

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В. М. ПАТЛАЙЧУК

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ
«СУДНОВІ ТУРБІНИ ТА ТУРБОКОМПРЕСОРИ»**

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2023

УДК 621.438(075)

П20

Автор В. М. Патлайчук, канд. техн. наук, доцент

Рецензент А. В. Козловський, канд. техн. наук, доцент кафедри турбін Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Патлайчук В. М.

П20

Методичні вказівки для проведення занять з дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори» / В. М. Патлайчук. – Миколаїв : НУК, 2023. – 48 с.

Вміщено відомості щодо організації проведення занять з дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори», які розроблені відповідно до вимог Болонського процесу. Роз'яснено види і форми контролю знань студентів. Розглянуто зміст структурних елементів навчальних модулів. До кожної навчальної теми додаються плани лекційних занять, перелік питань для самостійної роботи та самоконтролю засвоєння матеріалу, рекомендовані основна та допоміжна література.

Призначено для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» освітньої програми «Управління судновими технічними системами і комплексами» денної та заочної форм навчання.

УДК 621.438(075)

© Патлайчук В. М., 2023

© Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1. Опис навчальної дисципліни.....	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни.....	6
3. Передумови для вивчення дисципліни.....	8
4. Очікувані результати навчання.....	9
5. Тематичний план навчальної дисципліни.....	10
6. Програма навчальної дисципліни.....	14
7. Теми практичних занять.....	32
8. Самостійна робота.....	33
9. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування.....	34
10. Форми поточного та підсумкового контролю.....	35
11. Критерії оцінювання результатів навчання.....	39
12. Засоби навчання.....	40
13. Рекомендована література.....	40
14. Інформаційні ресурси в мережі «Інтернет».....	44
Список використаних джерел.....	46

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна «Суднові турбіни та турбокомпресори» є однією із складових комплексної підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» (галузь знань 27 «Транспорт») освітньої програми «Управління судновими технічними системами і комплексами», освітня діяльність за якою реалізується в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

Дисципліна спрямована на вивчення конструкції, основ експлуатації та технічного обслуговування парових і газових турбін та турбокомпресорів суднового призначення.

Унаслідок вивчення дисципліни студент одержить професійні знання про призначення турбін у складі суднових енергетичних установок; про будову турбоагрегатів та турбокомпресорів, їх систем і головних складових елементів; про фізичну суть процесів, що мають місце в турбінних установках; про принципи функціонування турбоагрегатів та турбокомпресорів, основи їх технічної експлуатації та режими роботи.

Методичні вказівки підготовлені відповідно до робочої програми цієї дисципліни, яка була розглянута і затверджена Навчально-методичною радою НУК ім. адм. Макарова (протокол № 6 від 29.06.2022 року) [4].

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Найменування показників	Характеристика навчальної дисципліни	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Обов’язкова	
Модулів – 1	Рік підготовки	
Змістових модулів – 2	3-й	3-й
Електронна адреса РПНД на сайті НУК ім. адм. Макарова: https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/OK-30.-Sudnovi-turbini-ta-turbokompresori-2022.pdf	Семестр	
	6-й	5-й
	Лекції	
	30 год	16 год
Загальна кількість годин – 90	Практичні заняття	
	15 год	6 год
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3; самостійної роботи студента – 3	Самостійна робота	
	45 год	68 год
	Вид контролю: екзамен	
	Форма контролю: комбінована	

2. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори» є формування у студентів відповідно до освітньо-професійної програми «Управління судновими технічними системами і комплексами» спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» [1] таких компетентностей:

- ЗК4. Уміння виявляти, ставити та розв'язувати проблеми.
- ЗК5. Здатність приймати та реалізовувати обґрунтовані управлінські рішення в рамках прийнятного ризику.
- ЗК10. Здатність працювати автономно.
- ЗК11. Навички здійснення безпечної діяльності (прихильність безпеці).
- ЗФК6. Здатність забезпечувати організацію, нагляд та контроль щодо дотримання правил техніки безпеки, безпеки персоналу та судна.
- СК1. Здатність нести безпечну ходову машинну вахту на судні.
- СК2. Здатність здійснювати експлуатацію, спостереження, оцінку роботи та безпечне обслуговування рухової установки без обмеження її потужності та допоміжних механізмів і пов'язаних з ними систем управління, та управляти роботою механізмів рухової установки.
- СК3. Здатність забезпечити планування та підготовку до роботи суднового енергетичного обладнання з урахуванням проєктних параметрів силової установки та вимог рейсу.
- СК4. Здатність здійснювати виявлення, установлення причин та усунення несправностей суднового механічного обладнання, приведення його в робочий стан та визначати і здійснювати заходи щодо їх запобігання.
- СК6. Здатність здійснювати експлуатацію електричного, електронного обладнання та систем управління.
- СК11. Усвідомлення відповідальності та здатність до прийняття рішень у непередбачуваних та аварійних ситуа-

ціях, пов'язаних з експлуатацією суднового енергетичного обладнання.

- СК12. Здатність розв'язувати складні непередбачувані задачі та проблеми експлуатації, обслуговування та ремонту суднових технічних засобів, систем і конструкцій.

- СК13. Критичне осмислення основних теорій, принципів, методів і понять сучасної морської інженерії.

- СК14. Здатність збирати та інтерпретувати інформацію, обирати методи та інструментальні засоби, застосовувати інноваційні підходи для розв'язання складних професійних задач у сфері морської інженерії.

- СК15. Здатність обґрунтовувати власну точку зору та висновки, використовуючи основні теорії та концепції у сфері морської інженерії.

- СК16. Здатність до аналізу та прогнозування процесів і технічного стану суднових конструкцій та обладнання в умовах неповної або обмеженої інформації.

- СК17. Здатність передавати та одержувати професійну інформацію, ідеї, проблеми та їх рішення, а також передавати власний досвід при спілкуванні з фахівцями та нефахівцями у сфері суднової інженерії.

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовою для вивчення дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори» є освоєння студентами матеріалу таких освітніх компонентів освітньо-професійної програми:

- ОК7 «Фізика» (навчальна дисципліна).
- ОК11 «Основи суднової енергетики» (навчальна дисципліна).
- ОК21 «Прикладна механіка» (навчальна дисципліна).
- ОК25 «Технічна термодинаміка та теплопередача» (навчальна дисципліна).

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Відповідно до освітньо-професійної програми «Управління судновими технічними системами і комплексами» спеціальності 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» вивчення дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори» передбачає формування та розвиток у студентів таких програмних результатів навчання:

- РН2. Знання конструкції об'єктів суднових технічних засобів і систем, принципу їх роботи та розуміння процесів, що в них відбуваються.

- РН4. Концептуальні знання, включаючи певні знання сучасних досягнень у морській інженерії із забезпечення надійності суднових технічних засобів та безпеки на морі.

- РН8. Знання процедур безпеки та порядок дій під час аварій, переходу від дистанційного / автоматичного до місцевого управління всіма системами.

- РН13. Знання безпечних та аварійних процедур експлуатації механізмів рухової установки та системи управління.

- РН14. Уміння виконувати пуск та зупинку головної рухової установки та допоміжних механізмів та пов'язаних з ними систем.

- РН15. Уміння оцінювати ефективність роботи, виконувати спостереження за станом головного двигуна та підтримувати безпеку енергетичної рухової установки та допоміжних механізмів у процесі експлуатації.

- РН17. Знання пропульсивних характеристик дизелів, парових і газових турбін.

- РН20. Уміння виявляти несправності, усувати їх та запобігати пошкодженню під час роботи механізмів.

- РН25. Знання проектних характеристик та системної конфігурації апаратури автоматичного контролю та захисних пристроїв для головного двигуна, судового котла, генератора та системи розподілу.

5. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

5.1. Денна форма навчання

Назви змістових модулів та тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		лекції	практичні заняття	самостійна робота
Змістовий модуль 1. Будова турбінних установок та їх застосування в судновій енергетиці				
Тема 1. Будова та принцип дії парової турбіни. Поняття про паротурбінну установку. Особливості застосування парових турбін у судновій енергетиці	6	2	2	2
Тема 2. Термодинамічні цикли та структурні схеми суднових паротурбінних установок. Парові турбіни систем утилізації тепла. Системи, що обслуговують парові турбіни	6	2	–	4
Тема 3. Будова та принцип дії газотурбінного агрегата простого термодинамічного циклу. Особливості застосування газотурбінних агрегатів у судновій енергетиці	6	2	2	2
Тема 4. Структурні схеми суднових газотурбінних установок. Системи, що обслуговують газотурбінні агрегати	6	2	–	4
Тема 5. Використання газових турбін у системах наддуву дизельних двигунів та в системах утилізації тепла	6	2	2	2
Разом за змістовим модулем 1:	30	10	6	14
Змістовий модуль 2. Основи експлуатації та технічного обслуговування суднових турбін та турбокомпресорів				
Тема 6. Підготовка до роботи і пуск головного парового турбоагрегата	6	2	3	1
Тема 7. Обслуговування головного парового турбоагрегата під час роботи і бездіяльності. Контроль та регулювання параметрів робочого процесу	6	2	–	4

Продовж. табл.

Назви змістових модулів та тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		лекції	практичні заняття	самостійна робота
Тема 8. Обслуговування допоміжних парових турбін	6	2	–	4
Тема 9. Обслуговування парових турбоагрегатів на режимах і умовах, відмінних від нормальних. Аварійні режими роботи	6	2	–	4
Тема 10. Характерні несправності і неполадки в роботі парових турбоагрегатів, їх причини та способи усунення	6	2	2	2
Тема 11. Підготовка до роботи і пуск суднового газотурбінного агрегата	6	2	–	4
Тема 12. Обслуговування суднового газотурбінного агрегата під час роботи і бездіяльності. Контроль та регулювання параметрів робочого процесу	6	2	2	2
Тема 13. Обслуговування суднових газотурбінних агрегатів на режимах і умовах, відмінних від нормальних. Аварійні режими роботи	6	2	–	4
Тема 14. Характерні несправності і неполадки в роботі суднових газотурбінних агрегатів, їх причини та способи усунення	6	2	2	2
Тема 15. Особливості експлуатації та технічного обслуговування турбокомпресорів систем наддуву дизельних двигунів та газових турбін систем утилізації тепла	6	2	–	4
Разом за змістовим модулем 2:	60	20	9	31
Усього годин:	90	30	15	45

5.2. Заочна форма навчання

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		лекції	практичні заняття	самостійна робота
Змістовий модуль 1. Будова турбінних установок та їх застосування в судновій енергетиці				
Тема 1. Будова та принцип дії парової турбіни. Поняття про паротурбінну установку. Особливості застосування парових турбін у судновій енергетиці	6	2	1	3
Тема 2. Термодинамічні цикли та структурні схеми суднових паротурбінних установок. Парові турбіни систем утилізації тепла. Системи, що обслуговують парові турбіни	6	–	–	6
Тема 3. Будова та принцип дії газотурбінного агрегата простого термодинамічного циклу. Особливості застосування газотурбінних агрегатів у судновій енергетиці	6	2	1	3
Тема 4. Структурні схеми суднових газотурбінних установок. Системи, що обслуговують газотурбінні агрегати	6	–	–	6
Тема 5. Використання газових турбін у системах наддуву дизельних двигунів та в системах утилізації тепла	6	2	–	4
Разом за змістовим модулем 1:	30	6	2	22
Змістовий модуль 2. Основи експлуатації та технічного обслуговування суднових турбін та турбокомпресорів				
Тема 6. Підготовка до роботи і пуск головного парового турбоагрегата	6	–	1	5
Тема 7. Обслуговування головного парового турбоагрегата під час роботи і бездіяльності. Контроль та регулювання параметрів робочого процесу	6	2	–	4
Тема 8. Обслуговування допоміжних парових турбін	6	–	–	6

Продовж. табл.

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин			
	усього	у тому числі		
		лекції	практичні заняття	самостійна робота
Тема 9. Обслуговування парових турбоагрегатів на режимах і умовах, відмінних від нормальних. Аварійні режими роботи	6	2	–	4
Тема 10. Характерні несправності і неполадки в роботі парових турбоагрегатів, їх причини та способи усунення	6	–	1	5
Тема 11. Підготовка до роботи і пуск суднового газотурбінного агрегата	6	2	–	4
Тема 12. Обслуговування суднового газотурбінного агрегата під час роботи і бездіяльності. Контроль та регулювання параметрів робочого процесу	6	–	1	5
Тема 13. Обслуговування суднових газотурбінних агрегатів на режимах і умовах, відмінних від нормальних. Аварійні режими роботи	6	2	–	4
Тема 14. Характерні несправності і неполадки в роботі суднових газотурбінних агрегатів, їх причини та способи усунення	6	–	1	5
Тема 15. Особливості експлуатації та технічного обслуговування турбокомпресорів систем наддуву дизельних двигунів та газових турбін систем утилізації тепла	6	2	–	4
Разом за змістовим модулем 2:	60	10	4	46
Усього годин:	90	16	6	68

6. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

6.1. Змістовий модуль № 1. Будова турбінних установок та їх застосування в судновій енергетиці

Тема 1. Будова та принцип дії парової турбіни. Поняття про паротурбінну установку. Особливості застосування парових турбін у судновій енергетиці.

Парова турбіна є тепловим двигуном, у якому потенційна енергія пари перетворюється на механічну енергію обертання ротора.

Отримання механічної роботи в турбіні стає можливим лише за наявності надлишку потенційної (теплової) енергії пари на вході до неї. Даний надлишок (запас) потенційної енергії забезпечується попереднім наданням робочому тілу підвищеного тиску та підвищеної температури.

Парова турбіна є лише частиною енергетичної установки, яка містить багато різних пристроїв і механізмів. Усі ці пристрої та механізми взаємозалежні, оскільки зміна режиму роботи одного елемента впливає на функціонування інших складових частин. Як теплові двигуни, парові турбіни у будь-якій галузі застосування можуть бути використані лише в комплексному поєднанні з іншим енергетичним обладнанням.

Основними елементами паротурбінної установки є:

- **живильний насос**, що подає живильну воду під високим тиском у котел (парогенератор);
- **котел (парогенератор)**, у якому за рахунок тепла, що виділяється під час спалювання органічного палива, або тепла, що виділяється через розділ ядер урану або плутонію, живильна вода перетворюється на пару;
- **турбіна**, у якій потенційна енергія пари перетворюється на механічну енергію обертання ротора;

– **споживач** (генератор електричного струму, гребний гвинт, повітродувка, промисловий компресор тощо), який споживає механічну енергію, вироблену турбіною;

– **конденсатор**, який переводить шляхом охолодження відпрацьовану в турбіні пару з газоподібного стану в рідкий.

Завдяки своїм перевагам **паротурбінні установки на органічному паливі** були основним типом пропульсивної установки для надводного військово-морського та цивільного флотів у першій половині XX ст. У теперішній час їх застосування в цій сфері обмежується лише деякими одиничними проектами. У сучасних дизельних суднових установках парові турбіни знаходять регулярне застосування в системах утилізації тепла випускних газів.

Паротурбінними установками на ядерному паливі, починаючи з 1954 р., у світі було обладнано близько 500 атомних підводних човнів, що оснащені торпедною зброєю, крилатими ракетами та міжконтинентальними балістичними ракетами. На військово-морському флоті вони також знайшли застосування на ракетних крейсерах та авіаносцях.

Тема 2. Термодинамічні цикли та структурні схеми суднових паротурбінних установок. Парові турбіни систем утилізації тепла. Системи, що обслуговують парові турбіни.

Паротурбінна установка працює за закритим термодинамічним циклом. Робоче тіло послідовно проходить структурні елементи установки, змінюючи свій термодинамічний стан: від води до водяної пари в котлі (парогенераторі) і далі повертаючись від водяної пари до води у конденсаторі.

Реальні суднові паротурбінні установки є досить складними. У них передбачаються спеціальні заходи і відповідне додаткове устаткування для підвищення енергетичної ефективності: регенеративний підігрів живильної води, проміжний перегрів пари і т. п.

Застосування регенерації в паротурбінних установках дозволяє знизити витрати палива на 5...12 %, що цілком окупає витрати, пов'язані з ускладненням та подорожчанням установок через введення до неї додаткових елементів.

У суднових паротурбінних установках часто використовують **проміжний перегрів пари**, суть якого полягає в тому, що пара після розширення в першій турбіні (високого тиску) знову надходить у пароперегрівач котла, вторинно перегрівається в ньому, а потім подається до другої (середнього тиску) та третьої (низького тиску) турбіни установки, де розширюється до кінцевого значення. Унаслідок цього збільшується загальний перепад ентальпії (запас потенціальної енергії) у турбінних ступенях, які використовують вторинно перегріту пару. Вологість пари в цих ступенях знижується, що підвищує їх коефіцієнт корисної дії і загальну ефективність турбіни.

Роботу паротурбінної установки обслуговують низка систем, з них особливе місце займає **конденсатно-живильна система**, яка призначена для забирання води (конденсату) з конденсатора, приймання, зберігання та подавання живильної води до котлів, підігрівників, фільтрів, елементів регулювання та управління системою.

Тема 3. Будова та принцип дії газотурбінного агрегата простого термодинамічного циклу. Особливості застосування газотурбінних агрегатів у судновій енергетиці.

Відмінною рисою газотурбінних агрегатів (ГТА) є наявність в їх складі в ролі основного джерела механічної енергії **турбіни**, яка працює на газоподібному (за винятком водяної пари) робочому тілі. У переважній більшості випадків таким робочим тілом виступають продукти згоряння вуглеводневого палива.

Першим за рухом робочого тіла основним елементом газотурбінного агрегату є **компресор**. Призначення компресора у складі ГТА – підвищення тиску робочого тіла (атмосфер-

ного повітря). У сучасних агрегатах тиск повітря на виході з компресора перевищує атмосферний у 7...35 разів.

Після компресора повітря надходить у другий основний елемент ГТА – **камеру згоряння**. Призначення камери згоряння у складі ГТА – нагрів робочого тіла. Загалом цей процес здійснюється спалюванням вуглеводневого (рідкого або газоподібного) палива безпосередньо в потоці рухомого через камеру згоряння повітря за практично незмінного тиску. Температура димових газів, що утворилися, у сучасних газотурбінних агрегатах становить 1200 ... 1770 К.

Після камери згоряння робоче тіло, яке вже має на даний момент певний запас потенційної енергії (унаслідок зростання тиску і температури), надходить у **турбіну**. Призначення турбіни – генерація механічної енергії обертання.

Частина потужності, що генерується турбіною, витрачається на обертання компресора самого ГТА, а частина, що залишилася (**корисна потужність**) віддається споживачу. Потужність, споживана компресором, відносно велика і в простих схемах за помірної температури робочого середовища може в 1,5...2,0 рази перевищувати корисну потужність агрегата.

Відпрацювавши в турбіні, робоче тіло викидається в навколишнє середовище (в атмосферу). Температура газів на виході з турбіни в сучасних ГТА становить 650...900 К.

Для позначення сукупності компресорної частини агрегата, його камери згоряння і турбіни використовується термін **газотурбінний двигун (ГТД)**. Сукупність газотурбінного агрегата та обслуговуючого його повного комплексу систем, пристроїв, механізмів і машин позначається як **газотурбінна установка (ГТУ)**.

Тема 4. Структурні схеми суднових газотурбінних установок. Системи, що обслуговують газотурбінні агрегати.

Будова газотурбінного агрегата, розглянутого в темі 3, є типовою для газотурбінних агрегатів простого термодинамічного

циклу. Саме за такою схемою виконана переважна більшість сучасних суднових газотурбінних установок.

З метою підвищення ефективності та зниження витрати палива теплову схему газотурбінної установки можуть ускладнювати введенням до неї додаткових теплообмінних елементів. Побічним негативним ефектом цього є збільшення розмірів, маси, габаритів установки, зниження її надійності.

Основними напрямками ускладнення теплової схеми газотурбінних установок є такі:

- регенеративний підігрів повітря перед камерою згоряння випускними газами;

- проміжне охолодження повітря між компресорами;

- проміжний підігрів газів між турбінами;

- утилізація тепла випускних газів.

Для нормальної експлуатації газотурбінного агрегата необхідний комплекс систем. До **основних систем, обслуговуючих газотурбінний агрегат**, відносять:

- систему запуску;

- паливну систему;

- масляну систему;

- систему суфлювання і розвантаження;

- систему охолодження;

- систему стисненого повітря;

- повітроприймальну і газовипускную системи.

Тема 5. Використання газових турбін у системах наддуву дизельних двигунів та в системах утилізації тепла.

Ефективним способом утилізації тепла відпрацьованих газів дизельного двигуна є встановлення на його випускному газопроводі турбіни, яка призводить в обертання наддувний компресор. Такого роду наддув дизеля, що називається **газотурбінним**, має низку переваг над механічним способом

і застосовується практично на всіх зразках чотиритактних і двотактних двигунів.

Часткове використання енергії випускних газів наддувним турбокомпресором підвищує термічний ККД і потужність дизеля; до того ж потужність може бути підвищена, порівняно з дизелем без наддуву, на 50 % і вище залежно від вимог до компактності, моторесурсу, вихідної вартості двигуна і т. п.

Істотного підвищення питомої потужності дизеля можна досягти за рахунок підвищення тиску наддуву, однак це призводить до значного зростання теплонапруження циліндропоршневої групи, що зменшує строк служби та надійність роботи двигуна. Тому в більшості судових дизелів тиск наддуву низький і дорівнює 0,13...0,19 МПа. Системами середнього і високого наддуву (0,19...0,35 МПа) забезпечуються головним чином швидкохідні дизелі з обмеженими габаритами і ваговими характеристиками.

Залежно від способу об'єднання вихлопних патрубків від циліндрів і підведення газу до турбіни можна одержувати потік газу або з постійним тиском перед турбіною, або зі змінним. **Постійний тиск** одержують об'єднанням випусків з усіх циліндрів у загальний ресивер достатньо великого об'єму, звідки газ направляється в турбіну. **Змінний тиск** перед турбіною досягається об'єднанням у випускному колекторі вихлопів з одного або декількох циліндрів, що мають мале перекриття фаз відкриття випускних клапанів або його не мають. Наддув у цьому випадку називають **імпульсним**.

Залежно від потужності дизеля може бути прийнята турбіна наддувного агрегата радіально-осьового або осьового типу. При високому наддуві та великій потужності двигуна доцільно застосовувати багатоступінчасті наддувні турбіни.

Економічні та експлуатаційні характеристики дизелів з наддувом суттєво визначаються аналогічними показниками турбонаддувного агрегата.

6.2. Змістовий модуль №2. Основи експлуатації та технічного обслуговування суднових турбін та турбокомпресорів

Тема 6. Підготовка до роботи, пуск головного парового турбоагрегата.

Етапи підготовки головного парового турбоагрегата до прогрівання: підготовка турбін та зубчастих передач; підготовка та введення в дію системи змащення; пробне провертання турбоагрегата валоповоротним пристроєм; підготовка паропроводів, систем керування, сигналізації та захисту; підготовка конденсаційної установки. Одночасно з підготовкою головного парового турбоагрегата має бути підготовлений до роботи валопровід та гвинт регульованого кроку.

Під час прогрівання турбіни повинні бути доведені до такого стану, за якого наступне навантаження не викликало б неприпустимих термічних напружень і залишкових напружень у деталях і не призводило б до зачіпання рухомих деталей за нерухомі.

Етапи прогрівання турбін: подача пари на ущільнення та підйом вакууму в конденсаторі; прогрівання турбін під час обертання роторів валоповоротним пристроєм; початок руху турбін парою і дача пробних оборотів; прогрівання турбін під час обертання парою на стоянці.

В окремих випадках допускається прогрівати турбіни одночасно з підйомом тиску пари в котлах, підтримуючи температуру пари та вакуум у конденсаторі відповідно до вказівок інструкції з експлуатації.

У разі екстреного приготування та пуску головного парового турбоагрегата підготовка систем, пуск допоміжних механізмів та включення в дію апаратів, а також підйом вакууму здійснюються в порядку, передбаченому для нормальної підготовки турбоагрегата до прогрівання. До того ж час приготування повинен бути максимально скорочений за рахунок

паралельного проведення підготовчих операцій, виключення операцій з перевірки положення роторів, щільності конденсатора, солоності відстійної води, дії резервних насосів, автоматичних регуляторів, захисних пристроїв тощо, а також відмови від попереднього сепарування та підігріву масла, якщо його температура не нижче 15 °С.

Тема 7. Обслуговування головного парового турбоагрегата під час роботи і бездіяльності. Контроль та регулювання параметрів робочого процесу.

Під час дії турбінної установки необхідно вести систематичне спостереження за роботою турбоагрегата та обслуговуючих його механізмів, систем та пристроїв за допомогою засобів контролю, а також шляхом огляду та прослуховування.

Необхідно періодично контролювати:

- частоту обертання турбін, генератора та гребного гвинта;
- температуру та тиск свіжої пари;
- тиск і температуру пари перед соплами, у камері регульовального ступеня, ресиверах та камерах відборів;
- тиск пари в системі ущільнень та розрідження в камерах відсмоктування;
- тиск (вакуум) у конденсаторі;
- тиск масла в системі змащення та регулювання;
- температуру масла до та після маслоохолоджувача;
- температуру підшипників турбоагрегата та надходження масла до всіх місць змащення;
- рівень масла у стічній та напірній цистернах, наявність переливу масла з напірної цистерни;
- осьове положення роторів та вібрацію турбін;
- температуру, рівень та солоність конденсату в конденсаторі, перепад тисків на механічних фільтрах;
- тиск охолоджувальної води перед конденсатором, її температуру до і після конденсатора та маслоохолоджувача;

– тиск пари перед соплами ежекторів та температуру конденсату після охолоджувачів ежекторів.

Під час виведення турбоагрегата з дії має бути забезпечене повне осушення турбін; попередження появи підвищеного прогину роторів та зачіпань під час охолодження турбін; запобігання підвищеному нагріванню підшипників.

Під час бездіяльності турбоагрегата повинні бути вжиті заходи, що унеможливають корозію його деталей.

Тема 8. Обслуговування допоміжних парових турбін.

Під час підготовки до дії та обслуговування, роботи допоміжних турбін необхідно керуватися вказівками, раніше розглянутими в темах 6 та 7, з урахуванням конструктивних особливостей турбін та низки додаткових вимог.

Прогрівання та пуск турбін необхідно проводити в такій послідовності:

а) створити пусковим насосом необхідний тиск масла та підтримувати його до моменту вступу в роботу основного масляного насоса;

б) поступово відкриваючи швидкозапірний клапан, зрушити ротор турбіни, спостерігаючи за тиском пари перед соплами і тиском відпрацьованої пари;

в) за відсутності незвичайних звуків у турбіні довести її частоту обертання до величини, за якої проводиться прогрів, і працювати на ній протягом часу, указанного в інструкції;

г) поступово (протягом 5–10 хв) довести частоту обертання турбіни до нормальної, прослуховуючи турбіну та ведучи ретельне спостереження за температурою масла та підшипників;

д) одночасно зі збільшенням частоти обертання турбіни поступово збільшувати вакуум у конденсаторі, доводячи його до повного;

е) під час вступу в роботу основного масляного насоса зупинити пусковий насос;

ж) у разі досягнення турбіною номінальної частоти обертання переконатися, що тиск масла в системі змащення відповідає необхідному;

з) переконатися, що турбогенератор керується автоматичною системою регулювання, а турбонасос автоматично підтримує необхідний тиск нагнітання або перепад тиску;

к) переконавшись у справній роботі турбогенератора на холостому ходу, перевірити спрацювання захисту за частотою обертання, після чого дати навантаження на генератор;

л) після набору навантаження закрити всі клапани продування; відрегулювати подачу пари до ущільнень і відсмоктування пари, а також рівень конденсату в конденсаторі;

м) вести ретельне спостереження за температурою підшипників, температурою та рівнем конденсату в конденсаторі, доки не встановляться постійні значення цих величин;

н) у разі досягнення нормальної температури масла, що надходить на змащення, відрегулювати подачу охолоджувальної води на маслоохолоджувач.

Тема 9. Обслуговування парових турбоагрегатів на режимах і умовах, відмінних від нормальних. Аварійні режими роботи.

Під час експлуатації можливий вихід із ладу окремих турбін, їх вузлів чи деталей. Характерні ознаки неполадок, причини та способи їх усунення викладені в інструкціях заводів-виробників та загалом у «Правилах технічної експлуатації суднових парових турбін».

У разі виходу однієї з турбін (високого тиску або низького тиску) з ладу, робота турбоагрегата забезпечується за рахунок справної турбіни, що залишилася. До того ж розбирають з'єднувальну муфту та ротор пошкодженої турбіни від'єднують від зубчастої передачі. Якщо пошкоджена зубчаста передача, то видаляють пошкоджені деталі.

У разі виходу з ладу турбіни високого тиску від'єднують від неї підведення свіжої пари і за допомогою труби аварійного підведення свіжої пари з дросельними шайбами подають пару від маневрового пристрою до турбіни низького тиску. На ресивері (між цими турбінами) ставлять заглушку.

У разі виходу з ладу турбіни низького тиску до ресивера приєднують аварійну трубу і ставлять заглушку так, щоб пара з турбіни високого тиску надходила відразу в конденсатор (минаючи турбіну низького тиску). Пара перед конденсатором дроселюється за допомогою шайби.

Тема 10. *Характерні несправності і неполадки в роботі парових турбоагрегатів, їх причини та способи усунення.*

Розрізняють такі групи несправностей та неполадок, що виникають під час роботи парових турбоагрегатів:

- несправності під час пуску;
- несправності під час пуску та маневрах;
- несправності в роботі системи змащення;
- вібрація турбоагрегата;
- несправності в роботі конденсаційної установки;
- несправності в роботі системи управління, регулювання та захисту;
- несправності в роботі зубчастої передачі.

Характерні несправності під час пуску:

1. Під час провертання головного турбоагрегата валоповоротним пристроєм споживана сила струму вище нормальної або різко коливається.
2. Швидкозапірний клапан не зводиться або не сідає на місце.
3. Тиск зрушення вище нормального.
4. Ненормальні шуми та стукіт у турбіні або редукторах.

Несправності під час пуску та маневрах:

1. Підвищений нагрів опорних або упорних підшипників турбіни або редуктора.

2. Масло витікає з підшипника.
3. Осьовий тиск на упорний підшипник турбіни збільшився.

Несправності в роботі системи змащення:

1. Насос масла не створює необхідний тиск масла або не забезпечує перелив масла з напірної цистерни.
2. Перепад тиску до і після фільтра масла зменшився або підвищився понад допустиме.
3. Рівень масла у стічній цистерні підвищений (занижений).
4. Тиск масла після гравітаційної цистерни нижче нормального.
5. Температура масла, що надходить на змащення, вище нормальної.
6. Обводнення масла.

Вібрація турбоагрегата:

1. Вібрація виникає під час пуску та зростає зі збільшенням частоти обертання.
2. Вібрація з прогріванням турбіни збільшується з часом.
3. Вібрація виникає за певної частоти обертання.
4. Вібрація підшипників у районі з'єднувальної муфти (підвищена та зростає зі збільшенням навантаження).
5. Вібрація певного підшипника, яка часто супроводжується його нагріванням.
6. Раптова сильна вібрація, яка супроводжується шумом, стуком.
7. Вібрація редуктора.

Тема 11. Підготовка до роботи і пуск суднового газотурбінного агрегата.

Підготовка до пуску газотурбінної установки включає в себе зовнішній огляд установки (агрегатів, систем та допоміжних механізмів). Перевіряють рівень масла, палива, дистильованої охолоджувальної води у витратних цистернах. Масло

підігрівають до 40–45 °С, видаляють відстійну воду, перевіряють роботу систем: масляної, паливної та охолоджувальної води. Заміряють осьовий розбіг в упорних підшипниках. Провертають валоповоротним пристроєм ротори турбокомпресорів та валопровід; прослуховують, переконаються у відсутності заїдань та зачіпань лопаток об корпус. Проводять холодне прокручування роторів установки пусковим двигуном, заміряючи час вибігу роторів, і перевіряють їхню відповідність нормам.

У разі отримання з містка **команди пуску** газотурбінного агрегата пусковим двигуном розкручують вал компресора до частоти обертання, зазначеної в інструкції заводу-виробника, за якої подача повітря в камеру згоряння стає достатньою для підтримки стійкого горіння (приблизно 20–25 % від номінальної подачі). Запалюють паливо. Температура газу не повинна перевищувати гранично-допустиму за інструкцією. Газотурбінні агрегати з масивними корпусами та роторами прогріваються поступово на малих частотах обертання. Час пуску визначається часом прогрівання газотурбінного агрегата.

Після прогріву потужність установки поступово збільшують шляхом збільшення подачі палива. У разі досягнення потужності установки, що перевищує значення споживаної потужності компресора, пусковий двигун автоматично вимикається. Після відключення газотурбінний агрегат працює на режимі холостого ходу з частотою обертання приблизно 40 % від номінальної.

Під час навантаження установки, збільшуючи витрату палива, підвищують частоту обертання до заданої величини командного містка. Роботу камери згоряння переводять із пускового палива на основне паливо.

У сучасних газотурбінних установках передбачається автоматизований запуск за заданою програмою. Вахтовий механік натисканням кнопки «Пуск» здійснює запуск установ-

ки; запускаються по черзі масляні та паливні насоси; у разі досягнення необхідного тиску масла у всіх підшипниках та інших точках включається пусковий двигун, запалюється паливо і установка виводиться на холостий хід.

***Тема 12.** Обслуговування суднового газотурбінного агрегата під час роботи і бездіяльності. Контроль та регулювання параметрів робочого процесу.*

Під час роботи систематично спостерігають за роботою всіх елементів газотурбінної установки. Показання контрольно-вимірювальних приладів (на пульті управління) періодично записують у вахтовий журнал: частоту обертання роторів двигуна та гребного валу; тиск і температуру масла, палива та охолоджувальної води; тиск і температуру повітря та газу в контрольних точках газотурбінного агрегата.

Особливу увагу приділяють температурам, які не повинні перевищувати граничних значень, зазначених в інструкції. Необхідно регулярно прослуховувати роботу всіх механізмів, щоб не було зачеплення частин, що обертаються, і вібрації. У разі їх появи установку слід зупинити й усунути причину.

Обслуговування непрацюючої газотурбінної установки зводиться, головним чином, до запобігання корозії та підтримки установки у стані готовності до пуску та експлуатації.

Необхідно контролювати температуру та вологість у машинному відділенні та за необхідності вентилювати його. На період бездіяльності установки спускають охолодну воду із системи. Ротори турбін і компресорів періодично (згідно з інструкцією) необхідно провертати і прослуховувати, до того ж підшипники обов'язково прокачують маслом.

Якщо газотурбінна установка повинна бути тривалий час у бездіяльності, то роблять часткову або повну її консервацію. Усі роботи виконуються за заводською інструкцією.

Тема 13. *Обслуговування суднових газотурбінних агрегатів на режимах і умовах, відмінних від нормальних. Аварійні режими роботи.*

Зупинки газотурбінних установок можуть бути плановими та аварійними. У разі будь-якої зупинки газотурбінного агрегата необхідно забезпечувати рівномірне охолодження турбін і компресорів та контроль за можливим зачепленням деталей ротора об статор усередині двигуна (унаслідок різної швидкості охолодження роторів і статорів через їхню різну масу).

У разі планової зупинки поступово розвантажують газотурбінний агрегат шляхом зниження і припинення подачі робочого палива до форсунок, переводячи систему паливopодавання на пускове паливо, щоб промити систему і заповнити її пусковим паливом. Цим попереджається коксування форсунок під час охолодження камер згоряння та поява пробок у паливному трубопроводі.

Аварійна зупинка здійснюється захистами чи персоналом. Залежно від можливих наслідків газотурбінна установка має бути зупинена негайно або попередньо розвантажена.

Захист зупиняє газотурбінну установку негайно в разі перевищення граничних значень температури газу перед турбіною, температури масла за підшипниками, під час перевищення частоти обертання ротора, його осевого зсуву, а також у разі зниження тиску масла та його рівня в баку. Захист спрацьовує під час згасання факела в камері згоряння, неприпустимому зниженні тиску палива, виходу з ладу системи регулювання, виникненні помпажу та ін.

Повний перелік відключень, які здійснює система захисту та персонал у разі непередбачених ситуацій (розрив паливoта маслопроводів високого тиску; поява тріщин, незвичайних шумів, стуку, скреготів у турбіні або компресорі, іскор, диму з підшипників та кінцевих ущільнень, сильної вібрації, пожежі,

яку не можна негайно погасити, та ін.) указується в інструкції з експлуатації газотурбінного агрегата.

***Тема 14.** Характерні несправності і неполадки в роботі суднових газотурбінних агрегатів, їх причини та способи усунення.*

У всіх випадках виникнення несправностей у роботі газотурбінного агрегату слід переконатися у правильності функціонування системи автоматичного керування, контрольновимірювальних приладів і сигналізації. У разі виникнення несправностей у системі електроустаткування необхідно, перш за все, заміряти опір ізоляції електричних ланцюгів. Усі роботи з усунення несправностей слід відзначати у відповідних розділах формуляра газотурбінного двигуна.

Основні можливі несправності суднових газотурбінних агрегатів:

1. Відсутній тиск пускового палива.
2. Відсутній тиск палива перед робочими форсунками.
3. Паливо не спалахує.
4. Відмова запуску.
5. Двигун не виходить на частоту обертання (оберти) холостого ходу.
6. Підвищений тиск палива перед робочими форсунками.
7. Підвищена температура масла на вході до двигуна.
8. Температура масла на виході з двигуна (або окремих опор) вища за допустимі норми.
9. Підвищена температура підшипників редуктора.
10. Підвищена вібрація та шум під час роботи.
11. Недостатній тиск масла на вході до двигуна.
12. Коливання тиску масла в установці (двигун та редуктор).
13. Коливання тиску масла в системі змащення двигуна або редуктора.
14. Пульсує тиск палива перед форсунками.

15. Коливання частоти обертання двигуна.
16. Мимовільне зниження частоти обертання або зупинка двигуна.
17. Не закривається стрічка перепуску повітря.
18. Висока температура газів за турбіною високого тиску на номінальному режимі.
19. Низька температура газів за турбіною високого тиску на номінальному режимі.
20. Засолення циркуляційного масла. Солоність відстою понад 15 °Бр.
21. Обводнення палива.

Тема 15. Особливості експлуатації та технічного обслуговування турбокомпресорів систем наддуву дизельних двигунів та газових турбін систем утилізації тепла.

Основні правила правильної експлуатації та технічного обслуговування турбокомпресорів систем наддуву дизельних двигунів:

- стежити за рівнем масла у двигуні та змінювати його згідно з регламентом, а краще трохи раніше (приблизно на 90 % його ресурсу);
- стежити за станом повітряного фільтра та проводити його регулярну заміну;
- стежити за рівнем охолоджуючої рідини та змінювати її за потребою.

Під час експлуатації суднових двигунів з газотурбінним наддувом, крім регулювання їх за основними параметрами, доводиться виконувати профілактичні та ремонтні роботи. Рівень проведення цих робіт знаходиться у прямій залежності від знань обслуговуючого персоналу не тільки конструктивних особливостей складових елементів (турбокомпресора, випускних та впускних трубопроводів, повітроохолоджувачів та ін.), а й вимог щодо їх ремонту та заміни в разі непридатності для подальшої роботи.

Основні можливі несправності в роботі турбокомпресорів систем наддуву дизельних двигунів:

- падіння тиску наддуву;
- відчутне зростання витрати масла;
- зміна кольору вихлопних газів на сизий;
- падіння потужності двигуна;
- підвищена шумність газової турбіни.

Особливу увагу слід приділити останній ознаці несправності турбокомпресора. Під час роботи турбіна не повинна свистіти або видавати сильний гомін. Якщо він стає виразно чутним у разі підвищення тиску та оборотів, турбіна потребує обслуговування або заміни.

7. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Особливості конструкції парових турбін та їх головних структурних елементів	2	1
2	Особливості конструкції газотурбінних агрегатів та їх головних структурних елементів	2	1
3	Особливості конструкції газових турбін систем наддуву дизельних двигунів та систем утилізації тепла	2	—
4	Правила технічної експлуатації суднових парових турбоагрегатів	3	1
5	Характерні несправності і неполадки в роботі парових турбоагрегатів	2	1
6	Правила технічної експлуатації суднових газотурбінних агрегатів	2	1
7	Характерні несправності і неполадки в роботі газотурбінних агрегатів	2	1
РАЗОМ:		15	6

8. САМОСТІЙНА РОБОТА

Відповідно до «Положення про робочу програму навчальної дисципліни в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова» [3], розподіл годин самостійної роботи для студентів денної та заочної форм навчання становить:

- підготовка до практичних занять – 2 години на кожне заняття;
- підготовка рефератів – мінімум 10...15 годин на кожну роботу;
- підготовка до контрольного заходу (екзамену) – 15 годин.

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Підготовка до практичних занять	14	12
2	Підготовка рефератів	16	41
3	Підготовка до екзамену	15	15
РАЗОМ:		45	68

9. МЕТОДИ НАВЧАННЯ, ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ДЕМОНСТРУВАННЯ

Набуття здобувачами компетенцій забезпечується через засвоєння навчального матеріалу у вигляді лекційних, практичних занять та самостійної роботи студентів.

Основними методами навчання з дисципліни є наступні:

1. Пояснювально-ілюстративний метод, за допомогою повідомлення та засвоєння інформації на лекційних та практичних заняттях словесними й наочними засобами.

2. Проблемний метод, коли на практичних заняттях утворюються пошукові ситуації, розвивається активність, самостійність, творчі здібності здобувачів освіти.

Як наочний матеріал на лекціях застосовуються мультимедійні слайди та лекційні демонстрації.

З метою роз'яснення найбільш складних питань дисципліни та підвищення якості виконання завдань практичних робіт проводяться групові та індивідуальні консультації за розкладом кафедри.

Під час карантину та військових дій заняття проводяться дистанційно в режимі відеоконференцій за допомогою онлайн-платформи Google Meet.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори» є такі:

- усні та письмові відповіді на практичних заняттях;
- підготовка рефератів;
- екзамен.

10. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною шкалою, яка використовується в НУК ім. адм. Макарова [2].

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю та оцінки заключного екзамену. У кожного компонента своя частка в загальній системі оцінок.

У проміжних оцінках студент може набрати максимум **60 балів**. Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (усні та письмові відповіді на практичних заняттях, підготовка рефератів).

Питома вага заключного екзамену в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний екзамен надається студенту, який з урахуванням отриманих балів проміжних оцінок і заключного екзамену може набрати разом не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки екзамену.

Екзамен відбувається в усній формі шляхом відповіді на 4 питання екзаменаційного білета. За відповідь на кожне питання студент може отримати максимум 10 балів.

Зарахування кредитів навчального курсу можливе тільки після досягнення результатів, запланованих робочою програмою дисципліни, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених «Положенням про порядок оцінювання знань студентів у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова» [2].

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Відповіді на практичних заняттях	7 x 4 бали = 28 балів	6 x 3 бали = 18 балів
Підготовка рефератів	2 x 16 балів = 32 бали	3 x 14 балів = 42 бали
Екзамен	4 x 10 балів = 40 балів	4 x 10 балів = 40 балів
РАЗОМ:	100	100

Відповіді на практичних заняттях (денна форма)	Критерії оцінювання
4 бали	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки
3 бали	Відповідь загалом правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
2 бали	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована
1 бал	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовується неправильна термінологія
0 балів	Студент не дає відповіді або відповідь містить значну кількість суттєвих помилок
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 28 балів (7 занять по 4 бали)	

Відповіді на практичних заняттях (заочна форма)	Критерії оцінювання
3 бали	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки
2 бали	Відповідь загалом правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
1 бал	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована
0 балів	Студент не дає відповіді або відповідь містить значну кількість суттєвих помилок
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 18 балів (6 занять по 3 бали)	

Підготовка реферату (у дужках для заочної форми)	Критерії оцінювання
13–16 (13–14) балів	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалася систематично та вчасно подана на перевірку керівнику у відповідності з планом виконання
10–12 (10–12) балів	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалася несистематично та подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання
7–9 (7–9) балів	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих
4–6 (4–6) балів	Студент виявляє знання і розуміння більшості положень, але лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих
0–3 (0–3) бали	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає пред'явленим вимогам. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 32 бали для денної форми навчання (2 реферати по 16 балів)</i> <i>та 42 бали за заочною формою навчання (3 реферати по 14 балів)</i>	

Відповідь на питання екзамену	Критерії оцінювання
9–10 балів	Відповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає матеріал, показує глибокі знання з питання білета, під час доповіді впевнено і докладно відповідає на поставлені питання
7–8 балів	Студент спроможний чітко та стисло зробити доповідь, дає правильну відповідь на питання білета, але не завжди впевнений в аргументації або не завжди коректно її формулює
5–6 балів	Студент спроможний чітко та стисло відповісти на питання білета, належно обґрунтовує матеріал, але допускає суттєві неточності у відповідях на питання
3–4 бали	Студент не впорядковано дає відповіді на питання білета, намагається дати відповідь на поставлені питання і робить спроби аргументувати свою позицію, але надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання
1–2 бали	Студент не впорядковано дає відповідь на питання білета, не спроможний аргументувати свою позицію, не може впевнено й чітко відповісти на додаткові питання членів комісії
0 балів	Студент не дає відповіді на питання білета
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 40 балів</i> <i>(4 питання по 10 балів)</i>	

11. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Номер модуля або теми		Денна форма		Заочна форма	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
ЗМ1	T1	Практичне заняття № 1	4	Практичне заняття № 1	3
	T3	Практичне заняття № 2	4	Практичне заняття № 2	3
	T5	Практичне заняття № 3	4	—	—
	T1–T5	Підготовка реферату № 1	16	Підготовка реферату № 1	14
ЗМ2	T6	Практичне заняття № 4	4	Практичне заняття № 3	3
	T10	Практичне заняття № 5	4	Практичне заняття № 4	3
	T12	Практичне заняття № 6	4	Практичне заняття № 5	3
	T14	Практичне заняття № 7	4	Практичне заняття № 6	3
	T6–T15	Підготовка реферату № 2	16	Підготовка реферату № 2	14
				Підготовка реферату № 3	14
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100

12. ЗАСОБИ НАВЧАННЯ

У ролі спеціальних засобів навчання використовуються мультимедійна техніка (проектори, екрани), графічні засоби (малюнки, креслення, схеми, плакати), моделі турбінних агрегатів та їх окремих елементів і систем.

13. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Горбов В. М. Енциклопедія суднової енергетики. Миколаїв : НУК, 2010. 624 с.
2. Горбов В. М. Основи технічної експлуатації суднових газотурбінних установок. Миколаїв : УДМТУ, 1996. 139 с.
3. Гречко М. П. Суднові турбінні установки. Одеса : Фенікс, 2005. 317 с.
4. Левенберг В. Д., Патлайчук В. М. Конструктивна будова головних парових турбоагрегатів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 1998. 51 с.
5. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Газотурбінні агрегати: у 2-х ч. Ч. 1: Загальна будова та класифікація. Миколаїв : НУК, 2016. 215 с.
6. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Газотурбінні агрегати: у 2-х ч. Ч. 2: Елементи конструкцій. Миколаїв : НУК, 2017. 196 с.
7. Романовський Г. Ф., Султанський Ю. О., Харченко В. І. Будова, правила технічної експлуатації та обслуговування газотурбінних двигунів. Миколаїв : НУК, 2011. 156 с.

Допоміжна література

1. Артемов Г. А., Горбов В. М., Романовський Г. Ф. Суднові установки з газотурбінними двигунами. Миколаїв : УДМТУ, 1997. 233 с.

2. Горбов В. М. Енергетичні палива: навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 328 с.

3. Горбов В. М., Шаповалов Ю. О., Ратушняк І. О. Головні двигуни сучасних транспортних суден : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 1998. 72 с.

4. Збірник завдань та вправ з теорії і проєктування турбінних агрегатів : навч. посібник / Г. Ф. Романовський, С. І. Сербін, М. В. Ващиленко, М. П. Седько, В. М. Патлайчук, В. І. Харченко. Миколаїв : НУК, 2012. 248 с.

5. Левенберг В. Д., Патлайчук В. М. Конструктивна будова головних газотурбінних агрегатів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 1998. 59 с.

6. Патлайчук В. М. Деталі проточних частин турбінних двигунів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 1999. 67 с.

7. Патлайчук В. М. Проєктування стаціонарних парових турбін : у 2 ч. Ч. 1: Розрахунок одноциліндрових турбін. Миколаїв : НУК, 2020. 120 с.

8. Патлайчук В. М. Проєктування стаціонарних парових турбін : у 2 ч. Ч. 2: Розрахунок багатоциліндрових турбін. Миколаїв : НУК, 2020. 160 с.

9. Патлайчук В. М. Ротори турбінних двигунів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2001. 60 с.

10. Романовський Г. Ф., Ващиленко М. В., Седько М. П. Основи проєктування компресорів суднових газотурбінних двигунів : навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2008. 292 с.

11. Романовський Г. Ф., Ващиленко М. В., Сербін С. І. Теоретичні основи проєктування суднових газотурбінних агрегатів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 304 с.

12. Романовський Г. Ф., Іпатенко О. Я., Патлайчук В. М. Теорія та розрахунок парових і газових турбін : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 292 с.

13. Романовський Г. Ф., Сербін С. І. Екологічно чисті камери згоряння ГТУ : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 83 с.

14. Романовський Г. Ф., Сербін С. І. Камери згоряння суднових газотурбінних агрегатів : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2000. 259 с.

15. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 1: Агрегати виробництва України та Росії. Миколаїв : НУК, 2005. 344 с.

16. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 2: Агрегати виробництва країн Західної Європи, Америки та Азії. Миколаїв : НУК, 2008. 420 с.

17. Спіцин В. Є., Харченко В. І. Будова газотурбінного двигуна типу UGT 25000E: у 2 ч. Ч. 1: Конструкція газотурбінного двигуна. Миколаїв : НУК, 2007. 52 с.

18. Ansaldo Energia: Steam turbines. Genova : Ansaldo Energia, 2014. 8 p.

19. Bloch H., Singh M. Steam turbines: design, applications and re-rating. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2009. 433 p.

20. Boyce M. P. Gas Turbine Engineering Handbook. 3-rd ed., Elsevier Inc., 2006, 936 p.

21. Doosan: Delivering cutting-edge turbine and generator technologies. Changwon : Doosan, 2017. 13 p.

22. Giampaolo T. Gas turbine handbook: principles and practices. 3-rd ed., The Fairmont Press, 2006, 437 p.

23. Gorbov V. M., Serbin S. I., Mitienkova V. S. Marine Engineering Encyclopedia: Study Guide. Mykolaiv : publisher Torubara V.V., 2017. 200 p.

24. Kehlhofer R., Rukes B., Hannemann F., Stirnimann F. Combined-cycle gas & steam turbine power plants. PennWell Corporation, 2009. 415 p.

25. Leizerovich A. Steam turbines for modern fossil-fuel power plants. The Fairmont Press, Inc., 2007. 550 p.

26. MARC® Steam Turbines: The modular turbine concept. Hamburg : MAN Diesel & Turbo, 2005. 16 p.

27. Overview SST: Large scale Steam Turbines for CCPP and SPP business. Erlangen : Siemens Power Generation, 2013. 17 p.

28. Patlaichuk V., Vashilenko M. Design of gas turbine units. Миколаїв : НУК, 2020. 88 с.

29. Saravanamuttoo H.I.H., Rogers G.F.C, Cohen H., Gas Turbine Theory. 5-th ed., 2013, 491 p.

30. Siemens AG: Industrial steam turbines. Siemens AG, 2014. 48 p.

31. Siemens Steam Turbines: from 90 MW up to 1900 MW. Erlangen : Siemens Power Generation, 2005. 15 p.

32. Steam turbines: A full range to fit your needs. Baden : Alstom, 2014. 20 p.

33. Steam turbines and gas expanders. Jeannette : Elliot Group, 2013. 12 p.

14. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В МЕРЕЖІ «ІНТЕРНЕТ»

1. Google Академія: пошукова система і некомерційна бібліометрична база даних, що індексує наукові публікації та наводить дані про їх цитування.

URL: <https://scholar.google.com.ua/>.

2. Єдиний офіційний каталог національних стандартів та кодексів ustalеної практики в Україні.

URL: <https://business.dia.gov.ua/handbook/standardization/edinij-oficijnij-katalog-nacionalnih-standartiv-ta-kodeksiv-ustalenoj-praktiki-v-ukraini>.

3. Каталог нормативних документів України.

URL: <http://csm.kiev.ua>.

4. Сайт компанії ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект».

URL: <http://www.zmturbines.com/>.

5. Сайт компанії АТ «Мотор Січ».

URL: <https://motorsich.com/>.

6. Сайт компанії «General Electric Company».

URL: <https://www.ge.com/>.

7. Сайт компанії «MAN Energy Solutions SE».

URL: www.man-es.com.

8. Сайт компанії «Marine Turbine Technologies, LLC».

URL: <https://www.marineturbine.com/>.

9. Сайт компанії «Rolls-Royce Group plc».

URL: <https://www.rolls-royce.com/>.

10. Сайт компанії «Turbine Marine, Inc.».

URL: <https://turbinepowersolutions.com/>.

11. Сайт науково-технічного журналу «Вісник Вінницького політехнічного інституту».

URL: <https://journals.vntu.edu.ua/uk.html#visnyk>.

12. Сайт науково-технічного журналу «Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування».

URL: <http://etpo.khpi.edu.ua>.

13. Сайт науково-технічного журналу «Вісник Приазовського державного технічного університету». Серія: «Технічні науки».

URL: http://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech.

14. Сайт науково-технічного журналу «Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова».

URL: <http://znp.nuos.mk.ua/>.

15. Сайт науково-технічного журналу «Компресорне і енергетичне машинобудування».

URL: <http://mikem.com.ua/zhurnal.html>.

16. Сайт науково-технічного журналу «Науковий вісник Херсонської державної морської академії».

URL: https://ksma.ks.ua/?page_id=548.

17. Сайт науково-технічного журналу «Проблеми машинобудування».

URL: <https://journal-me.com>.

18. Сайт науково-технічного збірника «Суднові енергетичні установки» Національного університету «Одеська морська академія».

URL: http://old.onma.edu.ua/index.php?nauka-seu_ua#theme.

19. Сайт науково-технічного журналу «Техніка та енергетика».

URL: <https://technicalscience.com.ua/uk>.

20. Сайт науково-технічного журналу «Gas Turbine World».

URL: <http://gasturbineworld.com/about.html>.

21. Сайт науково-технічного журналу «International Marine Energy Journal».

URL: <https://marineenergyjournal.org/imej>.

22. Сайт науково-технічного журналу «Shipbuilding and marine infrastructure».

URL: <http://smi.nuos.mk.ua/>.

23. Сайт науково-технічного журналу «Ukrainian Shipbuilding & Ship Repair Magazine».

URL: <http://sudostroy.com>.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Освітньо-професійна програма «Управління судновими технічними системами і комплексами» першого рівня вищої освіти за спеціальністю 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова* : офіц. вебсайт. URL: <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/2022-OPP-bak-271.pdf> (дата звернення 23.01.2023).

2. Положення про порядок оцінювання знань студентів у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова / укладачі: А. В. Лабарткава, В. В. Савочкіна, В. В. Івата. *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова* : офіц. вебсайт. URL: <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2021/10/Polozhennya-pro-poryadok-ocinjuvannya-znan-studentiv-u-NUK-2020.pdf> (дата звернення 23.01.2023).

3. Положення про робочу програму навчальної дисципліни в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова / укладачі: А. В. Лабарткава, В. В. Савочкіна, В. В. Івата. *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова* : офіц. вебсайт. URL: <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/Polozhennya-pro-robochu-programu-navchalnoi-discipliniNUK2020.pdf> (дата звернення 23.01.2023).

4. Робоча програма навчальної дисципліни «Суднові турбіни та турбокомпресори». *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова* : офіц. вебсайт. URL: <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/OK-30.-Sudnovi-turbini-ta-turbokompresori-2022.pdf> (дата звернення 23.01.2023).

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Навчальне видання

ПАТЛАЙЧУК Володимир Миколайович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ
«СУДНОВІ ТУРБИНИ ТА ТУРБОКОМПРЕСОРИ»**

Комп'ютерна правка й коректура *О. Г. Костенко*

Комп'ютерне верстання *А. Д. Сорочинська*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 2,8. Тираж 100 прим. Вид. № 2. Зам. № 1804-11.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.