають не через його ослаблення, а через корозію отворів у трубній дошці. Підвальцювання такого з'єднання її не усуває. У заводських умовах такі отвори розгортають на допустиму величину і встановлюють нову трубу або виготовляють нову трубну дошку.

У суднових умовах може бути використаний спосіб ремонту за допомогою полімерного матеріалу. Його технологія полягає в наступному:

– трубний елемент демонтують і ретельно очищають хімічним способом;

– навколо дефектної ділянки трубної дошки, зсередини, встановлюють бандаж, наприклад, з клейкої стрічки. Ретельно підклеюють його до трубної дошки;

– готують рідкий полімерний матеріал, що підходить за призначенням і найменш в'язкий. У розглянутому прикладі застосовується полімерний матеріал фірми Devcon. Для підвищеної плинності його розбавляли спиртом, який швидко випаровувався;

– заливають полімерний матеріал усередину бандажа на всю його висоту;

– витримують до повної полімеризації і затвердіння.

У результаті дефектні вальцювальні з'єднання з внутрішнього боку трубної дошки герметизуються.

Ремонт трубних дошок. При кожному розбиранні теплообмінного апарата поверхні трубних дошок оглядають після очищення на наявність руйнувань. Вони виникають через корозійну та ерозійну дії робочого середовища й стрімко прогресують. Доходячи до зовнішньої поверхні трубок, вони послаблюють вальцювальні з'єднання. Тому виявлені руйнування обов'язково закладають полімерним матеріалом. При сильному руйнуванні доцільно запросити спеціалізовану фірму.

Одна з технологій провідного виробника полімерних матеріалів UNITOR полягає в наступному. У трубки навколо зруйнованих місць установлюють дерев'яні заглушки, вирівнюють їх за допомогою дерев'яного бруска.

Ретельно зачищають уражені місця. Глибокі руйнування навколо трубок, недоступні для очищення, обробляють спеціальним свердлом.

Руйнування між трубками вирубують зубилом. Нанести на зачищені місця полімерний матеріал у два шари: спочатку акуратно, не допускаючи залишку повітря в руйнуванні, а в кінці – до рівня заглушок.

Після затвердіння полімеру легким постукуванням молотка по заглушках руйнують їх з'єднання з ним. Самі заглушки вибивають прутком зі зворотного боку труби. Залишки полімеру всередині труб видаляють конічним свердлом (зенкером).

Ремонт кришок, корпусів та протекторів. Після очищення оглядають кришки і корпус зсередини на наявність різних ушкоджень.

Оглядають захисні антикорозійні покриття внутрішніх порожнин кришок. Їх застосовують в охолоджувачах, кришки яких виготовлені із чорного металу. Це може бути епоксидна фарба або склопластик. При відшаруванні або руйнуванні цього покриття морська вода починає безпосередньо стикатися з металом кришки і дуже швидко викликає корозійний знос. Тому будь-які пошкодження антикорозійного покриття обов'язково відновлюють фарбуванням або полімерними матеріалами.

Знімають ущільнення і зачищають перегородки в поворотних камерах кришки. Вони схильні до корозійного та ерозійного зносу як з боків, так і з торця, сполученого з прокладкою, який стрімко прогресує. Зрештою через свищі в перегородках і зношені ущільнювальні торці робоча середина перетікає в порожнину з меншим тиском – наступну за ходом руху робочого середовища. У результаті зменшується її кількість у суміжних ходах, погіршується інтенсивність тепловіддачі і в цілому теплопередачі. За зовнішніми ознаками це явище аналогічне забрудненню теплопередавальних поверхонь. Тому незначні руйнування на перегородках відновлюють полімерними матеріалами. Якщо вони значні навколо перегородки встановлюють опалубку і заливають у зазори рідкий полімерний матеріал. Після його затвердіння обробляють ущільнювальну поверхню перегородки і контролюють її площинність за плитою або лінійкою. Повністю зруйновані перегородки вирізають і на їх місце вварюють нові.

Оглядають поверхні ущільнювачів кришок і корпусу, а також поверхні фланців. Вони піддаються корозійному зносу. Пошкодження на них закладають полімерними матеріалами, з подальшим шабренням для забезпечення площинності, як при ремонті фланцевих з'єднань.

Оглядають протектори. Очищають розпушений шар робочої поверхні протектора до чистого металу. Протектори, зношені на 50 % і більше, замінюють. Відсутність зносу протектора свідчить про порушення

електричного контакту між ним і поверхнею, що захищається, або про невідповідність матеріалу протектора своєму призначенню. Для забезпечення надійного контакту опорні поверхні протекторів і болтів кріплення (за наявності) зачищають.

На корпусі можливе утворення тріщин і свищів, які виявляються за протіканнями робочого середовища. Кінці тріщини засвердлюють, щоб виключити її подальше розповсюдження. Саму тріщину або свищ заварюють або зашпаровують полімерним матеріалом, безпосередньо вдавлюючи його в ушкоджене місце чи застосовуючи додатково накладку.

При значних руйнуваннях кришки і корпусу їх замінюють або виготовляють у заводських умовах.

Заміна прокладок та відновлення ущільнюючих поверхонь фланцевих з'єднань. Через вібрації трубопроводів і вплив агресивних середовищ прокладки та ущільнювальні поверхні фланцевих з'єднань зношуються, послаблюється їх обтиснення і виникають течі. Її усувають додатковим обтисненням з'єднання. Якщо течі тривають, замінюють прокладку, виготовляючи її більш товстою і по можливості з більш м'якого матеріалу. Для розсунення фланців при видаленні зношеної прокладки й установлення більш товстої нової застосовують важелі, клиноподібні на кінці.

При виготовленні прокладки її внутрішній діаметр повинен бути трохи більшим від діаметра отвору фланця, щоб не зменшити прохід робочого середовища і не викликати додаткове завихрення рідини, що прискорює знос труби. Зовнішній діаметр прокладки не має перевищувати діаметр ущільнювальної поверхні фланця, щоб не перекрити отвори для стяжних болтів. Для того щоб прокладка не прилипала до ущільнюючих поверхонь і не ушкоджувалася при розбиранні з'єднання, перед установленням на водяній магістралі її змащують солідолом, а на паровій – натирають графітом.

При заміні прокладки оглядають поверхні ущільнювачів фланців. Незначний їх знос і руйнування зашліфовують торцевою поверхнею наждачного круга з приводом від пневматичної машинки.

Більш глибокі пошкодження зашпаровують полімерними матеріалами. Якщо знос ущільнювальної поверхні місцевий, застосовують і місцеве закладення. Пошкоджене місце ретельно зачищають і знежирюють (уїат-спіритом, спиртом) для кращої адгезії (зчеплення) з полімерним матеріалом. Готують необхідну кількість двокомпонентного полімерного матеріалу. Наносять його шпателем на місце, що ремонтується (рис. 3.38).

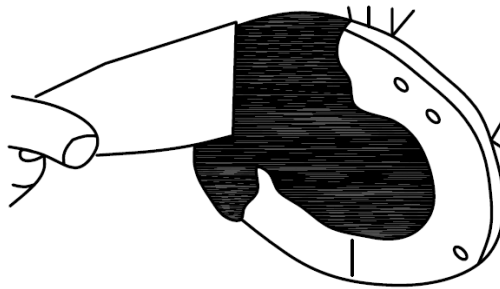


Рис. 3.38. Місцеве відновлення ущільнювальної поверхні фланця полімерним матеріалом

У міру затвердіння розгладжують нанесений матеріал плоскою плитою, попередньо змастивши її маслом (щоб не прилипав), видаляють його надлишки. Після затвердіння матеріалу ущільнювальну поверхню фланця обробляють напилком або наждачним кругом, а потім поверхні перевіряють на площинність за плитою полімерним матеріалом «на фарбу».

Якщо знос поверхонь фланців суцільний, то застосовують суцільне закладення їх пошкоджень. Зношені поверхні фланців також ретельно зачищають і знежирюють. Отвори у фланцях закривають дерев'яними пробками, замазкою або пластиліном. Підбирають плоский металевий лист з розмірами, більшими, ніж зовнішній діаметр фланців. Покривають його з обох боків препаратом, що перешкоджає прилипанню полімерного матеріалу. За його відсутності можна намазати ці поверхні листа тонким шаром масла. Готують необхідну кількість двокомпонентного полімерного матеріалу і наносять його на поверхні фланців шпателем. Вставляють оброблений лист між фланців і обтискають їх струбцинами, щоб полімерний матеріал рівномірно розподілився по сполучених поверхнях (рис. 3.39). Після полімеризації

матеріалу видаляють струбцини і лист, пробки вибивають. Внутрішні й зовнішні кромки фланців обробляють напилком або наждачним кругом, видаляючи "обшарпані" краї.

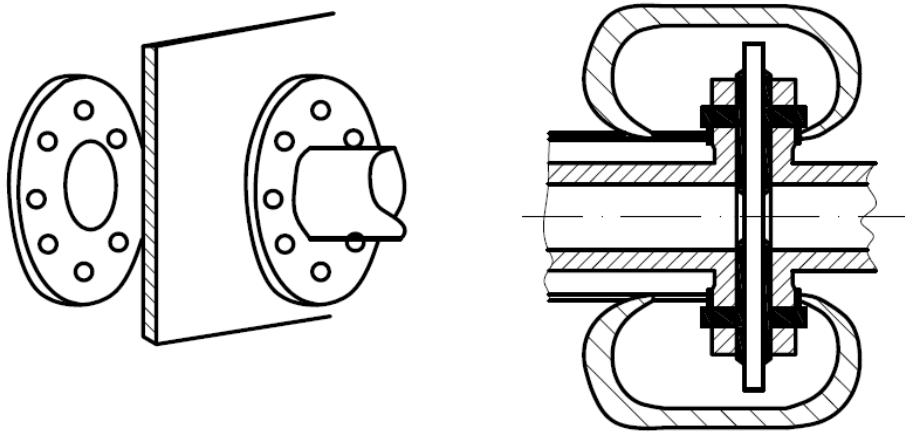


Рис. 3.39. Суцільне відновлення ущільнювальної поверхні фланця полімерним матеріалом

Гідравлічне випробування охолоджувачів. Після закінчення ремонту для оцінки його якості кожухотрубний теплообмінний апарат у зборі піддають гідравлічному випробуванню на щільність (кожна порожнина окремо) відповідно до вимог заводу-виготовлювача. Зазвичай їх виконують у певній послідовності.

1. Застроповати і встановити охолоджувач на стенд.
2. Приєднати нагнітальну трубу стенда до входу в охолоджувач.
3. Обпресувати водяну порожнину (простір під кришкою) дизельним паливом з маслом К-7, в'язкістю 20...25 сСт. Надати на контроль.

Технічні вимоги:

- тиск опресування $0,6 \pm 0,05$ МПа ($6 \pm 0,5$ кгс/см²);
- час опресування 5 хв;
- протікання, спад тиску і запотівання не допускаються.

4. Знизити тиск до 0, від'єднати нагнітальну трубу стенда від входу води в охолоджувач.

5. Відкрити пробку, злити дизельне паливо з водяної порожнини, встановити пробку на місце і затягнути до відмови.

6. Зняти заглушки з кришок.

7. Приєднати нагнітальну трубу стенда до входу в корпус.

8. Обпресувати водяну/масляну порожнину охолоджувача дизельним паливом з маслом К-7 в'язкістю 20...25 сСт.

До технічних вимог належать:

– тиск опресування $1,2 \pm 0,05$ МПа ($12 \pm 0,5$ кгс/см²);

– час опресування 5 хв;

– протікання, спад тиску і запотівання не допускаються.

Охолоджувач вважається придатним, якщо відповідає зазначеним вимогам.

3.12. Допоміжні агрегати

При огляді деталей *шестеренних* і *відцентрових насосів* необхідно перевірити:

– знос, корозію, задирки шийок валиків у районі сальникових ущільнень та в місцях установлення крилаток і зубчастих коліс;

– стан зубів коліс, підшипників ковзання й кочення та їх посадки, поверхонь клапанів і пружин;

– щільність посадки зубчастих коліс та крилаток.

Регулювання зазорів між торцями зубчастих коліс і кришками (корпусом) слід робити шляхом зміни товщини прокладки між корпусом та кришками насоса або шляхом шабрування торцевої стінки корпусу (кришок).

При огляді *реверсивних муфт* і *редукторів* потрібно перевірити регулювання механізму зчеплення, биття зубчастих коліс і валів, корозійні роз'їдання валів та зубчастих коліс, ослаблення посадки деталей на валах, стан зубів (наявність рисок, задирків, подряпин, зносу, тріщин, наволакування, піттингів, викришування, поломки), а також наявність масла. Зміна масла та промивання картера редуктора повинні проводитися в суворій відповідності до інструкції з експлуатації.

При огляді *роз'єднувальних муфт* необхідно перевірити регулювання механізму роз'єднання, стан деталей (знос, зазори, тріщини) і трубопроводів підведення масла та стисненого повітря. Слід перевірити стан приладів аварійного захисту та сигналізації, їх установа і спрацювання при заданих параметрах. Крім того, треба перевірити час увімкнення та вимкнення муфт, який має відповідати часу, зазначеному в інструкції з експлуатації.

Під час огляду шинно-пневматичної муфти необхідно перевірити:

- залишкову деформацію, стан гуми шин;
- надійність кріплення шин до верхнього барабана, а також колодок до шин;
- знос фрикційних пластин та ободу внутрішнього барабана;
- зазор між колодками й ободом внутрішнього барабана;
- стан підшипника кочення і його посадку;
- знос манжет та стан діафрагм повітророзподільника;
- знос золотників, поршнів і клапанів системи стисненого повітря;
- стан кілець і щіток колектора для подачі живлення на прилади аварійного захисту та сигналізації;
- за необхідності відрегулювати на заданий тиск запобіжний клапан системи стисненого повітря.

При огляді гідромуфти слід перевірити:

- стан лопаток роторів (деформація, раковини);
- кріплення роторів до валів;
- зазор між роторами;
- стан і знос підшипників;
- чистоту каналів підведення масла;
- кріплення стопорного кільця;
- співвісність валів муфти.

Після збирання муфту треба опресувати на тиск, указаний в інструкції з експлуатації.

При огляді фрикційної багатопластинчастої муфти необхідно перевірити:

- знос та деформацію пластин (при появі на внутрішніх пластинах характерного кольору від перегріву замінити їх);
- осьове переміщення пластин;
- знос поршневої групи, клапанів увімкнення муфти й переливного клапана;
- стан розподільника масла (манжет, сальників);
- стан підшипників і чистоту підведення керуючого та масла змащення.

При огляді електромагнітної муфти треба перевірити:

- знос і деформацію пластин та їх осьове переміщення;
- цілісність пружин дисків і залишкову деформацію;
- опір ізоляції обмотки збудження;
- знос ковзних контактів й інших струмоведучих пристроїв;
- опір ізоляції кабелю і всіх струмоведучих частин системи живлення муфти;
- стан та знос підшипників.

При огляді індукційної муфти необхідно перевірити:

- опір ізоляції обмотки збудження;
- опір ізоляції робочої обмотки;
- знос кілець колектора, стан щіток;
- стан відцентрового вимикача;
- стан і знос підшипників;
- опір ізоляції кабелю та всіх струмоведучих частин системи живлення муфти.

При огляді деталей регулятора потрібно перевірити:

- величину масляних зазорів у підшипниках ковзання й відсутність люфту в підшипниках кочення;
- відсутність люфту в системі тяг і важелів приводу;
- стан та величину зазору в зубчастих передачах.

Забруднення маслом є однією з причин незадовільної роботи регуляторів. Замінювати масло необхідно в терміни, обумовлені в інструкції підприємства-виробника.

3.13. Збирання судових двигунів після ремонту

Монтаж циліндрових втулок. При установленні циліндрових втулок у блок необхідно забезпечити щільність прилягання бурту втулки і нижнього ущільнювального пояса до блока. Щільність між буртом втулки і блоком досягається або за рахунок взаємного притирання (двигуни 6ЧСП 18/22, NVD та ін.), або за рахунок розташування між буртом втулки і блоком прокладки з м'якої відпаленої міді заданої товщини (двигуни 6ЧРН 36/45, L 275 тощо). Нижнє ущільнення втулок у більшості двигунах досягається установленням гумових кілець, попередньо змащених солідолом.

Циліндрові втулки запресовують у блок спеціальними пресами або за допомогою пристрою, зображеного на рис. 3.40. На верхній торець втулки ставлять поперечку 3. На кришкових шпильках 2 закріплюють траверсу 1. Між траверсою і поперечкою встановлюють домкрат 4, за допомогою якого запресовують. Після запресовування втулок у блок виконують гідравлічне випробування порожнин охолодження під тиском 0,4...0,6 МПа для перевірки ущільнень.

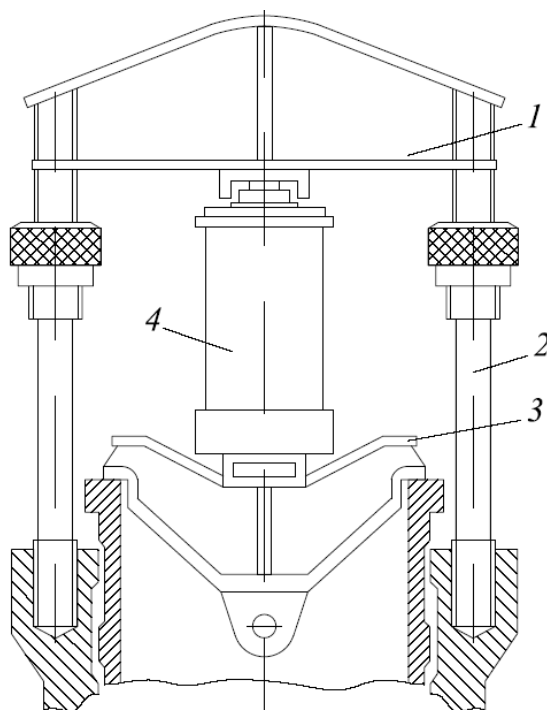


Рис. 3.40. Пристрій для запресовування циліндрових втулок

Монтаж циліндрового блока з фундаментною рамою. Блок із запресованими циліндровими втулками встановлюють на фундаментну раму. Для забезпечення герметичності та непроникності масла між блоком і рамою розташовують прокладку з паперу товщиною 0,2...0,3 мм або в спеціальну канавку закладають гумовий шнур. При встановленні блока необхідно забезпечити перпендикулярність осей циліндрів до осі колінчастого вала. Крім того, осі циліндрів повинні перетинати осі кривошипних шийок колінчастого вала по середині їх довжини.

Перпендикулярність осей циліндра до осі колінчастого вала перевіряють кутником і схилом (рис. 3.41). Кутник 2, накладений однією стороною на щок кривошипа 3, іншою має стикатися зі стінкою циліндричної втулки 1 на всій її довжині.

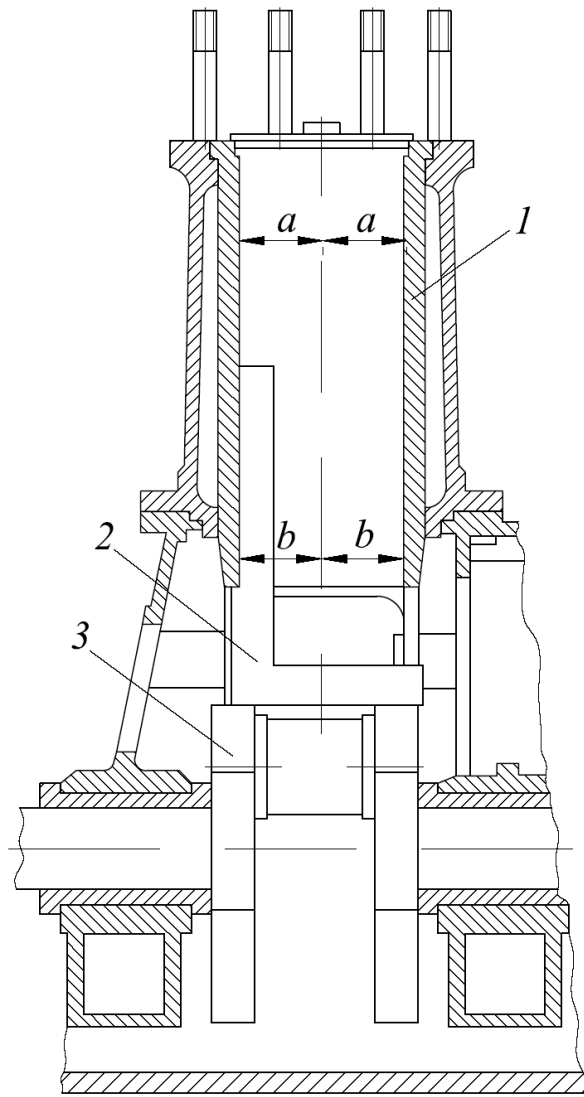


Рис. 3.41. Перевірка перпендикулярності осей циліндра і колінчастого вала за допомогою кутника й схилю

Відстані між схилом і стінкою циліндра $a-a$, $b-b$ повинні бути однаковими, схилю має розташовуватися посередині кривошипної шийки. Після збирання та обтиску всіх придонних і монтажних болтів встановлюються й затягують анкерні зв'язки. Гайки анкерних зв'язків затягують за допомогою накидного ключа певної довжини, строго дотримуючись рекомендацій заводу-виробника про порядок затягування.

Збирання поршня із шатуном. У сучасних двигунах поршень із шатуном з'єднується поршневим пальцем плаваючого типу: у втулці верхньої головки шатуна встановлюють зазор 0,03...0,07 мм, у бобишках поршня – натяг 0,01...0,04 мм. При складанні поршень нагрівають до 100...150 °С, а поршковий

палець охолоджують до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для нагрівання поршня використовують газовий пальник або електронагрівач (рис. 3.42). Охолодження пальців проводиться в холодильній шафі, де як холодоагент застосовують тверду вуглекислоту або рідкий азот.

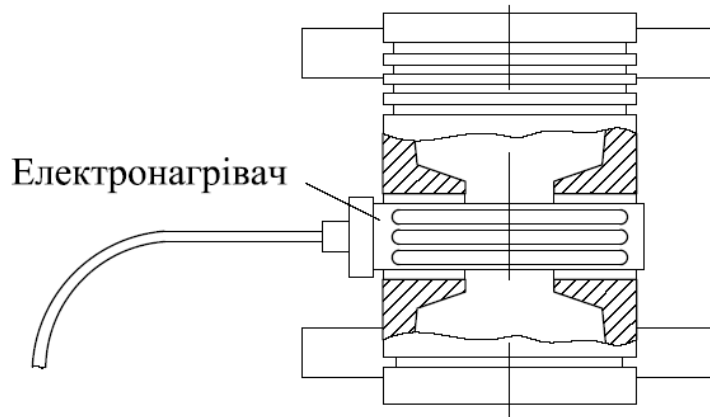


Рис. 3.42. Нагрівання поршня для посадки пальця

Для суміщення отворів у бобишках поршня і верхньої головки шатуна доцільно застосовувати технологічний пальцеуловлювач із заточеним на конус кінцем.

Готовий вузол поршень–шатун без кілець за допомогою талів заводять у циліндр (рис. 3.43) і складають шатунний підшипник з мінімальним зазором.

Вимірюють зазори S_1 , S_2 , S_2 , S_4 між поршнем і втулкою циліндра з боку носа й корми. Різниця вимірів не повинна перевищувати 0,07 мм. Після закінчення перевірки на поршень надягають кільця та опускають його в циліндр, застосовуючи напрямний конус, яким стискаються кільця.

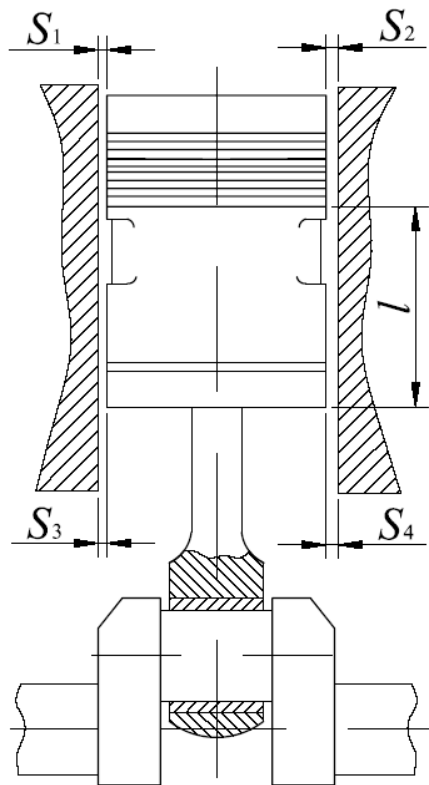


Рис. 3.43. Перевірка зазорів між поршнем і циліндровою втулкою при монтажі кривошипно-шатунного механізму

3.14. Регулювання суднових двигунів

Визначення положення мертвих точок. Зазвичай на ободі маховика є риска ВМТ, поєднання якої з нерухомою стрілкою на блоці циліндрів відповідає установленню поршня першого (від маховика) циліндра в положення ВМТ.

Для відліку кутів повороту кривошипа від мертвих точок обід маховика градуирований на 360° . Якщо риска відсутня або викликає сумнів, потрібно визначити положення маховика, що відповідає знаходженню поршня першого циліндра у ВМТ. Для цього використовують регляж (рис. 3.44). Він складається з корпусу 6, штока 7 і пружини 5. Корпус регляжа кріпиться в отвір для форсунки. Шток під дією пружини зміщується вниз, і стрілка 4 встановлюється на нуль шкали 3.

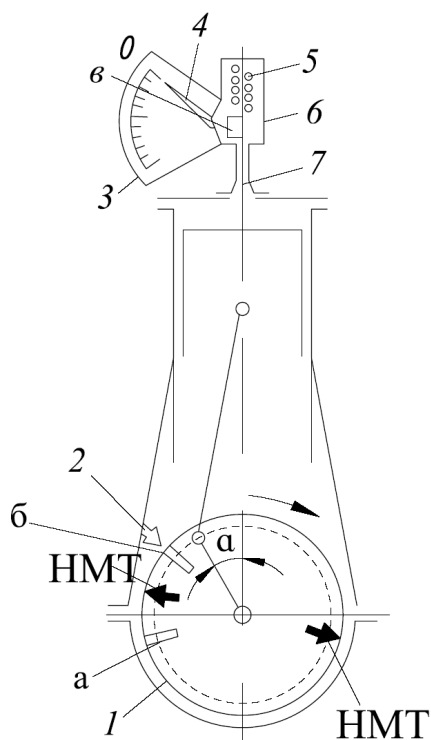


Рис. 3.44. Визначення верхньої мертвої точки,

Вал повертають на передній хід до тих пір, поки поршень, який рухається вгору, не підійме шток і стрілка 4 не відійде вниз від нульового положення на 2–3 поділки. Це положення буде відповідати положенню кривошипа, поки він не дійде до ВМТ на 30...40°. При цьому на шкалі ставлять мітку навпроти стрілки, а на обід маховика 1 риску б навпроти нерухомої стрілки 2. Потім продовжують повертати колінчастий вал. Стрілка спочатку буде опускатися до найнижчого положення, а потім підніматися вгору. Коли вона встановиться навпроти риски в, поворот маховика припиняють і навпроти стрілки 2 на ободі маховика ставлять риску а.

Відстань між рисками б і а ділять навпіл, де ставлять мітку ВМТ. При установленні маховика міткою ВМТ навпроти стрілки 2 поршень першого циліндра буде у ВМТ. Діаметрально протилежна мітка НМТ буде відповідати положенню поршня в НМТ.

Перевірка висоти камери стиснення. Через зношення шатунних і рамових підшипників збільшується висота камери стиснення, що призводить до зменшення ступеня стиснення і погіршення роботи двигуна. Небажане також і

зменшення камери стиснення при заміні деяких деталей кривошипно-шатунного механізму, що викликає зростання навантажень та максимального тиску циклу.

Для перевірки висоти камери стиснення знімають кришку і на плоску частину поршня ставлять свинцевий кубик. Кришку встановлюють на місце, кріплять її до циліндра і переводять поршень валоповоротним пристроєм через ВМТ. Потім знімають кришку, визначають висоту свинцевого кубика і порівнюють її зі значенням, зазначеним у формулярі двигуна. Висоту камери стиснення регулюють зміною товщини прокладки під п'ятою шатуна або кришкою циліндра.

Перевірка і регулювання механізму газорозподілу починається з перевірки і регулювання зазорів у клапанному приводі. Для цього знімають ковпаки із циліндрових кришок і відкривають індикаторні крани. Ставлять поршень першого циліндра у ВМТ, при цьому впускний і випускний клапани повинні бути закриті. Щупом або спеціальною пластиною перевіряють зазори між штоком клапана та бойком коромисла впускного і випускного клапанів. Зазори повинні відповідати значенням, вказаним у паспорті двигуна. В іншому випадку їх регулюють за допомогою регульовального болта. Так перевіряють зазори на кожному циліндрі в порядку їх роботи, повертаючи колінчастий вал за ходом, щоб поршень циліндра, який перевіряється, був у ВМТ при закритих клапанах.

Потім приступають до перевірки фаз газорозподілу, перевіряючи їх відповідність круговій діаграмі газорозподілу.

Фази газорозподілу перевіряють за першим циліндром у певному порядку.

1. Відкривають індикаторні крани і за допомогою валоповоротного пристрою поршень першого циліндра ставлять у ВМТ так, щоб обидва клапани (впускний і випускний) були відкриті. Такий стан відповідає перекриттю: випускний клапан ще не закрився, а впускний уже відкрився.

2. Вал повертають проти ходу на 40...60°, при цьому випускний клапан буде відкрито, а впускний закриється.

3. У зазор між коромислом і штоком клапана впуску заводять тонкий аркуш паперу, вал повільно обертають за ходом, а аркуш паперу переміщують. Як тільки папір заклинило, обертання зупиняють. Цим уловлюють момент початку відкриття впускного клапана.

4. За градуванням на маховику знаходять кут випередження відкриття впускного клапана. Він повинен відповідати даним кругової діаграми, допускається відхилення не більше $\pm 4^\circ$.

5. Провертаючи за ходом вал, установлюють момент, коли аркуш паперу звільниться. Він є моментом закриття впускного клапана. За градуванням на маховику знаходять кут запізнювання закриття впускного клапана.

Таким же чином перевіряють фази газорозподілу на інших циліндрах. При виявленні відхилення фактичних фаз від паспортних необхідно провести регулювання наступним чином:

– якщо у всіх циліндрах клапани відкриваються та закриваються раніше, ніж потрібно, треба вивести із зачеплення проміжну шестерню приводу і повернути розподільний вал на 1–2 зуби проти ходу;

– якщо ж пізніше, ніж потрібно, то слід повернути розподільний вал уперед за ходом.

У разі невідповідності фаз газорозподілу зазначеним у паспорті двигуна тільки в одному клапані замінюють або переставляють його кулачкову шайбу або добиваються відповідності регулюванням величини теплового зазору. Якщо клапан відкривається раніше, а закривається пізніше, збільшують зазор у клапанному приводі; якщо клапан відкривається пізніше, а закривається раніше, зменшують зазор.

Перевірка рівномірності подачі палива окремими насосами. Паливний насос ставлять на стенд. Під відкриті кінці нагнітальних трубок підставляють мензурки ємністю 200 см³ або зважений посуд. Рейку паливного насоса встановлюють у положення максимальної подачі і починають обертати

кулачковий вал насоса. Після 500 обертів посуд з паливом зважують з точністю до 1 г. Різниця в масі палива, поданого окремими насосами, не повинна перевищувати 3 %. При більшій різниці подачу регулюють способом, що залежить від конструкції насоса.

При індивідуальних насосах рівномірність подачі можна перевірити, не знімаючи насос із двигуна. Для цього реверсивний пристрій ставлять на передній хід, а паливну рейку на максимальну подачу палива. Нагнітальні трубки від'єднують від форсунок, прокачують насоси вручну, видаляють з них повітря. Потім ручним прокачуванням виконують 20 подач, збираючи паливо в мірні колби. Різниця в кількості поданого окремими насосами палива не повинна перевищувати 3 %.

Перевірку і регулювання кута випередження початку впорскування палива проводять у наступному порядку:

- від'єднують трубку високого тиску від насоса;
- на нагнітальний штуцер 5 насоса накидною гайкою 4 приєднують металеву трубку 3 моментоскопа (рис. 3.45);
- ставлять рейку паливного насоса на повну подачу палива і прокачують насос вручну до повного видалення повітря та заповнення скляної трубки 1 паливом;
- стискаючи гумову трубку 2, виливають зі скляної трубки 1 паливо до половини її довжини;
- повільно повертають колінчастий вал за ходом і вловлюють момент початку руху мениска палива в скляній трубці. Цей момент буде відповідати початку впорскування палива. Кут випередження початку впорскування палива визначають за градуванням на маховику.

Якщо фактичний кут випередження початку впорскування палива відрізняється від паспортного, його регулюють поворотом шайби паливного насоса на розподільному валу. Для збільшення кута випередження кулачкова шайба повертається у напрямку обертання розподільного вала, а для зменшення – проти напрямку його обертання.

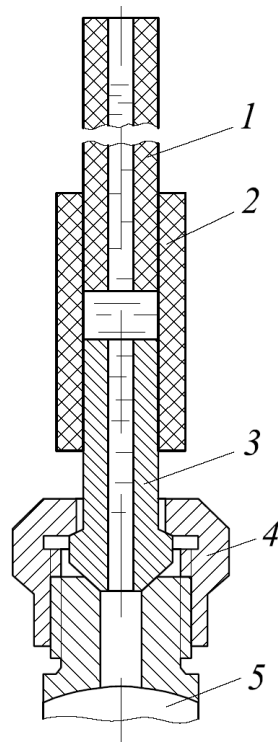


Рис. 3.45. Моментоскоп

Кут випередження початку впорскування палива блокових паливних насосів перевіряють за першою секцією. Змінюють його зміщенням півмуфти приводу паливного насоса.

Кут випередження початку впорскування палива можна перевірити також за допомогою форсунки (перевіреної та відрегульованої на стенді). Форсунку виймають з гнізда і закріплюють на нагнітальній трубці насоса, що перевіряється. Ручним прокачуванням насоса виконують два-три впорскування. Потім повертають вал заходом до моменту початку впорскування. Кут випередження початку впорскування визначають за градуванням на маховику. При визначенні за допомогою форсунки кут випередження початку впорскування палива приблизно на 20 % менший, ніж кут, визначений за допомогою моментоскопа.

Перевірка паливного насоса високого тиску на нульову подачу. При встановленні органа керування (рукоятки або маховика) в положення «Стоп» паливні насоси не повинні подавати паливо, інакше двигун не можна буде зупинити. Це перевіряють наступним чином. Рейку паливних насосів ставлять

на повну подачу палива. Подають паливо до паливного насоса високого тиску і прокачують їх вручну. Потім орган керування ставлять у положення «Стоп», при ручному прокачуванні насоси не мають подавати палива.

Більш точно нульове прокачування перевіряють за допомогою моментоскопа. Моментоскоп установлюють на нагнітальний штуцер насоса. При положенні рейки на подачі палива прокачують насос, щоб паливо заповнило половину скляної трубки. Потім ставлять орган керування на «Стоп» і прокачують насос вручну. Якщо насос відрегульований правильно, меніск при цьому буде залишатися нерухомим. Якщо перевірка показала відсутність нульової подачі, насос регулюють. Спосіб регулювання залежить від конструкції насоса.

Перевірка системи пуску. Для перевірки загального дискового розподільника повітря на полі корпусу 4 (рис. 3.46) проводять радіус 3, дотичний до передньої кромки каналу 2, по якому повітря надходить до пускового клапана першого циліндра. На його кінці ставлять мітку 1. На диску 8 проводять радіус 7, дотичний до передньої кромки вікна 6, і ставлять мітку 5. Коли розподільник повітря складений і його привід з'єднаний з колінчастим валом, останній повертають за ходом до збігу міток 1 і 5. Цей момент відповідає початку надходження пускового повітря в перший циліндр, поршень якого на такті стиснення повинен не дійти до ВМТ на кут випередження впуску стисненого повітря. Він знаходиться в межах $5...10^\circ$ і не може викликати зворотний рух поршня, оскільки в цей час в інший циліндр, де поршень знаходиться в такті розширення, вже надходить основна маса повітря, яку поршень даного циліндра буде рухати вниз і поверне колінчастий вал у потрібний бік. Пусковий клапан відкривається з випередженням, для того щоб, коли поршень пройде ВМТ, пусковий клапан був відкритий на достатню величину. Для регулювання кута випередження подачі повітря зазвичай передбачена можливість переміщення диска розподільника повітря на шліцах.

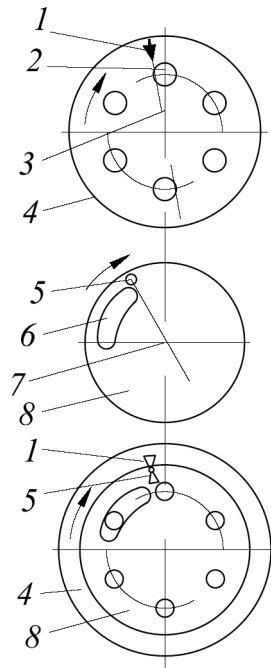


Рис. 3.46. Перевірка дискового розподільника повітря

3.15. Запасні частини і технічна документація

Для гарантування безпеки плавання суден та їх ефективної технічної експлуатації двигуни мають бути забезпечені запасними частинами в точній відповідності до кількості й номенклатури за нормами Регістру судноплавства України та нормами щодо технічного обслуговування та ремонту, а також матеріалами, спеціальним інструментом, контрольно-вимірювальними приладами, необхідними для технічного обслуговування двигунів, номенклатура й обсяг яких установлюється судновласником залежно від марки двигуна, його технічного стану та умов експлуатації.

Застосовувати запасні частини бортового запасу, встановленого правилами Регістру судноплавства України, дозволяється тільки при поломках та пошкодженнях деталей і вузлів двигуна в період експлуатації судна. Оформляти використання запасних частин необхідно спеціальними актами, на підставі яких потім повинно проводитися списання та поповнення запасу.

При прибутті судна на базу постачання або обслуговування старший механік зобов'язаний вживати своєчасних заходів для поповнення бортового

запасу запасних частин за нормами, що відповідають вимогам Регістру судноплавства України.

Усі запасні частини, що знаходяться на борту судна, повинні бути:

- закріплені в легкодоступних місцях з урахуванням зручності їх огляду і знімання;
- забезпечені бірками з вказівкою інвентарного номера, назви механізму, для якого вони призначені, та дати отримання їх на судно;
- захищені від корозії, для чого їх поверхні покривають шаром консерваційного масла, забарвлюють або покривають лаком або іншими антикорозійними покриттями;
- занесені в інвентарну книгу.

З метою перевірки кількості й технічного стану запасних частин при зберіганні необхідно через кожні шість місяців проводити огляд, переоблік та за необхідності переконсервацію запасних частин і спеціальних пристосувань. Про зазначені перевірки мають бути зроблені відповідні записи в машинному журналі та інвентарній книзі запасних частин. Заміна зношених деталей, як правило, повинна збігатися із часом проведення технічного обслуговування і чергових ремонтів.

Номенклатура і кількість запасних частин установлюються МСС (або іншими службами, фахівцями) судновласника залежно від конструкції двигунів та зносостійкості його вузлів на підставі норм, установлених підприємством-виробником, норм витрат запасних частин судових двигунів флоту. Поповнення запасних частин має проводитися за заявками МСС (або аналогічних служб, фахівців) судновласника, на відповідальності яких лежить своєчасне і комплектне забезпечення суден запасними частинами.

Запасні частини повинні зберігатися на складах берегових баз постачання судновласника, який несе відповідальність за їх стан. Допускається зберігання окремих запасних частин, що використовуються при планово-попереджувальних ремонтах, безпосередньо на судах.

Для забезпечення нормальної технічної експлуатації та ремонту дизельної установки на кожному судні має бути наступна **документація**:

- технічні формуляри на головні й допоміжні двигуни та обслуговуючі їх допоміжні механізми;
- інструкції з експлуатації головних і допоміжних двигунів, обслуговуючих їх допоміжних механізмів, утилізаційних котлів та трубопроводів машинного відділення;
- графіки залежності швидкості судна, годинної витрати палива і потужності двигуна від частоти обертання головних двигунів, що працюють за гвинтовими характеристиками, осадки судна та положення лопатей ГРК для двигунів, що працюють за навантажувальною характеристикою;
- шнурові книги Регістру на ємності повітря й котли (включаючи утилізаційні);
- акти оглядів та випробувань двигунів, видані інспектором Регістру в період останнього щорічного огляду;
- інвентарна книга запасних частин;
- комплект складальних креслень та схем для головних і допоміжних двигунів, обслуговуючих їх допоміжних механізмів, трубопроводів машинного приміщення та утилізаційних котлів (для двигунів малої потужності, а також за наявності ілюстрованих вказівок, що містять креслення вузлів двигуна, перелік креслень, що зберігаються на судні, може бути скорочений за погодженням з Регістром);
- положення про технічну експлуатацію суден;
- правила технічної експлуатації судових двигунів;
- статут служби на суднах флоту України;
- правила техніки безпеки, санітарні правила й правила пожежної безпеки на суднах;
- правила експлуатації систем та пристроїв автоматизації;
- норми зносів і міжремонтних періодів двигунів.

До обов'язкових технічних документів з обліку та контролю за експлуатацією суднової дизельної установки належать:

- машинний журнал;
- журнал технічного стану;
- журнал теплотехнічного контролю двигунів;
- журнал індиціювання головного двигуна;
- журнал контролю якості ПММ та охолоджуючої води двигунів;
- рейсове донесення;
- теплотехнічні й рейсові машинні звіти;
- графіки виконання робіт з технічного обслуговування;
- акти інспекторських оглядів, аварій і подій;
- ремонтні відомості та звітність на роботи, що виконуються силами машинної команди.

Машинний журнал, який є основним документом контролю за режимом роботи двигуна, повинен щодоби перевірятися і підписуватися старшим механіком та капітаном. Не допускається ведення двох машинних журналів: чистового та чорнового. Усі перераховані вище документи, крім машинного журналу, мають зберігатися у старшого механіка. Машинний журнал повинен знаходитися в машинному приміщенні. Контроль за правильністю ведення і зберігання технічної документації має здійснюватися МСС (чи аналогічною службою, фахівцем) судновласників.

Контрольні питання

1. Що являє собою ремонтна відомість? Ким і в які терміни вона складається?
2. Яких загальних правил потрібно дотримуватися при розбиранні двигуна?
4. У чому полягає дефектація фундаментних рам, блока циліндрів і циліндрових втулок?
5. Як перевіряють прямолінійність і знос колінчастого вала?

6. У чому полягають дефектація і ремонт циліндрових кришок?
7. Як проводиться притирання клапанів?
8. За якими ознаками бракуються поршневі кільця?
9. Які види зносу і пошкоджень характерні для підшипників?
10. Які дефекти зустрічаються в механізмах газорозподілу?
11. За якими параметрами та як перевіряють форсунки? Способи усунення дефектів.
12. За якими параметрами та яким чином перевіряють паливний насос високого тиску? Як усунути дефекти?
13. Як перевіряють правильність збирання кривошипно-шатунного механізму?
14. Яким чином визначити мертві точки?
15. Для чого та як перевіряють висоту камери згоряння?
16. Яким чином перевіряють і регулюють фази газорозподілу?
17. Як перевіряють і регулюють кут випередження початку впорскування палива?
18. Для чого та яким чином перевіряється паливний насос високого тиску на нульову подачу?

РОЗДІЛ 4. ПАЛИВО, МАСЛО ТА ОХОЛОДЖУЮЧІ РІДИНИ

4.1. Загальні вказівки щодо використання палив, масел та охолоджуючих рідин

Для суднових двигунів мають застосовуватися тільки ті сорти палива та масла, характеристики яких відповідають вимогам інструкцій з експлуатації. Експлуатація двигунів на сортах палива та масла, які замінюють рекомендовані заводською інструкцією, може бути допущена тільки за розпорядженням судновласника на базі позитивних результатів експлуатаційних випробувань.

Судна з потужністю головної силової установки більше ніж 370 кВт повинні мати переносну експрес-лабораторію для здійснення аналізів палива та масел. Інші судна мають забезпечуватися відповідними швидкодіючими індикаторами. Прийом палива та масла без сертифікатів, що характеризують їх якість, категорично забороняється. Термін давності лабораторного аналізу на паливо та масло не повинен перевищувати 6 місяців.

При прийомі палива та масла мають бути прийняті необхідні заходи щодо запобігання забрудненню навколишнього середовища відповідно до вимог Міжнародної конвенції із запобігання забрудненню моря нафтою та інших нормативних документів, діючих у даній галузі.

4.2. Паливо

Розрізняють два типи рідких нафтових палив для суднових двигунів [ДСТУ 4317:2004]:

- дистилятні (distillate fuel) зі значенням в'язкості в межах 1,4...11 мм²/с, які складаються з легких фракцій, отриманих дистиляцією в прямогонних чи крекінг-установках;

- залишкові (residual fuels) або важкі (heavy fuels) зі значенням в'язкості в межах 10...700 мм²/с, що складаються із суміші важких залишкових фракцій з дистилятами.

До 80-х років XX століття не існувало жодних міжнародних технічних вимог до палив для суднових двигунів. Першим стандартом, який установлював ці вимоги, став BS MA 100:1982, розроблений Британським інститутом стандартів (BSI) у 1981 році. До 1987 року BS MA 100:1982 був орієнтиром при виборі типу палива для постачальників та замовників.

У 1987 році Міжнародною організацією зі стандартизації ISO (International Organization for Standardization) був опублікований стандарт ISO 8217 «Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels», який переглядався у 1996, 2005, 2010, 2012, 2017 роках і зараз знаходиться на стадії перегляду в очікуванні нової редакції. ISO 8217:2017 встановлює вимоги до палив, призначених для використання в суднових дизельних двигунах і котлах, перед звичайною обробкою на борту (відстоювання, центрифугування, фільтрація). Технічні вимоги до палив, наведені в цьому документі, можуть також застосовуватися до палив, що використовуються в стаціонарних дизельних двигунах того ж або подібного типу, що і ті, які використовуються в морських цілях.

Стандарт ISO 8217:2017 включає в себе дві таблиці, в яких детально описані характеристики залишкового (табл. 4.1) і дистилятного (табл. 4.2) палива. Таблиця залишкового палива містить інформацію про шість категорій палива. У таблиці дистилятних палив подано сім категорій палив.

Більшість судновласників зараз замовляють паливо відповідно до тієї чи іншої версії стандарту ISO 8217. Зазвичай використовується остання версія, але якщо відбулися зміни, які не влаштовують судновласника, він може продовжувати вказувати більш ранню версію.

Іншими широко застосовуваними технічними вимогами для рідких нафтових палив є вимоги Міжнародної ради з двигунів внутрішнього згоряння (International Council on Combustion Engines – CIMAC) – «Recommendations Regarding Fuel Quality for Diesel Engines». Рекомендації CIMAC охоплюють нафтове паливо для використання в суднових і стаціонарних дизельних двигунах.

Таблиця 4.1. Залишкові палива згідно з ISO 8217:2017

Параметр	Межа	RMA 10	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMG				RMK		
						180	380	500	700	380	500	700
В'язкість при 50 °C, мм ² /с ¹⁾	Макс.	10,00	30,00	80,00	180,00	180,00	380,00	500,00	700,00	380,00	500,00	700,00
Густина при 15 °C, кг/м ³	Макс.	920,0	960,0	975,0	991,0		991,0				1010,0	
Коксовий залишок, % мас.	Макс.	2,50	10,00	14,00	15,00		18,00				20,00	
Вміст алюмінію та кремнію, мг/кг	Макс.	25	40		50				60			
Вміст натрію, мг/кг	Макс.	50	100		50				100			
Зольність, % мас.	Макс.	0,040		0,070				0,100			0,150	
Вміст ванадію, мг/кг	Макс.	50		150				350			450	
Розрахунковий індекс вуглеводневої ароматизації	Макс.	850		860					870			
Вміст води, % об.	Макс.	0,30						0,50				
Температура застигання ²⁾ влітку, °C	Макс.		6						30			
Температура застигання ²⁾ взимку, °C	Макс.		0						30			
Температура спалаху, °C	Мін.							60				
Вміст сірки ³⁾ , % мас.	Макс.						Нормативні вимоги					
Загальний осад після старіння, % мас.	Макс.							0,10				
Кислотне число, мгКОН/г	Макс.							2,50				
Відпрацьовані змащувальні масла (ВЗМ): вміст Ca і Zn або Ca і P, мг/кг		Паливо має бути вільним від ВЗМ або містити ВЗМ відповідно до однієї з таких умов: Ca > 30 і Zn > 15 або Ca > 30 і P > 15										
Вміст сірководню, мг/кг	Макс.							2,00				

1) – 1 мм²/с = 1 сСт.

2) – Покупець має переконатися, що ця температура застигання підходить для передбачуваного району експлуатації судна.

3) – Покупець повинен визначити максимальний вміст сірки згідно з відповідними законодавчими обмеженнями.

Таблиця 4.2. Дистилятні палива згідно з ISO 8217:2017

Параметр	Межа	DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB	DFB
В'язкість при 40 °C, мм ² /с	Макс.	5,500	6,000		6,000		11,000	
В'язкість при 40 °C, мм ² /с	Мін.	1,400	2,000		3,000		2,000	
Коксування 10%-го залишку розгонки (мікрометод) , %	Макс.	0,30	0,30		0,30		–	
Густина при 15 °C, кг/м ³	Макс.	–	890,0		890,0		900,0	
Коксовий залишок, % мас.	Макс.	–	–		–		0,30	
Вміст сірки ¹⁾ , % мас.	Макс.	1,0	1,0		1,0		1,5	
Вміст води, % об.	Макс.	–	–		–		0,30	
Загальний осад при гарячій фільтрації, % мас.	Макс.	–	–		–		0,10 ²⁾	
Зольність, % мас.	Макс.	0,010	0,010		0,010		0,010	
Температура спалаху, °C	Макс.	43,0	60,0		60,0		60,0	
Температура застигання взимку, °C	Макс.	–	–6		–6		0	
Температура застигання влітку, °C	Макс.	–	0		0		6	
Температура помутніння взимку, °C	Макс.	–16	Report		Report		–	
Температура помутніння влітку, °C	Макс.	–16	–		–		–	
Розрахункове цетанове число	Мін.	45	40		40		35	
Кислотне число, мгКОН/г	Макс.	0,5	0,5		0,5		0,5	
Стабільність до окиснення, г/м ³	Макс.	25	25		25		25 ³⁾	
Метилові ефіри жирних кислот	Макс.	–	–	7,0	–	7,0	–	7,0
Змашувальна здатність: скоригований діаметр плями (wsd 1.4 при 60 °C) ⁴⁾	Макс.	520	520		520		520 ³⁾	
Вміст сірководню, мг/кг	Макс.	2,00	2,00		2,00		2,00	
Зовнішній вигляд		Чисте та прозоре						

1) – Покупець повинен визначити максимальний вміст сірки згідно з відповідними законодавчими обмеженнями.

2) – Якщо зразок не є прозорим і світлим, необхідно визначити загальний осад за допомогою гарячої фільтрації та тестів на воду.

3) – Якщо зразок не є прозорим і яскравим, тест не може бути проведений, а, отже, відповідність цьому параметру не може бути встановлена.

4) – Ця вимога застосовується до палива з вмістом сірки нижче 500 мг/кг (0,050 мас. %).

Рекомендації застосовуються до палива в тому вигляді, в якому воно поставляється, тобто до відповідної обробки перед використанням, та призначені, насамперед, для застосування виробниками двигунів у своїх інструкціях. Це дозволяє визначати марки пального, які підходять для певного типу двигуна та установки для підготовки пального.

Наразі діє четверте видання 2003 року, яке подібне до міжнародного стандарту ISO 8217, однак у деяких аспектах Рекомендації CIMAC посилюють низку параметрів і вводять додаткові характеристики. Відповідно до Рекомендацій дистилятні палива (табл. 4.3) представлені класами DX, DA, DB, DC, залишкові (табл. 4.4) – класами A30, B30, D80, E180, F180, G380, H380, K380, H700, K700.

DX – паливо, яке можна використовувати за температури навколишнього середовища до -16°C без підігріву палива. У торговельному флоті його застосування обмежується двигунами рятувальних шлюпок і певним аварійним обладнанням через знижену температуру спалаху.

DA – це високоякісний дистилят, який зазвичай називають MGO (Marine Gas Oil).

DB – паливо загального призначення, що може містити незначну кількість залишкового палива, його зазвичай називають дистилятом MDO (Marine Diesel Oil).

DC – це паливо, яке може містити значну частку залишкових компонентів, тому воно не підходить для установок, де двигун або паливна установка не призначені для використання залишкових палив; зазвичай його називають сумішевим дизельним паливом.

A30 – паливо, яке доступне для роботи за низьких температур навколишнього середовища в установках без підігріву накопичувального резервуара, оскільки максимальна температура застигання дорівнює нулю. B30 може потребувати деякого підігріву резервуара, оскільки паливо може не текти за температури нижче $+24^{\circ}\text{C}$. Із цих двох марок A30 має нижчу

максимальну межу густини і мінімальну межу в'язкості, що підвищує ймовірність гарних запалювальних властивостей.

Таблиця 4.3. Дистилятні палива згідно з Рекомендаціями СІМАС

Параметр	Межа	DX	DA	DB	DC
Густина при 15 °С, кг/м ³	Макс.	—	890,0	900,0	920,0
В'язкість при 40 °С, мм ² /с	Макс.	5,5	6,0	11,0	14,0
В'язкість при 40 °С, мм ² /с	Мін.	1,40	1,50	2,50	4,00
Температура спалаху, °С	Мін.	43	60	60	60
Температура застигання взимку, °С	Макс.	—	–6	0	0
Температура застигання влітку, °С	Макс.	—	0	6	6
Температура помутніння, °С	Макс.	–16	—	—	—
Коксування 10%-го залишку розгонки (мікрометод), %	Макс.	0,30	0,30	—	—
Коксовий залишок, % мас.	Макс.	—	—	0,30	2,50
Зольність, % мас.	Макс.	0,01	0,01	0,01	0,03
Зовнішній вигляд		Чисте та прозоре			—
Загальний осад після старіння, % мас.	Макс.	—	—	0,10	0,10
Вміст води, % об.	Макс.	—	—	0,30	0,30
Цетанове число	Мін.	45	40	35	35
Вміст сірки, % мас.	Макс.	1,00	1,50	2,00	2,00
Вміст ванадію, мг/кг	Макс.	—	—	—	100
Вміст алюмінію та кремнію, мг/кг	Макс.	—	—	—	25

D80, E180, F180, G380, H380, H700 – це паливні суміші, які потребують обробки перед використанням за допомогою звичайної системи сепараторів, щоб знизити вміст забруднюючих речовин до прийнятного рівня. Як правило, для роботи двигуна слід застосовувати паливо з найвищою в'язкістю (з урахуванням максимальної температури попереднього підігріву, дозволеної конструкцією двигуна), за винятком випадків, коли інші параметри більш вагомі, ніж в'язкість при виборі сорту палива.

K380 і K700 призначені тільки для використання в установках із сепараторами, спеціально призначеними для палив з більшою густиною (понад 991 кг/м³).

В Україні палива для суднових двигунів класифікуються за ДСТУ 4317:2004. Нафтопродукти. Палива (клас F). Класифікація. Частина 1. Категорії палив для суднових двигунів (ISO 8216-1:1996, MOD). Крім того, діє Постанова Кабінету Міністрів України № 927 «Про затвердження технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив». Цей технічний регламент установлює вимоги до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив, що вводяться в обіг і реалізуються на території України, з метою захисту життя й здоров'я людини, тварин, рослин, національної безпеки, охорони навколишнього середовища та природних ресурсів.

Міжнародні та регіональні організації з охорони довкілля мають значний вплив на ринок суднових палив. Провідну роль відіграє Міжнародна морська організація (ІМО). Найважливішою серед заходів ІМО щодо боротьби із забрудненням довкілля є Міжнародна конвенція із запобігання забрудненню із суден 1973 року, в редакції 1978 (MARPOL 73/78).

Для світової паливної галузі на сьогодні найбільше значення має Додаток VI MARPOL 73/78 з питання обмеження викидів продуктів згоряння в атмосферу. У ньому визначено морські басейни і райони SECA (SO_x Emission Control Areas – зони контролю за викидами оксидів сірки), де суворо контролюють викид оксидів сірки, а також встановлено обмеження на її вміст у судновому паливі. У 2005 році глобальну межу вмісту сірки в паливі було встановлено на рівні 4,5 % мас. Також у 2005 році, коли було створено першу зону контролю викидів, межа, встановлена для цих зон, складала 1,5 % сірки за масою.

Межа в SECA 1 липня 2010 року була знижена до 1,0 %, а глобальну межу було знижено з 1 січня 2012 року до 3,5 %. Після 1 січня 2015 року ліміт у SECA, яких на той момент діяло чотири, було знижено до 0,1 %, а з 1 січня 2020 року глобальний ліміт було знижено до 0,5 %. Суднам, обладнаним системами очищення випускних газів, дозволено продовжувати спалювати паливо з будь-яким вмістом сірки до тих пір, поки компонент SO_x

у випускних газах еквівалентний компоненту SO_x суден, які спалюють паливо, що відповідає вимогам.

4.3. Масло

Марка масла для двигуна вказується в технічних умовах або заводській інструкції з експлуатації. Для змащення судових тронкових і крейцкопфних двигунів залежно від їх типу й теплонапруженості, а також від марки палива, на якому вони працюють, рекомендується застосовувати моторні масла з присадками (табл. 4.5 і 4.6) та картою масел.

Таблиця 4.5. Масла для судових двигунів при роботі на різних паливах

Тип палива	В'язкість кінематична, мм ² /с (сСт)		Густина при 20 °С, кг/м ³ , не більше	Вміст сірки, %, не більш	Коксування, %, не більш	Зольність, %, не більш
	50 °С	80 °С				
Малов'язке	Менше 12	–	890	1,0	0,5	0,05
Середньов'язке	12...150	5...40	970	2,5	9,0	0,20
Високов'язке	Більше 150	40...120	1015	4,3	–	0,20

Таблиця 4.6. Марка масла залежно від типу палива, що використовується в крейцкопфних двотактних двигунах

Марка двигуна, країна-виробник	Марка масла залежно від типу використовуваного палива		
	Малов'язке	Середньов'язке	Високов'язке
Вітчизняні			
5ДКРН 50/110	М-16-Г2(цс)	–	–
5ДКРН 50/110-2	–	М-16-Е (30)	–
6ДКРН 74/160-2,3	–	М-16-Е (30)	–
6ДКРН 45/120-7	–	М-16-Е (30)	М-20-Е (70)
Німеччина			
К92 60/105Е	–	М-16-Е (30)	М-20-Е (70)
К92 70/125Е	–	М-16-Е (30)	М-20-Е (70)
К532 70/125В	–	М-16-Е (30)	М-20-Е (70)

Примітка. Коксування імпортного середньов'язкого палива не більше 14 %, високов'язкого – не більше 22 %; вміст сірки в імпортному високов'язкому паливі не більше 5 %.

При застосуванні дизельних палив середньої в'язкості категорії А і В рекомендуються до використання змащувальні масла імпортного виробництва з BN 10...25, а також BN 30 (табл. 4.7).

Таблиця 4.7. Рекомендовані змащувальні масла з BN 10...25 для палив категорії А і В

Постачальник	Марка масла	В'язкість	BN	Категорія палива
BP	Energol HPDX 40 Energol IC-HFX 204	SAE 40	12 20	A A, B
Castrol	HLX 40 MHP 154 Seamax Extra 40 TLX Plus 204	SAE 40	12 15 15 20	A A, B A, B A, B
Chevron (Texaco + Caltex + FAMM)	Delo 1000 Marine 40 Delo 2000 Marine 40 Taro 12 XD 40 Taro 20 DP 40	SAE 40	12 20 12 20	A A, B A A, B
ExxonMobil	Del vac 1640 Mobilgard ADL 40 Mobilgard 412 Mobilgard 1 SHC	SAE 40	12 15 15 15	A A, B A, B A, B
Indian Oil Corporation	Servo Marine 1040 Servo Marine 2040	SAE 40	10 20	A A, B
Petrobras	Marbrax CCD-410-AP Marbrax CCD-415 Marbrax CCD-420	SAE 40	12 15 20	A A, B A, B
Shell	Gadinia Oil 40	SAE 40	12	A
Statoil	MarWay 1040	SAE 40	10.6	A
Total/Lubmarine	Disola M 4015 Disola M 4020	SAE 40	14 20	A A, B

Сучасні середньообертові турбопоршневі дизельні двигуни частіше всього застосовують важкі та суперважкі палива, в'язкість яких досягає 720 сСт. У таких умовах рекомендуються до використання змащувальні масла імпортного виробництва з BN 50...55, які зазначені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8. Рекомендовані змащувальні масла з BN 50...55 для палив категорії С

Постачальник	Марка масла	В'язкість	BN	Категорія палива
BP	Energol IC-HFX 404 Energol IC-HFX 504	SAE 40	40 50	C

Castrol	TLX Plus 404 TLX Plus 504 TLX Plus 554	SAE 40	40 50 55	C
Cepsa	Troncoil 4040 PLUS Troncoil 5040 PLUS Ertoil Koral 4040 SHF Ertoil Koral 5040 SHF	SAE 40	40 50 40 50	C
Chevron (Texaco+Caltex+F AMM)	Taro 40 XL 40 Taro 50 XL 40 Taro 40 XL 40X Taro 50 XL 40X Delo 3400 Marine 40 Delo 3550 Marine 40	SAE 40	40 50 40 50 40 55	C
Chinese Petroleum Corporation	Marilube Oil W 404 Marilube Oil W 504	SAE 40	40 50	C
ENI S.p.A.	Cladium 400 S Cladium 500 S Cladium 550 S	SAE 40	40 50 55	C
ExxonMobil	Exxmar 40 TP 40 Exxmar 50 TP 40 Mobilgard M 440 Mobilgard M 50	SAE 40	40 50 40 50	C
Fuchs	Titan PSW 40 SAE 40 Titan PSW 55 SAE 40	SAE 40	40 55	C
Indian Oil Corporation	Servo Marine K-4040 Servo Marine K-5040 Servo-Marine K-5540	SAE 40	40 50 55	C
Lukoil	Navigo TPEO 40/40 Navigo TPEO 50/40 Navigo TPEO 55/40	SAE 40	40 50 55	C
Morris Lubricants	Aquamor 140MD Aquamor 150MD	SAE 40	40 50	C
Nippon Oil Corporation	Marine T404 Marine T504	SAE 40	40 50	C
Pertamina	Martron 440 Martron 450 Medripal 440 Medripal 450 Salyx 440 Salyx 450	SAE 40	40 50 40 50 40 50	C
Petrobras	Marbrax CCD-440 Marbrax CCD-450	SAE 40	40 50	C
Petron	Petromar XC 4040 Petromar XC 5540	SAE 40	40 55	C
Petronas Lubricants International	Disrol 400 SAE 40 Disrol 500 SAE 40 MAEO 4040 MAEO 4050	SAE 40	40 50 40 50	C
Repsol YPF	Neptuno W NT 4000 SAE 40 Neptuno W NT 5500 SAE 40	SAE 40	40 55	C
Shell	Argina X 40 Argina XL 40	SAE 40	40 50	C

Total/Lubmarine	Aurelia XL 4040 Aurelia XL 4055 Aurelia TI 4040 Aurelia TI 4055	SAE 40	40 55 40 55	C
Indian Oil Corporation	Servo Marine K-4040 Servo Marine K-5040 Servo-Marine K-5540	SAE 40 SAE 40 SAE 40	40 50 55	C C C

При застосуванні дизельних палив середньої в'язкості категорії А, В і С рекомендуються до використання змащувальні масла імпортного виробництва з BN 30, які позитивно впливають на каталізатори типу SCR та зазначені в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Рекомендовані змащувальні масла з BN 30 для палив категорії А, В і С, які позитивно впливають на каталізатори типу SCR

Постачальник	Марка масла	В'язкість	BN	Категорія палива
BP	Energol IC-HFX 304	SAE 40	30	A, B, C
Castrol	TLX Plus 304	SAE 40	30	A, B, C
Cepsa	Troncoil 3040 PLUS, Ertoil Koral 3040 SHF	SAE 40	30	A, B, C
Chevron (Texaco+Caltex+FAM M)	Taro 30 DP 40, Taro 30 DP 40X, Delo 3000 Marine 40	SAE 40	30	A, B, C
Chinese Petroleum Corporation	Marilube Oil W 304	SAE 40	30	A, B, C
ENI S.p.A.	Cladium 300 S	SAE 40	30	A, B, C
Exxon Mobil	Exxmar 30 TP 40, Mobilgard M 430	SAE 40	30	A, B, C
Fuchs	Titan PSW 30 SAE 40	SAE 40	30	A, B, C
Indian Oil Corporation	Servo Marine K-3040	SAE 40	30	A, B, C
Lukoil	Navigo TPEO 30/40	SAE 40	30	A, B, C
Morris Lubricants	Aquamor 130MD	SAE 40	30	A, B, C
Nippon Oil Corporation	Marine T304	SAE 40	30	A, B, C
Pertamina	Martron 430, Medripal 430, Salyx 430	SAE 40	30	A, B, C
Petrobras	Marbrax CCD-430	SAE 40	30	A, B, C
Petron	Petromar XC 3040	SAE 40	30	A, B, C
Petronas Lubricants International	Disrol 300 SAE 40	SAE 40	30	A, B, C
Shell	Argina T 40	SAE 40	30	A, B, C
Total/Lubmarine	Aurelia XL 4030, Aurelia TI 4030	SAE 40	30	A, B, C

Масла клас в'язкості SAE 30 або SAE 40 використовується у всіх типах двигунів. Турбокомпресорні масла також можуть бути застосовані у регуляторах. За низької температури навколишнього повітря може бути необхідним використання всесезонного масла (наприклад, SAE 5W-40), щоб забезпечити надійний запуск двигуна. Інтервал заміни масел – через 2000 год експлуатації. У двигунах зарубіжного виготовлення, що знаходяться в гарантійному періоді експлуатації, застосовуються моторні масла, зазначені картою масла або в інструкції з експлуатації.

Основний перелік вітчизняних марок моторних масел, які використовуються в суднових двигунах, подано у табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Обмежувальний перелік вітчизняних марок моторних масел, які використовуються в суднових двигунах

Група	Основна марка масла		Дублююча марка масла	
	Позначення масла	Раніше прийняте позначення масла	Позначення масла	Раніше прийняте позначення масла
B2	M-10-B2(с) M-20-B2(ф)	M-20B2C M-20B2Ф	M-12B2У	МС-20П
Г2	M-10-Г2(цс) M-14-Г2(цс) M-16-Г2(цс)	M-10Г2ЦС M-14Г2ЦС M-16Г2ЦС	M-10-B2(С) M-14B2 M-16-Д(р)	M-10B2C M-14B2 M-16Д
Д	M-10-Д(цл20) M-14Д(цл20) M-14Д(цл30)	M-10ДЦЛ20 M-14ДЦЛ20 M-14ДЦЛ30	—	—
Е	M-16-E(30) M-20-E(70) ТУ 38 1011197	M-16E30 M-20E70	—	—

Основні фізико-хімічні показники моторних і турбінних масел вітчизняного виробництва, які використовуються в системах змащення суднових двигунів, наведені у табл. 4.11–4.13.

Таблиця 4.11. Фізико-хімічні показники масел вітчизняного виробництва. Масла моторні для суднових двигунів

Показники	М-10В2С	М-14В2	М-10Г2ЦС	М-10ДМ
В'язкість кінематична при 100 °С, мм ² /с	11,0...12,0	13,5...14,5	10,0...11,0	Не менше 1,4
Індекс в'язкості, не менше	83	85	92	90
Лужне число, мг КОН на 1 г масла, не менше	4,0	4,8	9,0	8,2
Зольність сульфатна, %, не більше	1,0	1,2	1,5	1,5
Масова частка механічних домішок, %, не більше	0,010	0,020	0,010	0,025
Масова частка води, %, не більше	Сліди			
Температура спалаху, °С, не нижче	210	210	210	220
Температура застигання, °С, не вище	-15	-12	-10	-18
Показники	М-4ДЦЛ20	М-16ДР	М-16Е30	М-20Е70
В'язкість кінематична при 100 °С, мм ² /с	13,5...15,0	15,5...16,5	15,0...17,0	20,0...23,0
Індекс в'язкості, не менше	92	90	90	90
Лужне число, мг КОН на 1 г масла, не менше	18	10	30	70
Зольність сульфатна, %, не більше	3,00	1,85	5,00	10,50
Масова частка механічних домішок, %, не більше	0,03	0,02	0,03	0,03
Масова частка води, %, не більше	Сліди		0,06	0,10
Температура спалаху, °С, не нижче	220	225	205	200
Температура застигання, °С, не вище	-10	-10	-12	-12

Для змащення підшипників турбокомпресорів залежно від в'язкості застосовуються турбінні масла: Т22, Т30, Т46 (див. табл. 4.12), а також масла турбінні з присадками: ТП-22, ТП-30, ТП-46 (див. табл. 4.13). Ці присадки покращують антиокиснювальні, деемульгуючі, антикорозійні й антипінні властивості. Турбінне масло марки ТП-30 містить протизношувальну присадку.

Таблиця 4.12. Масла турбінні

Показники	Т22	Т30	Т4 6	Т57
В'язкість кінематична при 50 °С, мм ² /с	20...23	28...32	44...48	55...59
Кислотне число, мг КОН на 1 г масла, не більше	0,02	0,02	0,02	0,05
Стабільність проти окиснення: осад після окиснення, %, не більший за кислотне число після окиснення, мг КОН на 1 г масла, не більше	0,10... ...0,35	0,10... ...0,35	0,10... ...0,35	—
Зольність, %, не більше	0,005	0,005	0,010	0,030
Вміст водорозчинних кислот та луг	Відсутній			
Вміст механічних домішок	Відсутній			

Температура спалаху, °С, не нижче	180	180	195	195
Температура застигання, °С, не вище	–15	–10	–10	–
Індекс в'язкості, не менше	70	65	60	70
Густина при 20 °С, г/см ³ , не більше	0,900	0,900	0,905	0,900

При виготовленні масел марок ТП-30 і ТП-46 із сірчистих нафт масова частка сірки в базовому маслі допускається не більше 0,8 та 1,1 % відповідно. Допускається за угодою зі споживачем поставка масел ТП-22 і ТП-30 без антипінної присадки. При застосуванні присадки У 15/41 кислотне число масла марки ТП-46 установлюється не більше 0,05 мг на 1 г масла.

Таблиця 4.13. Масла нафтові турбінні з присадками

Показники	ТП-22	ТП-30	ТП-46
В'язкість кінематична при 40 °С, мм ² /с	28,8...35,2	41,4...50,6	61,2...74,8
Індекс в'язкості, не менше	90	95	90
Кислотне число, мг КОН на 1 г масла, не більше	0,05	0,50	0,50
Стабільність проти окиснення: осад після окиснення, %, не більший за кислотне число, мг КОН на 1 г масла, не більше	0,005... ...0,100	0,01... ...0,50	0,008... ...0,700
Зольність базового масла, %, не більше	0,005	0,005	0,005
Температура спалаху, °С, не нижче	186	190	220
Температура застигання, °С, не вище	–15	–10	–10
Вміст механічних домішок	Відсутній		
Вміст води	Відсутній		
Масова частка сірки в базовому маслі, %, не більше	0,3	0,3	0,3
Вміст водорозчинних луг та кислот	Відсутній		
Температура плинності, °С, не вище	–6	–6	–6
Густина при 20 °С, г/см ³ , не більше	–	0,895	0,895

При використанні імпортованих масел слід користуватися таблицею взаємозамінності вітчизняних і зарубіжних сортів (табл. 4.14).

За відсутності для доливання штатного моторного масла експлуатація судових двигунів допускається на сумішах моторних масел. Варіанти змішування масел, допущених до застосування, визначаються згідно з табл. 4.15. Знаком «Х» відзначено суміші моторних масел, використання яких допускається, а знаком «О» – ні.

Таблиця 4.14. Перелік еквівалентів моторних масел вітчизняного та зарубіжного виробництв

Країна-виробник	Еквіваленти для марок						
	M-10-B2(c)	M-10-Г2(uc)	M-14-Г2(uc) M-16-Г2(uc)	M-14-Д(шл 20)	M-14-Д(шл 30)	M-16-E(30)	M-20-E(70)
BRITISH PETROLEUM (Англія)	ENERGOL OE-M30* ENERGOL DL-MP30	ENERGOL DL- MP30	ENERGOL DL-MP40	ENERGOL IC- HF 254	ENERGOL IC-HF 304	–	ENERGOL GLO 50-M
BURMAN-CASTROL (Англія)	MARINE HEAVY DR/ MO MARINE MPX 30	MARINE MPX 30 MARINE MLC 30	MARINE MPX 40 MARINE MLC 40	MXD 340 220 MXD	MXD 304 MARINE RM/DZ	MARINE RM/DZ	MARINE S/DZ 65 MARINE S/DZX
SHELL (Англія)	MELINA 30 BELA 30*	GADINIA 30	GADINIA 40	ARGINA S 40	ARGINAT 40	DILOMA	ALEXIA 50 ALEXIA X
MOBIL (США)	MOBILGARD DTE N3* MOBILGARD 300	MOBILGARD312	MOBILGARD 412	MOBILGARD 424	MOBILGARD 424	MOBILGARD 493 MOBILGARD 593	MOBILGARD 570
EXXON (США)	XXMAR XP* EXXMAR XA	EXXMAR 12TP30	EXXMAR 12TP40	EXXMAR 24TP40	EXXMAR 30TP40	–	EXXMAR X70
AGIP (Італія)	LADIUM 50 SAE 30	CLADIUM 120 SAE 30	CLADIUM 120 SAE 40	CLADIUM 250 SAE 40	CLADIUM 400 SAE 40	MCL	PUNICA 570
NYNAS (Швеція)	NYMAROL 300* NYMAROL 3008	NYMAROL 3011 NYMAROL 3015	NYMAROL 4011 NYMAROL 4015	–	NYMAROL HF 4030 NYMAROL HF 4040	NYMAROL CO 5040	NYMAROL CO 5070 NYMAROL CO 50100
ELF (Франція)	ATLANTA MARINE 30* ATLANTA MARINE DX30 DISOLA GM-3C 3008	DISOLA M3015	DISOLA M4015 DISOLA CF-112G	–	AURELIA 4030 AURELIA 4040	TALUSIA 40	TALUSIA 70 TALUSIA 100
IDEMITSU DAPHNE (Японія)	Dn. MARINE OIL SM30 Dn. MARINE OIL S 30 Dn. OIL 100*	Dn. MARINE OIL SX30	Dn. MARINE OIL SX40	Dn. MARINE OIL SW40	Dn. MARINE OIL SP40	Dn. SEAMASTER A40 Dn. SEAMASTER A50	Dn. SEAMASTER A50(N)
SHOWA SHELL SEKIYU (Японія)	–	SHOSEKI MARINE HD30	SHOSEKI MARINE HD40	–	SHOSEKI MARINE HDS40	–	–
FUJI KOSAN (Японія)	–	FUKKOL MARINE 312	FUKKOL MARINE 412	–	–	–	–
LUMAROL (Німеччина)	LUMAROL MS 3021	LUMAROL MS 3011	LUMAROL MS 4011	LUMAROL MS 4041	–	–	LUMAROL MS 5031
CHEVRON (США)	VERITAS MARINE RAO*	DELO 1000 MARINE SAE 30	DELO 1000 MARINE SAE 40	DELO 2000 MARINE SAE 40	DELO 3000 MARINE SAE 40	–	DELO CYLOIL EXTRA

* – відзначені зарубіжні еквіваленти, використання яких допускається лише у циркуляційних системах змащення крейскопфних ДВЗ.

4.4. Прийом, зберігання, облік витрат і запасів палива й масла

Контроль за прийомом палива та масла, а також оформлення документації покладаються особисто на головного (старшого) механіка. Прийомом палива та масла від берегової нафтобази (або від судна-бункерувальника) повинен керувати механік, у завідування якого входить ця система, або за дорученням старшого механіка – вахтовий механік. Персонал, що виконує прийом палива та масла, має бути ознайомлений із системою паливних і масляних трубопроводів, включаючи розташування переливних повітряних та вимірювальних труб і показчиків рівня заповнених танків.

Основним документом для обліку прийнятого палива та масла є накладна нафтобази (судна-бункерувальника), яка повинна бути оформлена підписами представника нафтобази (судна-бункерувальника) і механіка, який приймає паливо та масло. Копія накладної та паспорт (сертифікат) на прийняте паливо та масло мають подаватися старшим механіком у МСС (або аналогічні служби) судновласника.

Під час прийому палива та масла необхідно стежити за наповненням танків та цистерн, виконуючи періодичні заміри й керуючись показаннями відповідних приладів. На кожному судні в документації, яка видається заводом-будівельником, повинні міститися відомості про пропускну здатність паливних та масляних трубопроводів. Бункерування має вестися з продуктивністю, що не перевищує встановлену документацією, при тиску, нижчому від допустимого робочого тиску для шлангів. До кінця заповнення танків та цистерн повинна бути знижена продуктивність насосів бункерувальної станції. Прийом палива та масла в танки і цистерни має здійснюватися з урахуванням розширення нафтопродуктів при плаванні в більш теплих водах.

Під час бункерування повинен бути забезпечений надійний зв'язок між персоналом, відповідальним за бункерування, вахтовим помічником капітана та персоналом стаціонарного або плавучого бункерувального засобу для передачі вказівок про зміну режиму або припинення подачі палива і масла.

Перед прийомом слід отримати сертифікат на паливо й масло та перевірити відповідність його характеристик до зазначених у заводській інструкції з експлуатації двигуна. При виявленні невідповідності характеристик палива та масла до вимог заводської інструкції з експлуатації двигуна, а також у разі його значного забруднення й обводнення прийом палива та масла на судно не допускається.

У процесі прийому палива та масла на судно приймаючий зобов'язаний здійснювати систематичний візуальний і за допомогою експрес-лабораторії контроль за його якістю. При виявленні невідповідності якості палива або масла до необхідних вимог прийом має бути припинений, складено відповідний акт і відібрані проби обома сторонами (що приймає та що видає) для подальшого аналізу.

Чистка паливних та масляних танків і цистерн повинна проводитися не рідше одного разу на рік. При цьому необхідно вживати заходів пожежної безпеки та захисту осіб, які працюють у танках і цистернах, від отруєння газами, керуючись правилами техніки безпеки на судах флоту рибної промисловості. Внутрішні поверхні паливних та масляних танків і цистерн фарбуються тільки спеціальною фарбою, стійкою до руйнування нафтопродуктами. Забороняється фарбувати внутрішні поверхні металевих паливних та масляних танків і цистерн фарбами, розведеними на оліфі.

Прийом масла слід робити через фільтри з дрібною сіткою. Забороняються заливка масла в палубні приймальні отвори під час навантаження вугілля, солі, а також прийом масла, доставленого на судно в брудній або іржавій тарі. Забороняється змішувати різні сорти масел (крім зазначених у табл. 4.15).

Не рідше одного разу на три місяці старший механік зобов'язаний направляти пробу свіжого масла, яка зберігається на судні, на лабораторний аналіз.

Облік витрати палива, перевірка наявності масла на судні та облік витрати масла мають контролюватися відповідальним за це механіком.

Наявність палива та масла на судні реєструється в машинному журналі кожну добу. Головний (старший) механік за наявними відомостями повинен порівняти фактичну витрату палива та масла з існуючими нормами.

Щомісяця головний (старший) механік зобов'язаний складати, а після прибуття з рейсу подавати в МСС судновласника теплотехнічний звіт і звіти з палива та масла, які слугують основними документами для обліку виконання норм витрати палива й масла. До паливного і масляного звітів мають бути додані накладні й сертифікати на отримане паливо та масло.

Запас палива на судні складається з основного, який повинен бути достатнім для виконання переходу судна з порту до району промислу (або з району промислу до порту) або з району промислу до найближчого пункту заправки, та аварійного, що складає 20 % від основного. Витрачання аварійного запасу в звичайних експлуатаційних умовах не допускається. При використанні на судні різних сортів палива запас його обчислюється за кожним сортом у кількості, необхідній для виконання переходу судна з порту до району промислу (або з району промислу до порту) або з району промислу до найближчого пункту заправки з урахуванням 20 % з кожного сорту палива аварійного запасу.

4.5. Очищення палива та масла

Перед використанням палива в двигунах необхідно очистити його від механічних домішок та води. Вміст механічних домішок та води визначається вимогами відповідних стандартів. Очищення палива виконується за допомогою спеціальної системи, що включає у себе підігрівачі, відстійні цистерни, фільтри та сепаратори. Подача до двигунів палива, що містить механічні домішки та воду в кількостях, більших, ніж забезпечують судові засоби очищення, категорично забороняється. У разі значного обводнення треба виконувати відстій та подвійну сепарацію палива.

Основним режимом при сепарації палив малої в'язкості має бути режим пурифікації (відділення води), при сепарації палив середньої в'язкості

– відділення механічних домішок. Сорти палива малої в'язкості сепарують без підігріву при 100 % продуктивності сепаратора, палива середньої в'язкості – з підігрівом до 75...85 °С при продуктивності 30 % від номінальної.

Для збільшення терміну служби масло при роботі двигуна необхідно піддавати очищенню шляхом сепарації. Основним режимом сепарації моторних масел є режим кларифікації. При виявленні вмісту води в маслі понад 0,3...0,5 % сепаратор треба зібрати та відрегулювати на режим пурифікації. З'ясувавши і по можливості усунувши причини появи води, масло слід сепарувати до вмісту води в ньому нижче 0,3 %, після чого сепаратор зібрати на режим кларифікації. Продуктивність сепаратора як на режимі кларифікації, так і на режимі пурифікації повинна складати 20...30 % від номінальної для масел групи Г2 і Д та 30...50 % для масел групи В2. Температура масла при сепарації на обох режимах має складати 80...85 °С, якщо його тиск на вході в двигун не знижується до мінімально допустимого рівня. Якщо масло, що сепарується, має схильність емульгувати, то шляхом підвищення температури до 90 °С, максимально до 95 °С, можна позбавитися емульгації та відсепарувати воду при роботі сепаратора на режимі пурифікації. Рекомендовані режими роботи сепаратора подано в табл. 4.16.

Таблиця 4.16. Режими роботи сепаратора

Нафтопродукт, що сепарується	Температура підігріву перед сепаратором, °С	Продуктивність сепаратора, % від номінальної
Паливо		
Паливо малої в'язкості (до 12 мм ² /с)	Без підігріву	100
Паливо середньої в'язкості (12...150 мм ² /с)	75...85	30
Масла моторні на режимі		
Кларифікація	80...85	20...30
Пурифікація	85...90	20...30

При сепарації моторного масла періодичність увімкнення сепаратора та тривалість його роботи на режимі кларифікації встановлюються залежно від

загального рівня й швидкості забруднення масла, а також ефективності очищення сепаратора на зворотному режимі. При вмісті нерозчинних у паливі механічних домішок до 3 % та вище сепарацію масла слід продовжувати протягом декількох годин і після зупинки двигуна. Тривалість сепарації масла на режимі пурифікації повинна вибиратися з умови, що вміст води в маслі на виході із сепаратора буде нижчий за 0,3 %.

Сепарацію моторних масел тронкових двигунів у разі інтенсивного надходження забруднень краще проводити з перших годин роботи після заміни масла. У крейцкопфних двигунах сепарацію масла треба починати після 300...400 год роботи двигуна на свіжому маслі. При заміні масла однієї марки на іншу з більш високими експлуатаційними властивостями сепарацію слід виконувати безперервно з перших годин роботи, оскільки йде інтенсивне змивання відкладень продуктів окиснення масла та палива. Критерієм для закінчення безперервної сепарації є різке зниження інтенсивності утворення відкладень у барабані сепаратора, після чого можна переходити на періодичну сепарацію.

При сепарації масел на режимі пурифікації для створення гідравлічного затвора необхідно застосовувати тільки прісну або дистильовану воду в кількості, зазначеній інструкцією з експлуатації сепаратора. Температура води має відповідати температурі масла або перевищувати її, але не більше ніж на 5 °С. Промивання масел з присадками водою або парою не допускається.

Для контролю за зміною фізико-хімічних показників циркуляційних масел у процесі експлуатації двигуна та зіставлення їх з бракувальними показниками потрібно відбирати проби з масляної системи для аналізу. Контроль за якістю масла, що знаходиться в системі, здійснює другий механік за допомогою суднової експрес-лабораторії з інтервалами:

- через 1...5 год роботи масла після його повної заміни;
- через кожні 200 год роботи і перед повною заміною для масел із середньою тривалістю роботи менше 2000 год;

- через кожні 500 год роботи і перед повною заміною для масел із середньою тривалістю роботи від 2000 до 5000 год;

- через кожні 2000 год роботи і перед повною заміною для масел із середньою тривалістю роботи понад 5000 год;

- за 1...2 доби до приходу в порт.

Відбір проб проводиться перед кожною повною заміною масла для аналізу в береговій лабораторії.

Про якість використовуваного масла судять за зміною в'язкості, температури спалаху, лужного числа, диспергуючої здатності, за вмістом водорозчинних кислот, води, не розчинних у бензині продуктів забруднення (механічних домішок). Для повного аналізу якості циркуляційного масла старший механік зобов'язаний після кожного рейсу направляти проби в лабораторію.

Проби масла для лабораторного аналізу відбираються на працюючому двигуні безпосередньо з циркуляційного трубопроводу до застосування засобів очищення в чистий сухий посуд ємністю 0,5 л, що щільно закривається. Перед відбором проб необхідно обтерти пробний кран, злити з нього вдвічі більшу кількість масла, ніж застої у крані і підвідній до нього трубі. Тара з відібраною пробкою (для передачі на аналіз у теплотехнічну лабораторію) закупорюється пробкою (не слід застосовувати гумові пробки) та забезпечується інформаційною картою із зазначенням найменування судна, марки і номера двигуна, дати й місця відбору проби, марки масла та палива, вмісту сірки в ньому, часу роботи масла з моменту заливки його в систему, кількості долитого свіжого масла з моменту заливки в систему на момент відбору проби, періодичності й тривалості сепарації, прізвища та посади людини, що відібрала пробу.

Терміни заміни масла визначаються інструкцією підприємства-виробника або положеннями, розробленими судновласником для кожного конкретного типу двигуна відповідно до його особливостей. За відсутності інструкцій та положень, а також у післягарантійний період експлуатації

двигунів масло підлягає заміні, якщо один з показників має граничні значення.

Непридатне для подальшої роботи масло за вказівкою МСС (або аналогічної служби) повинно здаватися на регенерацію. При заміні масла необхідно очистити і промити стічні цистерни та картер двигуна. Забороняється заливати свіже масло в неочищені та непромиті стічні цистерни й картер.

4.6. Охолоджуюча рідина

Якість охолоджуючої рідини визначається вмістом солей і загальною жорсткістю, що має безпосередній вплив на процеси корозії та утворення шламу. Для охолодження двигунів може використовуватися берегова прісна вода або дистилат, одержаний у випарниках. Попередження корозійно-кавітаційних руйнувань поверхонь охолодження блоків та втулок здійснюється за допомогою застосування емульсійних масляних й інших типів присадок вітчизняного та іноземного виробництва. При їх використанні прісна вода, призначена для заповнення систем охолодження двигунів, повинна задовольняти вимоги, наведені у табл. 4.17. У процесі експлуатації граничні показники якості охолоджуючої води мають задовольняти вимоги, зазначені у табл. 4.17 (за типами двигунів). При досягненні зазначених граничних значень показників охолоджуюча вода підлягає заміні.

Таблиця 4.17. Граничні показники якості охолоджуючої води

Тип двигуна	Хлориди, мг/л, не більше	Жорсткість, мг-екв./л, не більше	Вміст присадки, %
6Д50; 650-VBF-90; TD-48; 8TD-48	100	—	0,2...0,5
8NVD48AU	150	1,5	0,2...0,5
8NVD48A2U	150	1,5	0,2...0,5
Усі інші	200	3,0	0,2...0,5

До засобів покращення якості циркуляційної води при замкнутій системі належать попередня обробка, додавання антикорозійних присадок і використання антифризів. **Попередня обробка води проводиться:**

- дистиляцією, коли практично досягається повне знесолення;
- кип'ятінням – з метою усунення карбонатної жорсткості;
- хімічною обробкою кислотами і лугами – з метою повного пом'якшення води.

Перше застосування антикорозійного емульсійного масла як присадки до охолоджуючої води в двигунах, що знаходяться в експлуатації, допускається тільки за умови ретельного очищення охолоджуваних поверхонь циліндрових втулок і блоків від накипу, шламу, продуктів корозії, масла та інших забруднень. Перед введенням антикорозійного емульсійного масла систему охолодження необхідно ретельно промивати гарячою (50...60 °C) прісною водою до тих пір, поки вода, що зливається із системи, візуально не буде чистою.

При забрудненні системи охолодження в процесі експлуатації відкладеннями масла, оксидами заліза, шламом, а також при переході з однієї марки присадки на іншу, навіть якщо присадки належать до одного типу, слід провести очищення системи охолодження відповідно до інструкції з хімічного очищення замкнутих систем охолодження двигунів.

При експлуатації замкнутих систем охолодження двигунів на поверхнях з боку води утворюються забруднення, що складаються з масла, вуглекислих солей кальцію, магнію та оксидів заліза. Забруднення поверхонь втулок та кришок циліндрів погіршують умови відведення тепла та прискорюють процес корозії металу. **З метою забезпечення нормальних умов роботи двигуна систему охолодження необхідно періодично очищати від забруднень.** Найбільш ефективним методом очищення є хімічний, який дозволяє без особливих витрат фізичної праці видалити забруднення із системи охолодження. Рішення про необхідність очищення системи приймає старший механік залежно від кількості та характеру

відкладень. Як правило, очищати систему охолодження слід не рідше одного разу на 8 місяців.

Підготовчі операції перед проведенням хімічної очистки

1. Із системи охолодження двигуна необхідно повністю видалити воду, провести огляд у доступних місцях, відібрати пробу для лабораторного аналізу складу відкладень.

2. Результати огляду та хімічного аналізу проби відкладень фіксуються актом.

3. Якщо як антикорозійну присадку використовували антикорозійне масло та у складі відкладень накип відсутній, то відбір проби та лабораторний аналіз не обов'язкові.

4. Від'єднати деталі або вузли, порожнини охолодження, які підлягають хімічному очищенню, від водяного трубопроводу. Зняти цинкові протектори, арматуру та інші деталі зі сплавів кольорових металів.

5. Заглушити отвори дерев'яними пробками, крім верхнього, через яке заливається робочий розчин.

Очищення системи охолодження від відкладень проводять миючими складами, наведеними у табл. 4.18.

Таблиця 4.18. Вміст компонентів (кг/1 т води)

Компоненти	Номер складу		
	1	2	3
Тринатрійфосфат технічний	–	20	20
Сода кальцинована технічна	–	5	10
ОП-7 або ОП-10	20...25	3...5	–

Об'єм системи охолодження береться з документації на двигун або на основі вимірювань. Орієнтовно залежно від типу головного двигуна можна використовувати дані табл. 4.19.

Таблиця 4.19. Об'єм системи охолодження різних двигунів

№ з.п.	Марка двигуна	Ємність системи охолодження, л
1	6Д50М	900
2	DM650-VBF90 «Бурмейстер і Вайн»	3600
3	8TD-48 «Зульцер»	3300
4	G6Z52/90 МАН	3000
5	M760/1500VG 7V «Гетаверкен»	7000
6	ЗД100	2000
7	574-VTBF-160 «Бурмейстер і Вайн»	6000
8	662-VT2BF-140 «Бурмейстер і Вайн»	6000
9	K6Z70/120A МАН	4000
10	6L525IPS	2500
11	6L525IPV	3000
12	6A25	2000
13	KSDM-8	1500
14	8NVD-48A	1200
15	8ДР43/61	2000
16	K9Z60/105E	6000

Очищення проводять у такому порядку:

- систему охолодження заповнюють прісною водою до половини об'єму розширювальної цистерни;
- розраховану кількість сухих реагентів, зазначених у табл. 4.18, розчиняють у спеціально пристосованій ємності та вводять у систему охолодження;
- у разі необхідності до системи охолодження додають прісну воду і за допомогою циркуляційного насоса при працюючому двигуні прокачують розчин за температури 60...65 °С протягом 3...4 год (при застосуванні поверхнево-активних речовин ОП-7 або ОП-10 температуру миючого розчину треба підтримувати 65...80 °С);
- після закінчення 3...4 год циркуляції миючий розчин зливають у спеціальну цистерну або лляла з подальшою передачею його на нафтозбірник;
- проводять огляд поверхонь охолодження, за результатами якого приймається рішення про закінчення очищення або необхідність його повторення;

– при задовільних результатах очищення систему промивають 2–3 рази чистою водою до усунення позитивної реакції на луг у промивних водах (за фенолфталеїном), заповнюють чистою прісною водою або дистилатом і експлуатують відповідно до чинної інструкції.

Очищення замкнутих систем охолодження ДВЗ при використанні ***хроматно-нітратної антикорозійної присадки (хромпик)*** або за ***відсутності обробки охолоджуючої води присадками*** проводять миючим розчином, що містить 4 % інгібованої соляної кислоти від кількості води у системі (за масою). Кількість інгібованої соляної кислоти для одного очищення визначають за формулою

$$X = \frac{4V}{C},$$

де V – ємність системи охолодження, л; C – концентрація вихідної інгібованої соляної кислоти, що поставляється промисловістю, %.

Очищення проводять наступним чином:

- систему охолодження заповнюють прісною водою до половини об'єму розширювальної цистерни;
- розраховану кількість інгібованої соляної кислоти розчиняють у спеціально пристосованій ємності та потім вводять у систему охолодження;
- за необхідності додають у систему охолодження прісну воду та за допомогою циркуляційного насоса при діючому двигуні прокачують розчин протягом 4...8 год за температури 50...60 °С;
- під час очищення треба проводити лабораторний контроль концентрації розчину;
- при зниженні концентрації на 30...40 % порівняно із заданою миючий розчин підкріплюють;
- якщо за результатами трьох аналізів, виконаних послідовно з інтервалом 30 хв, зниження концентрації розчину не перевищує 0,2 %, процес очищення вважається завершеним;

– після закінчення очищення робочий розчин зливають у цистерну або лляла, попередньо нейтралізувавши його содою (каустичною або кальцинованою) або тринатрійфосфатом;

– здійснюють огляд системи охолодження, за результатами якого приймається рішення про закінчення очищення або необхідність повторення;

– після огляду проводиться промивання системи охолодження протягом 2...3 год 2%-м розчином тринатрійфосфату або кальцинованої соди за температури 50...60 °С, потім систему охолодження заповнюють чистою водою та експлуатують відповідно до чинної інструкції.

Водний розчин сульфамінової кислоти має слабку корозійну дію на метал, тому може бути використаний при очищеннях і без інгібіторів корозії. Як інгібітор корозії може застосовуватися поверхнево-активна речовина ІМФ-1, яка утворює на поверхні металу захисну антикорозійну плівку. Кількість сульфамінової кислоти X_k та поверхнево-активної речовини ІМФ-1 X_n для проведення одного очищення розраховується так:

$$X_k = \frac{VC_k}{100}; X_n = \frac{VC_n}{C_1},$$

де V – ємність системи охолодження, л; C_k і C_n – вихідна концентрація кислоти та ІМФ-1, %; C_1 – концентрація ІМФ-1 (зазвичай 30 %).

Вихідна концентрація кислоти має бути в межах 5...7 %, а за значних відкладень – до 10 %. Вихідна концентрація ІМФ-1 береться приблизно в 10 разів менша за вихідну концентрацію сульфамінової кислоти.

Очищення проводять у такому порядку:

– систему охолодження заповнюють чистою прісною водою (по можливості гарячою);

– готують 20%-й розчин сульфамінової кислоти;

– за необхідності після розчинення сульфамінової кислоти у розчин вводять ІМФ-1;

– приготовленим розчином заповнюють систему охолодження двигуна та вмикають циркуляційний насос;

– при постійній циркуляції проводять очищення протягом 6...8 год; при цьому температура миючого розчину має бути 70...75 °C;

– перед початком очищення та через кожну годину після початку треба проводити хімічний контроль за концентрацією кислоти (при зниженні концентрації до 0,5 % розчин слід підкріпити введенням реагентів у кількості 50 % від початкової);

– після нейтралізації миючий розчин необхідно видалити з двигуна, систему оглянути, промити гарячою водою (60...75 °C) і лише після цього ввести в дію відповідно до інструкції з експлуатації.

Перед проведенням робіт з хімічного очищення системи охолодження двигунів головний (старший) механік судна зобов'язаний проінструктувати осіб, які беруть участь у роботі, переконатися шляхом опитування, що безпечні прийоми та методи виконання робіт, пов'язаних із застосуванням кислот і лугів, добре засвоєні. Запис про інструктаж проводиться в журналі з техніки безпеки з розпискою проінструктованих. Для виконання операцій з хімічного очищення працюючі повинні бути забезпечені згідно з нормами спецодягом та взуттям, рукавицями, запобіжними окулярами.

При попаданні розчину тринатрійфосфату, кальцинованої або каустичної соди в очі треба промити їх холодною водою, а потім 1%-м розчином борної кислоти. У разі протікань інгібованої соляної кислоти слід нейтралізувати содою або їдким натром, потім змити струменем води. При попаданні кислоти на шкіру потрібно змити її водою, промити 5%-м розчином соди. При попаданні бризок кислоти в очі потрібно негайно промити їх водою, потім 0,5%-м розчином соди і звернутися в медпункт.

При взаємодії розчину соляної кислоти з відкладеннями накипу в системі відбувається виділення водню, який у суміші з повітрям є вибухонебезпечним. Для того щоб уникнути вибуху та виникнення пожежі, необхідно перед очищенням системи продуту стисненим повітрям повітряну трубу розширювальної цистерни. Решту трубопроводів розширювальної

цистерни слід роз'єднати з атмосферою машинного приміщення, а також вжити інших заходів щодо підвищення пожежної безпеки.

Тринатрійфосфат і кальцинована сода поставляються в паперових мішках або бочках та мають зберігатися в окремому закритому приміщенні. Поверхнево-активні речовини ОП-7 і ОП-10 поставляються у вигляді маслоподібних чи легкоплавких паст, повністю вибухо-, пожежобезпечні та не токсичні, не вимагають особливих запобіжних заходів, зберігаються у сухих приміщеннях. Інгібовану соляну кислоту необхідно зберігати у міцних ящиках чи корзинах. Проміжки між пляшками, між пляшкою та ящиком або кошиком слід заповнювати м'яким матеріалом (соломою, стружкою тощо). На тарі повинна бути ясно та чітко написана назва речовини. Сульфамінова кислота – білий кристалічний порошок, що плавиться за температури 205 °С, не гігроскопічна, поставляється в поліетиленових мішках, має зберігатися в сухому приміщенні. ІМФ-1 поставляється в бочках у вигляді 30%-го водного розчину, не токсичний, добре розчиняється у воді. Зазначені речовини мають бути на обліку та видаватися лише з дозволу головного (старшого) механіка.

У разі відсутності антикорозійного емульсійного масла або інших ефективних типів присадок слід застосовувати присадки на хроматній основі. Основним компонентом присадок є хромпик (дихромат калію), який використовується в поєднанні з нітритом натрію або кальцинованою содою. Кращі результати дає присадка з трьох компонентів: хромпіка, нітриту натрію та кальцинованої соди. Застосовуючи присадки на хроматній основі для обробки охолоджуючої води двигуна, необхідно суворо дотримуватися їхніх рекомендованих захисних концентрацій.

За низької температури навколишнього середовища, у разі можливого замерзання води в замкнутій системі охолодження, потрібно замість води заливати спеціальні рідини (антифризи) з низькою температурою замерзання (табл. 4.20). Антифризи утворюються шляхом змішування двох або більше рідин, наприклад гліцерину та води, спирту й води, етиленгліколю та води тощо.

Таблиця 4.20. Склад і температура застигання сумішей води, спирту та гліцерину

Гліцерин												
Масовий вміст, %	10	20	30	40	50	60	70	80	–	–	–	–
Температура замерзання, °С	–1,6	–5,0	–9,5	–15,4	–23,0	–34,7	–38,9	–20,3	–	–	–	–
Етиловий спирт												
Масовий вміст, %	11,3	18,8	20,3	22,1	24,2	26,7	29,9	33,8	39	46,3	56,1	71,9
Температура замерзання, °С	–5,0	–9,4	–10,6	–12,2	–14,0	–16,0	–18,9	–23,6	–28,7	–33,9	–41,0	–51,3
Етиленгліколь												
Об'ємний вміст, %	12,5	17,0	25,0	32,5	38,5	44,0	49,0	52,5	–	–	–	–
Температура замерзання, °С	–3,9	–6,7	–12,2	–17,8	–23,3	–28,9	–34,4	–40,4	–	–	–	–

Контроль якості води, що охолоджує двигун, повинен здійснюватися за допомогою суднової лабораторії не рідше двох разів на місяць другим механіком з відповідним записом у судовому журналі контролю якості паливно-мастильних матеріалів та охолоджуючої води.

Контрольні питання

1. Які розрізняють два типи рідких нафтових палив для судових ДВЗ за ДСТУ 4317:2004?
2. Перерахуйте основні фізико-хімічні властивості палива, які впливають на роботу двигуна.
3. Які домішки в паливі судових двигунів Вам відомі та який вплив на роботу двигуна вони мають?
4. Охарактеризуйте властивості дистилятних палив згідно з ISO 8217:2017.
5. Охарактеризуйте властивості залишкових палив згідно з ISO 8217:2017.

6. Охарактеризуйте властивості вітчизняних та зарубіжних марок моторних масел, які застосовуються в судових ДВЗ. Наведіть приклади маркування.

7. На кого покладається відповідальність на судні за контролем прийому палива і мастил, а також оформленням відповідної документації?

8. Опишіть необхідні дії при прийомі палива та масла.

9. Яким чином виконується облік витрати палива та масла на судні?

10. Як здійснюється очищення палива та масла від механічних домішок і води?

11. Чим визначаються терміни заміни масла на судових ДВЗ?

12. Які показники якості охолоджуючої рідини мають безпосередній вплив на процеси корозії та утворення шламу?

13. Опишіть послідовність процесу очищення від забруднень системи охолодження судового ДВЗ.

14. Які спеціальні рідини використовують у системі охолодження судових ДВЗ за низьких температур навколишнього середовища?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Babicz J. Wärtsilä Encyclopedia of ship technology. 2nd ed. Helsinki : Wärtsilä corporation, 2015. 659 p.
2. Bennett S. Modern Diesel Technology: Light Duty Diesels. New York : Delmar, 2012. 412 p.
3. Challen B., Baranescu R. Diesel Engine Reference Book. 2nd ed. Butterworth-Heinemann, 1999. 675 p.
4. Kees Kuiken. Diesel Engines for ship propulsion and power plants. *Target Global Energy Training*. Onnen, The Netherlands. July 2008.
5. Lakshminarayanan P. A., Avinash Kumar Agarwal. Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines. Springer, 2020. 912 p.
6. Lata arche M. Pounder's marine diesel engines and gas turbines. 10th ed. Elsevier Ltd, 2021. 930 p.
7. Low speed engine 2023. WinGD, 2023. 49 p.
8. Marine engine programme. MAN Energy Solution, 2023. 238 p.
9. Roy B., Wankhede A. A Guide to 2-Stroke Marine Engine Components. Marine Insight, 2013. 104 p.
10. Горбов В. М., Ратушняк І. О., Трушляков Є. І., Чередніченко О. К. Суднова енергетика та Світовий океан : підручник / за ред. В. М. Горбова. Миколаїв : НУК, 2007. 596 с.
11. Двигуни внутрішнього згоряння : у 6 т. / за ред. проф. А. П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. Харків : Видавн. центр НТУ «ХП», 2004. Т. 6 : Надійність ДВЗ. 421 с.
12. Кустовська А. Д., Іванов С. В., Бережний Є. О. Альтернативні палива : підручник. Київ : НАУ, 2014. 624 с.
13. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018. 151 с.

14. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
15. Наливайко В. С., Ткаченко С. Г. Режими роботи судових ДВЗ : навч. посіб. Миколаїв: НУК, 2015. 100 с.
16. Судновий механік : довідник : у 3 т. / за ред. А. А. Фока. Одеса : Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
17. Черниш І. І., Кар'янський С. А., Оженко Є. М. Сучасні судові двигуни: особливості конструкції, експлуатації та автоматизованого управління. Одеса : НУ «ОМА», 2019. 217 с.

наукове видання

**ТИМОШЕВСЬКИЙ БОРИС ГЕОРГІЙОВИЧ,
МИТРОФАНОВ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ,
ПРОСКУРІН АРКАДІЙ ЮРІЙОВИЧ**

**ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРЯННЯ**

Навчальний посібник

Формат 60×84/8 Ум. друк. арк.13,02.
Тираж 100. Зам. № 38

Видавець і виготівник ФОП Торубара В.В.

вул. Наваринська, 5-17, м. Миколаїв, 54006
Е-mail: basyl.torubara@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4626 від 09.10.2013

Розглянуто загальні практичні питання технічної експлуатації, обслуговування та ремонту суднових двигунів внутрішнього згоряння, а також можливі несправності, причини й способи їх усунення, експлуатаційні характеристики і режими роботи. Подано узагальнені рекомендації з експлуатації основних систем та агрегатів. Наведено фізико-хімічні властивості й особливості використання палив, мастил та охолоджуючих рідин, рекомендованих для суднових двигунів.

Посібник призначено для здобувачів денної та заочної форм навчання спеціальностей 142 Енергетичне машинобудування, 135 Суднобудування та 271 Морський та внутрішній водний транспорт.

