

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В. М. ГОРБОВ, М. О. ГОЦУЛЯК

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до вивчення дисципліни
"ОСНОВИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ"
для студентів заочної форми навчання

Рекомендовано Методичною радою НУК

УДК 629.12.03

Г 76

Автори: В. М. Горбов, канд. техн. наук, професор;

М. О. Гоцуляк, асистент

Рецензент Б. В. Димо, канд. техн. наук, професор

Рекомендовано Методичною радою НУК

Горбов В. М.

Г 76 Методичні вказівки до вивчення дисципліни "Основи суднової енергетики" для студентів заочної форми навчання / В. М. Горбов, М. О. Гоцуляк. – Миколаїв : НУК, 2019. – 64 с.

Наведено навчальну програму, методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Основи суднової енергетики" для студентів спеціальностей 271 "Річковий та морський транспорт" та 135 "Суднобудування" заочної форми навчання. Матеріал відповідає новій редакції Конвенції й Кодексу ПДНВ у зв'язку з Манільськими поправками 2010 р.

Призначено для студентів спеціальностей, що вивчають дисципліну "Основи суднової енергетики", а також для студентів денного відділення при самостійній роботі.

УДК 629.12.03

© Горбов В. М., Гоцуляк М. О., 2019

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2019

ЗМІСТ

Передмова	4
Розділ 1. Загальні методичні рекомендації.....	6
Розділ 2. Тематичний план дисципліни "Основи суднової енергетики"...	7
Розділ 3. Загальна характеристика навчальної дисципліни.....	8
Розділ 4. Зміст дисципліни та рекомендації до вивчення дисципліни.....	9
Розділ 5. Склад контрольних робіт та варіанти завдань.....	16
Рекомендована література.....	18
Додаток 1. Питання для самоперевірки.....	21
Додаток 2. Зразок виконання контрольних робіт.....	35

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна "Основи суднової енергетики" для студентів спеціальності "Суднобудування" та "Річковий та морський транспорт" є базовою загальнопрофесійною дисципліною, яка передує циклу спеціальних дисциплін, що визначають професіоналізм майбутнього спеціаліста в галузі суднової енергетики як проектувальника, так і спеціаліста, діяльність якого пов'язана з експлуатацією, випробуванням та монтажем суднових енергетичних установок (СЕУ). Вона вивчається як перша профільна дисципліна і передує опануванню таких дисциплін, як "Теплові двигуни (ДВЗ)", "Суднові турбінні агрегати", "Суднові котли та атомні реактори", "Теорія, будова судна та рушії", "Загальносуднові системи", "Суднові допоміжні механізми", "Основи автоматичного управління СЕУ", "Основи технічної експлуатації СЕУ", що розкривають принципи роботи енергетичної установки та устаткування, принципи вибору та практичного застосування на судах основних елементів СЕУ.

Метою вивчення дисципліни є формування у студентів систематизованого цілісного уявлення про суднові енергетичні установки, призначені для забезпечення руху плавучих інженерних споруд, забезпечення електричною та тепловою енергією всіх типів суден та споруд океанотехніки. А також нормального функціонування та використання інженерних споруд, їх комплексів та систем.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен

знати термінологію, поняття та визначення, що відносяться до СЕУ; основи теорії, конструкції і роботи суднового енергетичного обладнання, умови роботи елементів пропульсивного комплексу; основні показники СЕУ; принципи отримання, перетворення та передачі енергії в суднових енергетичних установках; характеристики робочих речовин, що використовуються в СЕУ; умови та вимоги класифікаційних товариств щодо

розміщення елементів СЕУ у машинному відділенні; рівень впливу СЕУ на навколишнє середовище та шляхи зниження негативних наслідків її роботи;

вміти самостійно складати структурні та спрощені теплові схеми СЕУ різних типів, принципові схеми систем СЕУ; використовувати довідникову інформацію зі спеціалізованих сайтів в мережі Інтернет для вибору комплектуючого енергетичного обладнання; виконувати техніко-економічні та експлуатаційні розрахунки енергетичного обладнання з метою забезпечення технічної експлуатації суднових енергетичних установок.

мати уявлення про шляхи вдосконалення суднових енергетичних установок та перспективи їх розвитку

Вивчення навчальної дисципліни «Основи суднової енергетики» також спрямовано на формування певних компетентностей Кодексу з підготовки і дипломування моряків та несення ваhti *IMO MODEL COURSE 7.04* та *IMO MODEL COURSE 7.02*: забезпечення безпеки під час ваhti у машинному відділенні та управління пропульсивною установкою.

Більша частина теоретичного розділу курсу вивчається студентами самостійно, найбільш складні для засвоєння питання виносяться на лекції в обсязі, передбаченому навчальним планом.

Розділ 1. Загальні методичні рекомендації

Під час вивчення курсу "Основи суднової енергетики" студенти заочної форми навчання повинні:

- самостійно вивчати матеріали за рекомендованою літературою згідно з навчальною програмою курсу;
- самостійно контролювати засвоєння матеріалу шляхом складання відповідей на питання для самоперевірки;
- виконати та захистити контрольні роботи;
- засвоїти матеріал лекційних занять у період екзаменаційної сесії;
- отримати залік з курсу.

Над вивченням курсу слід працювати систематично, переходити до наступної теми тільки після закріплення знань з попередньої.

При вивченні матеріалу курсу рекомендується складати стислий конспект проробленого матеріалу, користуватись переважно мовою логічних схем, графіків. Закріплюючи пророблений матеріал слід наданням йому графічної інтерпретації (схеми, графіки, діаграми), якщо це можливо.

В даних методичних вказівках для кожної теми, відповідно, навчального плану наведена рекомендована література згідно з загальним списком. Ті питання, на які студент самостійно не знайшов відповіді, слід записувати та знаходити відповіді на них за допомогою викладача на консультаціях.

Лекції, що читаються у період екзаменаційних сесій, мають оглядовий характер. Їх мета – звернути увагу студентів на загальний зміст окремих тем, підкреслити найбільш важливі положення та закріпити умови їх практичного використання. Поряд з цим на лекціях докладно розглядаються окремі питання, недостатньо відображені у підручниках та посібниках, а також вивчаються матеріали наочних посібників, макетів, плакатів.

Виконання контрольних робіт слід починати тільки після проробки матеріалу відповідних розділів. *Контрольні роботи повинні виконуватись*

самостійно. В іншому випадку студент не набуде необхідних знань та не підготується належним чином до захисту роботи.

Розділ 2. Тематичний план дисципліни "Основи суднової енергетики"

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	у тому числі			
		л	п	інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1. Загальні відомості про Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Організація процесу навчання у НУК					
Тема 1. Загальні відомості про Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.	20	2	2	-	16
Змістовний модуль 2. Загальні відомості про морські судна					
Тема 2. Загальні відомості про морські судна	20	2	2	-	16
Модуль 2					
Змістовний модуль 3. Загальні відомості про СЕУ					
Тема 3. Загальні відомості про СЕУ	20	2	2	-	16
Змістовний модуль 4. Обладнання і механізми СЕУ					
Тема 4. Обладнання і механізми СЕУ	20	2	2	-	16
Модуль 3					
Змістовний модуль 5. Суднові дизельні енергетичні установки					
Тема 5. Суднові дизельні енергетичні установки	20	2	2	-	16
Змістовний модуль 6. Суднові турбінні і комбіновані енергетичні установки					
Тема 6. Суднові турбінні і комбіновані енергетичні установки	20	2	2	-	16
Модуль 4					
Змістовний модуль 7. Допоміжні енергетичні установки					
Тема 7. Допоміжні енергетичні установки	20	2	2	-	16
Змістовний модуль 8. Системи суднових енергетичних установок.					
Тема 8. Системи СЕУ	20	2	2	-	16
Змістовний модуль 9. Вплив суден на навколишнє середовище в процесі експлуатації та якісна оцінка енергетичної ефективності судна.					

Тема 9. Вплив суден на навколишнє середовище в процесі експлуатації та якісна оцінка енергетичної ефективності судна.	20	2	2	-	16
Усього годин:	180	18	18	-	144

Розділ 3. Загальна характеристика навчальної дисципліни

Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни для заочної форми навчання
Кількість кредитів – 6	Галузь знань <u>27 "Транспорт"</u> (шифр і назва) Спеціальність <u>271 "Річковий та морський транспорт"</u> (шифр і назва) Спеціалізація: <u>"Експлуатація суднових енергетичних установок"</u> Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>бакалавр</u>	Вибіркова
Модулів – 4		Підготовка за звичайним навчальним планом
Змістових модулів – 9		Рік підготовки:
Загальна кількість годин – 180		2,3-й
Розподіл тижневих годин за семестр:		Семестр:
		4,5,6-й
		Лекції, год
		6 6 6
		Практичні, год
		6 6 6
		Лабораторні, год
		-
		Самостійна робота, год
		48 48 48
		Індивідуальні завдання, год
		-
		Вид контролю:
		Залік

Розділ 4. Зміст дисципліни та рекомендації до її вивчення

Модуль 1

Змістовний модуль 1. Загальні відомості про Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Організація процесу навчання у НУК.

Тема 1. Загальні відомості про Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Лекція 1.1. Структура університету, характеристика підрозділів інститутів, філій, факультетів. Організація навчального процесу в університеті. Форми навчальних занять, контрольні і атестаційні заходи. Особливості навчального процесу підготовки суднових механіків. Місце практик у цьому процесі.

Рекомендована література [3, с.206-212]

Методичні рекомендації

Основну увагу слід приділити системності при вивченні даної дисципліни. Відповідально підійти до навчального процесу підготовки суднових механіків, чітко сформулювати кінцевий результат після вивчення дисципліни "Основи суднової енергетики".

Змістовний модуль 2. Загальні відомості про морські судна.

Тема 2. Загальні відомості про морські судна.

Лекція 2.1. Типи морських суден. Класифікація морських суден. Експлуатаційні і мореплавні характеристики суден. Загальний устрій судна.

Рекомендована література [7, с.373-385, 445-474, 476-488], [18, с.15-75, 81-93, 123-150, 255-284]

Методичні рекомендації

У процесі вивчення матеріалу сформулювати поняття по типам суден, їх експлуатаційним та мореплавним характеристикам, ознайомитись з загальним виглядом судна як плавзасобу, його головними елементами. Основну увагу слід звернути на вимоги щодо розміщення енергетичного устаткування у

машинному відділенні, відповідно до Правил Регістру. Ознайомитись із найбільшими класифікаційними товариствами в світі.

Модуль 2

Змістовний модуль 3. Загальні відомості про суднові енергетичні установки.

Тема 3. Загальні відомості про суднові енергетичні установки.

Лекція 3.1. Перетворення енергії в судових енергетичних установках, структурно-функціональні схеми СЕУ. Режим роботи СЕУ. Палива і масла для судових енергетичних установок.

Рекомендована література [4, с.29-58], [7, 85-151], [25, с.24-46]

Методичні рекомендації

При вивченні матеріалу необхідно засвоїти той факт, що СЕУ – це єдине джерело енергії різних типів на судні. Необхідно отримати чітке уявлення про склад енергетичних установок різних типів, взаємодію окремих їх елементів та про процеси, які відбуваються в цих елементах на різних режимах роботи СЕУ. У процесі опрацювання матеріалу даної теми потрібно ретельно вивчити характеристики основних робочих речовин енергетичних установок, як палива та масла, склад та роботу паливної та змащувальної систем.

Змістовний модуль 4. Обладнання і механізми СЕУ.

Тема 4. Обладнання і механізми СЕУ.

Лекція 4.1. Насоси, вентилятори і компресори. Теплообмінні апарати. Апарати і пристрої для очищення палив.

Рекомендована література [7, с.151-173]

Методичні рекомендації

У процесі опрацювання матеріалу необхідно ознайомитись з різними типами насосного обладнання, чітко розуміти які механізми використовуються в СЕУ для перекачування різних речовин. Ознайомитись з конструктивними особливостями теплообмінних апаратів, їх класифікацією та місцями застосування. Увагу слід приділити вивченню апаратам і пристроям для очищення палива в системі паливо підготовки.

Модуль 3

Змістовний модуль 5. Суднові дизельні енергетичні установки.

Тема 5. Суднові дизельні енергетичні установки.

Лекція 5.1. Принцип дії судових дизелів. Класифікація судових дизелів.

Основні конструктивні елементи і агрегати судових дизелів.

Експлуатаційні режими та характеристики судових дизелів.

Рекомендована література [5, с.11-18], [6, с.302-313], [7, с.187-232, с.261-269], [16, с.9-32]

Методичні рекомендації

Перед вивченням судових дизельних енергетичних установок необхідно звернути увагу на їх місце у світовому морському флоті порівняно з іншими типами СЕУ. Потрібно знати про те, що останнім часом значно зросла одинична потужність та енергетична ефективність СОД, що підвищує їх конкурентоспроможність порівняно з МОД. Основну увагу потрібно приділити вивченню конструкції двигунів різних типів, процесам перетворення енергії в двигуні, роботі систем двигуна. Навчитись складати структурно-функціональну схему СЕУ та визначати її режими роботи. Вміти розраховувати основні характеристики двигунів на різних режимах роботи СЕУ.

Змістовний модуль 6. Суднові турбінні і комбіновані енергетичні установки.

Тема 6. Суднові турбінні і комбіновані енергетичні установки.

Лекція 6.1. Суднові паротурбінні енергетичні установки. Принципові і теплові схеми СПТУ. Суднові газотурбінні енергетичні установки.

Комбіновані судові енергетичні установки.

Рекомендована література [1, с.44-72, с.101-122, с.141-154], [7, с.273-297, с.301-364]

Методичні рекомендації

Після вивчення даної теми студент повинен розуміти стан та перспективи застосування турбінних та комбінованих енергетичних установок на судні. Знати принцип роботи судових турбінних двигунів, вміти складати

принципові теплові схеми енергетичних установок з подальшим визначенням теплового балансу. Слід звернути увагу на засоби підвищення ефективності суднових ПТУ, ГТУ. Потрібно знати чому набувають поширення комбіновані установки, а саме через: забезпечення ефективного використання їх у широкому діапазоні режимів роботи та підвищення термодинамічної ефективності теплових двигунів.

Модуль 4

Змістовний модуль 7. Допоміжні енергетичні установки.

Тема 7. Допоміжні енергетичні установки.

Лекція 7.1. Електроенергетичні установки. Допоміжні котельні установки.
Опріснювальні установки.

Рекомендована література [1, с.123-135, 139-167], [7, с.286-297],
[19, с.348-362], [25, с.36-74]

Методичні рекомендації

Студент повинен знати способи економічного отримання та витрачання теплової, електричної енергії, визначати споживачів теплової та електричної енергії на судах різного призначення. Розглянути такі допоміжні енергетичні установки як суднові електростанції, суднові котельні установки, опріснювальні установки. Основну увагу необхідно приділити схемним рішенням, робочим параметрам, вибору обладнання та агрегатної потужності.

Змістовний модуль 8. Системи суднових енергетичних установок.

Тема 8. Системи суднових енергетичних установок.

Лекція 8.1. Паливні системи. Масляні системи. Повітряно-газові системи. Водопарові системи.

Рекомендована література [1, с.221-270], [4, с.59-85], [21, с.356-373]

Методичні рекомендації

При вивченні даного розділу потрібно знати призначення, склад, параметри робочих речовин систем суднових енергетичних установок, враховуючи різні режими роботи СЕУ. Необхідно ретельно вивчити характеристики таких основних робочих речовин енергетичних установок, як палива та масла.

Стосовно системи охолодження розглянути переваги централізованої схеми охолодження. Під час вивчення повітряно-газових систем приділити увагу необхідності компенсації температурних переміщень елементів газоходів. Ознайомитись з рекомендаціями Регістру судноплавства України щодо комплектації систем, параметрів робочих речовин, умов їх зберігання, об'ємів запасів.

Змістовний модуль 9. Вплив суден на навколишнє середовище в процесі експлуатації та якісна оцінка енергетичної ефективності судна.

Тема 9. Вплив суден на навколишнє середовище в процесі експлуатації та якісна оцінка енергетичної ефективності судна.

Лекція 9.1. Шкідливі викиди при роботі СЕУ, заходи для їх зниження, засоби очищення нафтовмісних вод, відхідних газів. Вимоги Міжнародної морської організації (*International Marine Organization – IMO*), індекс впливу суден на навколишнє середовище *ESI*.

Рекомендована література [7, с.174-178, 232-250, 361-363], [21, с.356-373], [25-27]

Методичні рекомендації

Під час вивчення матеріалу необхідно звернути увагу на обмеження та вимоги стосовно викидів парникових газів введені міжнародними конвенціями. Слід враховувати тип двигунів, що використовуються, райони плавання судна та склад палива, на якому працюють двигуни. Ознайомитись із поняттями та методиками визначення індексів енергетичної ефективності суден, що проектуються *EEDI (Energy Efficiency Design Index)*, енергетичної ефективності суден, що знаходяться в експлуатації *EEOI (Energy Efficiency Operation Index)* та впливу суден на навколишнє середовище *ESI (Environment Ship Index)*. Рекомендується розглянути преференції, які надаються судновласникам, при наявності на судні плану управління енергетичною ефективністю *SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan)* та сертифікату *ESI*.

Розподіл балів, які отримують студенти

Залік (4-й семестр)

Поточне тестування та самостійна робота (ПМК)			Залік	Сума
Змістовні модулі				
Змістовний модуль 1	Змістовний модуль 2	Змістовний модуль 3		
0-20	0-20	0-20	0-40	0-100

Залік (5-й семестр)

Поточне тестування та самостійна робота (ПМК)			Залік	Сума
Змістовні модулі				
Змістовний модуль 4	Змістовний модуль 5	Змістовний модуль 6		
0-20	0-20	0-20	0-40	0-100

Залік (6-й семестр)

Поточне тестування та самостійна робота (ПМК)			Залік	Сума
Змістовні модулі				
Змістовний модуль 7	Змістовний модуль 8	Змістовний модуль 9		
0-20	0-20	0-20	0-40	0-100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E	задовільно	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Критерії оцінювання

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів у кредитно – модульній системі організації навчального процесу та ЄКТС (ECTS)

За шкалою ЄКТС (ECTS)	Рівень компетентності	Критерії оцінювання
A	Високий (творчий)	Студент виявляє особливі творчі здібності, вміє самостійно здобувати знання, без допомоги викладача знаходить джерела інформації, використовує набуті знання і вміння в нестандартних ситуаціях, переконливо аргументує відповіді, самостійно розвиває власні обдарування і нахили.
B	Достатній (конструктивно-варіативний)	Студент вільно володіє вивченим обсягом матеріалу, застосовує його на практиці, вільно розв'язує вправи і задачі в стандартних ситуаціях, самостійно виправляє допущені помилки, кількість яких незначна.
C		Студент вміє зіставляти, узагальнювати, систематизувати інформацію під керівництвом викладача, в цілому самостійно застосовувати її на практиці, контролювати власну діяльність, виправляти помилки, серед яких є суттєві, добирати аргументи на підтвердження певних думок.
D	Середній (репродуктивний)	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень, з допомогою викладача може аналізувати матеріал, виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
E		Студент володіє матеріалом на рівні, вищому за початковий, значну частину його відтворює на продуктивному рівні.
FX	Низький (рецептивно-продуктивний)	Студент володіє матеріалом на рівні окремих фрагментів, що становлять незначну частину навчального матеріалу.
F		Студент володіє матеріалом на рівні елементарного розпізнання і відтворення окремих фактів, елементів, об'єктів.

Розділ 5. Склад контрольних робіт та варіанти завдань

В процесі вивчення матеріалу дисципліни студенти повинні самостійно виконати комплекс контрольних робіт для подальшої систематизації отриманих знань та цілісного уявлення про суднову енергетичну установку, системи, що її обслуговують, склад та параметри роботи обладнання, умови споживання енергії на судні при різних режимах роботи.

Контрольні роботи є складовою при оцінюванні знань студента під час отримання заліку. Роботи виконуються після або в процесі вивчення модулів щосеместрово протягом вивчення курсу дисципліни "Основи суднової енергетики". Всього 9 робіт, які включають в себе практичне завдання та контрольні питання. Кожна контрольна робота виконуються окремо та захищається.

Завдання для виконання контрольних робіт відповідно до варіанту за списком студентів наведені нижче в таблиці 1. Перелік контрольних робіт та їх завдання для виконання відповідає нумерації контрольних робіт в навчально-методичному посібнику Горбов В.М. "Практичні завдання з дисципліни "Основи суднової енергетики" [9].

Таблиця 1. Завдання для виконання контрольних робіт

Номер варіанта	Судно*	Контрольні роботи** семестрові								
		4-й			5-й			6-й		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A10.8	1	3	5	8	12	14	11	22	24
2	A9.4	1	3	5	6	12	16	11	20	25
3	A8.4	1	3	5	7	12	17	11	23	26
4	A7.6	1	3	5	6	12	14	10	21	24
5	A6.7	1	3	5	8	12	16	11	20	25
6	A5.10	1	3	5	6	12	17	10	21	26
7	A4.7	1	3	5	7	12	14	10	22	24
8	A3.12	1	3	5	7	12	16	11	23	25
9	A2.4	1	3	5	8	12	17	11	20	26
10	A1.5	1	3	5	6	12	14	10	22	24
11	A1.1	1	3	5	7	12	16	11	23	25
12	A2.2	1	3	5	9	12	17	10	21	26
13	A3.1	1	3	5	8	12	14	11	23	24
14	A4.3	1	3	5	6	12	16	10	22	25
15	A5.4	1	3	5	7	12	17	10	21	26
16	A6.6	1	3	5	6	12	14	11	20	24
17	A7.1	1	3	5	8	12	16	10	23	25
18	A8.1	1	3	5	6	12	17	10	22	26
19	A9.2	1	3	5	7	12	14	11	21	24
20	A10.4	1	3	5	8	12	16	11	20	25
21	A1.3	1	3	5	9	12	17	10	21	26
22	A2.3	1	3	5	6	12	14	11	22	24
23	A3.6	1	3	5	7	12	16	11	23	25
24	A4.5	1	3	5	8	12	17	11	20	26
25	A5.5	1	3	5	9	12	14	10	21	24
26	A6.12	1	3	5	6	12	16	11	22	25
27	A7.4	1	3	5	7	12	17	11	23	26
28	A8.6	1	3	5	8	12	14	11	20	24
29	A9.1	1	3	5	9	12	16	11	21	25
30	A10.2	1	3	5	7	12	17	11	23	26

* – судно відповідного номеру наведено в навчально-методичному посібнику, Додаток А;

** – відповідна нумерація контрольних робіт в навчально-методичному посібнику.

Рекомендована література

1. **Артемів Г. А.** Суднові енергетичні установки [Текст]: навчальний посібник / Г. А. Артемів, В. М. Горбов. – Миколаїв : УДМТУ, 2002. – 356 с.
2. **Артемів Г. А.** Системы судовых энергетических установок [Текст]: учебное пособие / Г. А. Артемів, В. П. Волошин, А. Я. Шквар, В. П. Шостак. – Л. : Судостроение, 1990. – 376 с.
3. **Бугаєнко Б. А.** Николаевский кораблестроительный институт. Очерк истории института–университета / Б. А. Бугаєнко, А. Ф. Галь, Н. М. Костенко. – Николаев : УГМТУ, 1995. – 240 с.
4. **Возницький І. В.** Практические рекомендации по смазке судовых дизелей [Текст] / І. В. Возницький. – СПб. : Моркнига, 2007. – 128с.
5. **Возницький І. В.** Судовые двигатели внутреннего сгорания [Текст]: учебник : в 2 т. Т. 1 / І. В. Возницький. – М. : Моркнига, 2008. – 283 с.
6. **Возницький І. В.** Судовые двигатели внутреннего сгорания [Текст]: учебник : в 2 т. Т. 2 / І. В. Возницький, А. С. Пунда. – М. : Моркнига, 2008. – 463 с.
7. **Горбов В. М.** Енциклопедія суднової енергетики [Електронне видання]: підручник / В. М. Горбов, В. П. Кот. – Миколаїв : НУК, 2012. – 606 с.
8. **Горбов В. М.** Збірник задач з дисципліни "Суднові енергетичні установки" [Текст]: навчальний посібник / В. М. Горбов, І. П. Єсін, Т. Г. Слаутіна, О. К. Чередніченко. – Миколаїв: НУК, 2009. – 56 с.
9. **Горбов В. М.** Збірник практичних завдань з дисципліни "Основи суднової енергетики" [Текст]: навчальний посібник / В. М. Горбов, І. П. Єсін, В. С. Мітенкова. – Миколаїв : НУК, 2017. – 270 с.
10. **Горбов В. М.** Суднова енергетика та Світовий океан [Текст]: підручник / В. М. Горбов, І. О. Ратушняк, Є. І. Трушляков, О. К. Чередніченко [за ред. В. М. Горбова]. – Миколаїв : НУК, 2007. – 596 с.
11. **Конкс Г. А.** Мировое судовое дизелестроение. Концепция конструирования, анализ международного опыта [Текст]: учебное пособие / Г. А. Конкс, В. А. Лашко. – М. : Машиностроение, 2005. – 512 с.

12. **Корнилов Э. В.** Вспомогательные и утилизационные котлы морских судов [Текст] / Э. В. Корнилов, В. Н. Афанасенко, П. В. Бойко. – Одесса : Фенікс, 2004. – 170 с.
13. **Корнилов Э. В.** Технические характеристики современных дизелей [Текст] : справочник / Э. В. Корнилов. – Одесса, 2008. – 272 с.
14. **Корнилов Э. В.** Технология топливоподготовки на судне [Текст] / Э. В. Корнилов, П. В. Бойко, В. П. Смирнов. – Одесса : Студия «Негоциант», 2006. – 247 с.
15. **Лидер судовой энергетики в Украине. Страницы истории кафедры судовых и стационарных энергетических установок [Текст] / под. общ. редакцией В. М. Горбова. – Николаев : НУК, 2015. – 238 с.**
16. **Наливайко В. С.** Суднові двигуни внутрішнього згорання [Текст]: підручник. / В. С. Наливайко, Б. Г. Тимошевський, С. Г. Ткаченко. – Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2015. – 332 с.
17. **Новиков А. И.** Международная морская организация и классификационные общества в обеспечении безопасности мореплавания [Текст]: учебное пособие / А. И. Новиков, В. Ф. Ходаковский. – Севастополь : Украинский морской институт, 2010. – 120 с.
18. **Новиков А. И.** Теория и устройство судов и технических средств освоения шельфа [Текст]: учебник : в 2 т. Т. 1 / А. И. Новиков, В. Г. Зиновьев-Горбатенко. – Севастополь : Издатель Кручинин Л. Ю., 2011. – 516 с.
19. **Овсянников М. К.** Судовые дизельные установки [Текст]: справочник / М. К. Овсянников, В. А. Петухов. – Л. : Судостроение, 1986. – 424 с.
20. **Пахомов Ю. А.** Топливо и топливные системы судовых дизелей [Текст] : учебник / Ю. А. Пахомов. – М. : Консульт, 2004. – 496 с.
21. **Пахомов Ю. А.** Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания [Текст]: учебник / Ю. А. Пахомов. – М. : ТрансЛит, 2007. – 528 с.

22. **Ривкин С. Л.** Термодинамические свойства воды и водяного пара [Текст]: справочник / С. Л. Ривкин, А. А. Александров – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.
23. **Хряпченков А. С.** Судовые вспомогательные и утилизационные парогенераторы [Текст] / А. С. Хряпченков. – Л : Судостроение, 1990. – 279 с.
24. **Шостак В. П.** Потоки енергії в дизельних установках морських суден [Текст] / В. П. Шостак. – Миколаїв : УДМТУ, 1997. – 57 с.
25. Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) [Electronic resource]. – IMO, MEPC.1/Circ.684, 2009. – Mode of access: https://www.classnk.or.jp/hp/pdf/activities/statutory/eedi/mepc_1-circ_684.pdf
26. Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships [Electronic resource]. – IMO, MEPC.245 (66), Annex 5, 2014. – Mode of access: [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/245\(66\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/245(66).pdf)
27. Implementing Energy Efficiency Design Index [Electronic resource]. – Mumbai: Indian Register of Shipping, 2015. – Mode of access: http://www.irclass.org/files/marine_publications/EEDI_2015.pdf.

Інформаційні ресурси

Основними джерелами інформації для даної дисципліни є проектна документація транспортних суден, проектні керівництва (*Project Quaycl*) фірм-розробників суднових МОД, в першу чергу провідної корпорації *MAN*, вітчизняні та закордонні технічні журнали по суднобудуванню, судноплавству й судновій енергетиці, правила класифікації і побудови морських суден знаних класифікаційних товариств, міжнародні конвенції, нормативні державні та галузеві стандарти, а також технічна література, список якої наведено у рекомендованій літературі. Поряд з цим зазначимо, що практично необмеженим джерелом інформації є Інтернет, особливо його спеціалізовані ресурси, але користування їм потрібно з певним обмеженням, вважаючи на не завжди високий професіоналізм розміщених там матеріалів.

Питання для самоперевірки

1. Історія світового розвитку суднової енергетики

1. У чому відмінність принципу конденсації пари в паровій машині Ньюкомена в порівнянні з двигуном Д. Папена?
2. Охарактеризуйте принцип дії парової машини І. І. Ползунова.
3. Яке конструктивне рішення, запропоноване І. І. Ползуновим, було покладено в майбутньому в основу проектування багатоциліндрових двигунів?
4. Назвіть основні принципи, закладені Уайтом в конструкцію свого парового двигуна.
5. Які особливості Еоліпіла Герона Олександрійського в подальшому були використані при створенні теплових двигунів? Назвіть тип таких двигунів.
6. Наведіть основні характеристики енергетичної установки пароплава, який першим перетнув Атлантику.
7. Назвіть проблеми, які виникли в 40-х роках XIX ст. при спільному використанні для руху судна парової машини і вітрил.
8. Як в кінці 60-х років XIX ст. була забезпечена прийнятна ефективність конденсації відпрацьованої пари в парових машинах?
9. Розгляньте основні типи суднових парових котлів, що застосовувались на суднах в XIX ст.
10. Назвіть загальні риси і відмінності між активною і реактивною турбінами.
11. Порівняйте парові машини і парові турбіни за граничним тиском розширення пара.
12. Порівняйте парові машини і парові турбіни за принципом здійснення корисної роботи.
13. Як впливають на остійність судна СЕУ з паровими машинами і паровими турбінами?
14. Наведіть особливості суднових паротурбінних енергетичних установок з безпосереднім з'єднанням валів турбіни і гребних гвинтів.

15. Обґрунтуйте використання редуктора в складі суднової ПТУ
16. Наведіть характерні параметри і особливості будови суднових парових турбоагрегатів кінця 20-х - початку 30-х років XX ст.
17. На прикладі силового агрегату ТС-1 покажіть характерні особливості паротурбінних агрегатів 50-х років.
18. Розгляньте основні етапи, якими Р. Дизель йшов до створення двигуна його імені.
19. Надайте характеристику СЕУ першого в світі судна з дизельним двигуном.
20. Аргументуйте, чим пояснюється більша компактність ГТД в порівнянні з ПТА.
21. Назвіть передумови практичного застосування ГТД на судах в середині XX ст.
22. На яких судах радянського виробництва були застосовані ГТУ з СПГГ? Наведіть їх характеристики.
23. Розгляньте побудовані в 60-70 роках XX ст. торгові судна з АЕУ.
24. Як класифікуються ядерні реактори в залежності від типу активної зони?
25. Охарактеризуйте спосіб розташування ядерного палива в реакторі.
26. Наведіть основні елементи системи ядерної безпеки водо-водяних реакторів.
27. Як забезпечується захист АЕС від пошкоджень при зіткненні суден або посадці судна на мілину?

2. Загальні відомості про суднові енергетичні установки

1. Дайте визначення суднової енергетичної установки.
2. З яких елементів складається СЕУ?
3. Назвіть види енергії, які виробляються та споживаються на судні.
4. Охарактеризуйте головну СЕУ.
5. Який склад ГЕУ?
6. Розгляньте призначення та склад допоміжної СЕУ?
7. Від чого залежить потужність СЕС? Відповідь обґрунтуйте.
8. Дайте визначення системи СЕУ.

9. Які типи систем забезпечують функціонування СЕУ?
10. Назвіть типи палив, які використовують в СЕУ?
11. Охарактеризуйте стан застосування АЕУ на суднах?
12. Які типи двигунів знайшли застосування на сучасних суднах?
13. Чим обґрунтовується використання КЕУ з термодинамічно незв'язаними циклами? Назвіть основні елементи таких установок.
14. Які типи передач набули розповсюдження на суднах?
15. Наведіть приклади переважаючого застосування електричних передач.
16. В яких елементах СЕУ проходять процеси, пов'язані з перетворенням енергії палива?
17. Охарактеризуйте втрати енергії, які мають місце в процесах перетворення енергії в СЕУ?
18. Що є мірою оцінювання ефективності СЕУ?
19. Утилізація яких потоків енергії знайшла використання на суднах? Наведіть приклади.
20. Охарактеризуйте експлуатаційні режими роботи СЕУ транспортного, бурового, пасажирського суден.
21. Які втрати енергії мають місце в ДВЗ?
22. Поясніть, які елементи входять до складу суднового валопроводу?
23. Від чого залежать склад та розміри ВП?
24. З яких елементів складається ущільнення дейдвудного пристрою?
25. Які типи передач знайшли використання в СЕУ?
26. На які типи поділяють двоступеневі зубчасті передачі за кінематичними схемами?
27. Наведіть схему планетарного редуктору. Які планетарні редуктори використовуються в СЕУ?
28. Сформулюйте принцип дії гідростатичної передачі.
29. Наведіть схему гідродинамічної передачі з гідромуфтою.
30. Наведіть схему перетворення енергії в електричних передачах.
31. Розгляньте основні типи електричних передач.

32. Розгляньте особливості фракційного складу рідких палив.
33. Які одиниці вимірювання в'язкості знайшли застосування в суднової енергетиці?
34. Охарактеризуйте вміст сірки в рідких паливах.
35. Поясніть, чому саме нижча теплота згоряння використовується в теплотехнічних розрахунках?
36. Поясніть, які сорти дистильованих палив пропонуються Міжнародним стандартом морських палив 2005 р.
37. На які види поділяється дизельне паливо по міждержавних стандартах?
38. Назвіть основні групи альтернативних палив.
39. Якими факторами обумовлюється використання альтернативних палив в суднової енергетиці?
40. Які спирти перспективні для використання в складі СЕУ?
41. Наведіть перспективи використання вугільного палива в СЕУ.
42. Назвіть типи емульсій. Які паливні емульсії використовуються в ДВЗ?
43. Сформулюйте вимоги до масел, що призначені для використання в теплових двигунах.
44. Наведіть необхідні властивості циркуляційних масел для суднових МОД.
45. Покажіть, які затрати циркуляційного масла характерне для сучасних ДВЗ?
46. На які категорії поділяються гідравлічні масла у відповідності до класифікації *ISO*?
47. Які особливі вимоги застосовуються до термічним маслам?
48. Які типи компресорів використовуються в складі систем СЕУ?
49. Охарактеризуйте конструкцію пластинчастих теплообмінних апаратів.
50. Охарактеризуйте утилізаційні вакуумні опріснювачі.
51. Наведіть режими, на які можуть бути налаштовані сепаратори?
52. Які процеси відбуваються в сепараторі?
53. В наслідок яких процесів відбувається гомогенізація палива в гідродинамічних пристроях?
54. На які групи за тонкістю відсіву поділяють фільтри?

55. Розгляньте основні джерела забруднення атмосфери при роботі СЕУ.
56. Як впливають оксиди азоту на навколишнє середовище та організм людини?
57. Наведіть концентрації SO_2 , шкідливі для організму людини.

3. Суднові дизельні енергетичні установки

1. Охарактеризуйте склад дизельної енергетичної установки судна.
2. Чим обмежується температура газів на виході з утилізаційних котлів МОД?
3. Охарактеризуйте двоконтурну систему охолодження дизельного двигуна.
4. Назвіть найбільш розповсюджений спосіб охолодження надувного повітря ДЕУ.
5. З яких елементів складається суднова електростанція ДЕУ?
6. Наведіть склад допоміжної котельної установки ДЕУ.
7. Які переваги багатомашинної ДЕУ з СОД у порівнянні з ДЕУ з МОД?
8. Як підрозділяються суднові дизелі по конструктивним виконанням кривошипно-шатунного механізму?
9. Дайте визначення основних характеристик роботи суднового ДВЗ: робочий цикл, індикаторна діаграма, верхня та нижня мертві точки, хід поршня, робочий об'єм циліндра.
10. Які процеси відбуваються в чотиритактному дизелі під час першого такту?
11. Охарактеризуйте процеси, що відбуваються в чотиритактному дизелі на другому такті.
12. Які функції виконує кругова діаграма фаз газорозподілу?
13. Наведіть особливості устрою двотактного двигуна з прямоточно-клапанною продувкою.
14. Визначте процеси, які відбуваються в циліндрі двотактного двигуна під час першого такту.
15. Охарактеризуйте процеси, які проходять в циліндрі двотактного двигуна на протягом другого такту.
16. Розгляньте особливості існуючих систем газообміну двотактних двигунів.

17. Назвіть елементи, які входять до складу кривошипно-шатунного механізму трункового двигуна.
18. Розгляньте особливості кривошипно-шатунного механізму крейцкопфного двигуна.
19. Назвіть деталі, які входять до поршневої групи кривошипно-шатунного механізму суднових дизелів.
20. В чому полягає відмінність в мастилі рамових та шатунних шийок кінчатого валу?
21. Яке призначення механізму газорозподілу?
22. Наведіть особливості клапанних систем газорозподілу дво- та чотиритактних двигунів.
23. Охарактеризуйте призначення розподільчого валу. З яких елементів він складається?
24. З яких елементів складаються турбокомпресорні агрегати наддуву?
25. Які типи турбін та компресорів знайшли використання в складі агрегатів наддуву?
26. Обґрунтуйте необхідність охолодження повітря після стиснення в компресорі ТНА?
27. Наведіть склад паливної системи високого тиску судового ДВЗ
28. Розгляньте склад паливних систем високого тиску ДВЗ.
29. Назвіть основні елементи масляної системи ДВЗ.
30. Назвіть дизелебудівні компанії, які випускають МОД.
31. Наведіть діапазон потужностей двигунів типу *МС*.
32. Назвіть функції розподільчого валу у МОД типу *МС*.
33. Розгляньте принципи забезпечення змащення циліндрових втулок марки двигунів типу *МЕ*.
34. Назвіть елементи, які були вилучені з конструкції двигунів типу *МС* при переведенні їх на електронне керування.
35. Які елементи були введені до конструкції двигунів з електронним керуванням у порівнянні з двигунами типу *МС*?

36. Наведіть основні показники вимірювання шкідливих викидів СЕУ до атмосфери.
37. Охарактеризуйте рівень викидів, встановлених конвенцією *MARPOL* з 2000 р.
38. Назвіть обмеження до вмісту сірки в паливах, які діють в зонах *SECA*.
39. На які групи поділяються первинні методи зниження викидів NO_x ?
40. Наведіть рівень зниження викидів NO_x з використанням ВТЕ.
41. За рахунок яких факторів використання рециркуляції відхідних газів ДВЗ призводить до зниження вмісту NO_x ?
42. Наведіть реакції перетворення окислів азоту на молекулярний азот у *SCR*-системах.
43. Розгляньте основи скрубберної технології очищення відхідних газів від сіркових з'єднань.

4. Суднові паротурбінні енергетичні установки

1. Назвіть основні елементи найпростіших ПТУ.
2. Які втрати теплоти враховує термічний ККД циклу Ренкіна?
3. Який цикл ПТУ є регенеративним?
4. Назвіть способи підігріву живильної води.
5. Як реалізується в ПТУ проміжний перегрів пару?
6. Назвіть типи парових турбін за характером робочого процесу.
7. Охарактеризуйте особливості устрою ГТЕУ криголаму «Арктика».
8. В чому полягає механізм виникнення розрідження в конденсаторі ПТУ?
9. Охарактеризуйте принципи само проточної циркуляції охолоджуючої води головних конденсаторів.
10. Охарактеризуйте призначення судових допоміжних котлів.
11. Надайте визначення утилізаційних котлів.
12. Яким чином забезпечується природна циркуляція в котлах?
13. Наведіть визначення кратності циркуляції.
14. З яких елементів складається водотрубний котел?

15. Надайте характеристику спускним та підйомним трубкам парового котла.
16. Наведіть параметри пари сучасних головних та допоміжних котлів.
17. Розгляньте споживачів пари на суднах з ДЕУ.
18. Яка інформація міститься в позначенні котлів типу КАВ та КВВА?
19. Як розшифровується марка котла типу КУП?
20. Які технічні рішення забезпечили компактність котлоагрегату КУП-3100?

5. Суднові газотурбінні енергетичні установки

1. Чому ГТД, що виконані за схемою з блокованою судновою турбіною, непридатні для використання в СЕУ?
2. Які переваги суднового ГТД, виконаного за двокаскадною схемою?
3. Розгляньте способи ускладнення схем та циклів ГТД, що використовуються з метою підвищення ККД.
4. Наведіть схеми таких суднових ГТА: з проміжним охолодженням повітря; з регенерацією теплоти відхідних газів; з проміжним підігрівом газу; з паротурбінним ТУК.
5. Які особливості контактного газотурбінного агрегату?
6. Надайте характеристику процесу конвертації авіаційних ГТД в суднові.
7. Як згідно з міжнародною класифікацією позначаються комбіновані енергетичні установки? Наведіть приклади.
8. За яким спрямуванням розвивалось морське газотурбобудування в СРСР?
9. Розгляньте принцип реверсування суднового ГТД, розробленого СПБ «Машпроект».
10. Проаналізуйте, чому газотурбінна установка ГТУ-20 судна «Паризька комуна» не знайшла подальшого застосування та поліпшення?
11. Розгляньте конструктивну схему та характеристики ГТД *LM2500*.
12. Розгляньте загальний устрій ГТД *WR-21*.
13. Розгляньте принцип дії реверсивної турбіни суднового ГТД.
14. Проаналізуйте можливість забезпечення вимог Додатку VI Конвенції *MARPOL* використанням ГТД на пасажирських суднах.

15. Наведіть вимоги, яким повинні відповідати енергетичні установки СПК та СПП, та покажіть доцільність використання ГТД на таких судах.
16. Розгляньте можливі варіанти компонування ГТД на СПК та покажіть, які з них мають переваги для використання.
17. Наведіть повну характеристику ГТД ДИ59: компресорів; камери згоряння; турбін.
18. Наведіть склад та характеристики суднової електростанції ГПТУ судна «Капітан Смирнов».
19. Наведіть характерні особливості камер згоряння ГТД.
20. Яка з частин камери згоряння грає вирішальну роль в утворенні забруднюючих речовин?
21. Наведіть відсоток оксидів азоту в сумарній токсичності відпрацьованих газів ГТД.
22. За якою реакцією в камері згоряння ГТД відбувається утворення NO_x з атмосферного повітря?
23. Розгляньте принцип реалізації основних способів зниження оксидів азоту з відпрацьованими газами ГТД.

6. Типи морських суден

1. Як поділяються судна в залежності від району плавання?
2. Наведіть типи суден по способу пересування.
3. На які типи поділяються судна по характеру пересування?
4. Охарактеризуйте принцип дії основних типів суден з динамічними принципами підтримки: суден на підводних крилах; суден на повітряній подушці; суден на повітряній каверні; екранопланів.
5. Як поділяються судна в залежності від типу головних двигунів?
6. На які групи поділяються транспортні судна?
7. Наведіть основні типи спеціалізованих суховантажних суден.
8. На які групи за можливостями проходження певними водними шляхами поділяються балкери?

9. Наведіть основні правила, що регламентують проходження суден Панамським каналом.
10. Яка спеціалізація існує серед рефрижераторних суден?
11. Охарактеризуйте вимоги *IMO* та конвенції *MARPOL* до конструкцій танкерів.
12. На які групи поділяють танкери за можливістю проходження спеціальними суднохідними шляхами?
13. Які типи вантажів перевозяться суднами-газовозами?
14. Чому гази перевозяться суднами у зрідженому стані?
15. Які особливості характерні для пасажирських суден?
16. На які групи поділяються промислові судна?
17. В чому полягають особливості загального устрою та облаштування плавучих промислових баз?
18. Як за призначенням поділяються криголами?
19. Охарактеризуйте типи головних двигунів, придатних для використання на криголамах.
20. Обґрунтуйте перспективність застосування АЕУ для криголамів.
21. Назвіть типи буксирних суден в залежності від району плавання.
22. Які судна відносяться до службових?
23. Яке призначення суден технічного флоту?
24. Прослідкуйте послідовність підйому судна за допомогою плавучого доку.
25. Як забезпечуються днозаглиблюючі роботи при використанні земснарядів?
26. Охарактеризуйте обладнання кабелеукладальних суден та технологію укладання кабелю.
27. Яке обладнання використовується на судах для очищення акваторії?
28. Які типи плавучих бурових установок використовують для розвідки та освоєння нафтогазових родовищ?
29. Розгляньте принцип дії та устрій заглибленої плавучої бурової установки.
30. Охарактеризуйте загальний устрій напівзаглибленої плавучої бурової установки.

31. Дайте характеристику принципу дії та устрою самопідйомної плавучої бурової установки.
32. Охарактеризуйте призначення кранових суден.
33. Охарактеризуйте архітектурний тип суден постачання та обслуговування бурових платформ та енергетичні установки, що використовуються на них.
34. Охарактеризуйте основні типи суден для прийому, накопичення та первинної переробки нафти та газу.
35. В чому полягає основне призначення плавучих електростанцій?
36. Розгляньте принципи укладання підводних трубопроводів різноманітних діаметрів.

7. Експлуатаційні та мореплавні характеристики суден

1. Перетин якими площинами дає загальне уявлення про корпус судна?
2. Дайте визначення основних базових площин, за допомогою яких визначаються характеристики суден.
3. Як співвідносяться між собою конструктивна та вантажна ватерлінії для транспортних ватерліній?
4. Дайте характеристику дедвейту, як міри вантажопідйомності.
5. Чим відрізняється дедвейт від чистої водотоннажності?
6. Як визначається повна водотоннажність судна?
7. Дайте визначення генерального вантажу?
8. Наведіть приклади навалочних та насипних вантажів.
9. В чому різниця між валовою та чистою місткістю судна?
10. Хто був родоначальником вантажної марки?
11. В якому судовому документі містяться відомості про вантажну марку?
12. Чому метацентрична висота рахується мірою остійності судна?
13. Розгляньте конструктивні міри забезпечення непотоплюваності судна.
14. Охарактеризуйте складові опору води рухові судна.
15. Чому необхідно проводити регулярне докування суден та очистку їх підводної частини?
16. Проаналізуйте причину виникнення кавітаційної ерозії гребного гвинта.

17. З яких елементів складається водометний рушій?

8. Загальна будова судна

1. Чим визначається архітектурно-конструктивний тип судна?
2. Які форми кормової частини корпусу судна отримали найбільше поширення?
3. Назвіть архітектурні типи суден за кількістю та розташуванням надбудов.
4. Чим рубки відрізняються від надбудов?
5. На які групи поділяються суднові приміщення?
6. Охарактеризуйте основні конструктивні елементи корпусу судна.
7. Як називається відстань між сусідніми основними шпангоутами? Назвіть числові значення цієї відстані?
8. Якими конструктивними елементами корпусу обмежуються носова та кормова частини судна?
9. Назвіть основні загальносуднові пристрої.
10. З яких елементів складається рульовий пристрій?
11. Назвіть типи рульових машин.
12. Які типи підрулюючих пристроїв набули розповсюдження на суднах?
13. Охарактеризуйте загальний устрій гвинторульового комплексу типу *Azipod*.
14. Охарактеризуйте призначення швартових пристроїв.
15. Розгляньте особливості устрою, комплектації та застосування індивідуальних рятувальних засобів.
16. Назвіть вимоги до розташування на судні рятувальних шлюпок.
17. Наведіть типи вантажних пристроїв універсальних суховантажних суден.
18. Які вантажні пристрої застосовують на суднах з горизонтальним методом вантажообробки та ліхтеровозах?
19. За допомогою яких пристроїв виконується вантажообробка наливних суден?
20. Які типи кранів застосовуються на сучасних суднах?
21. Назвіть типи апарелей, що застосовуються на суднах.
22. Які системи відносяться до трюмних?
23. Розгляньте призначення та типи баластних систем.

24. Роз'ясніть принцип дії системи тушіння інертними газами.
25. Назвіть спеціалізовані системи наливних суден.

Нормативне забезпечення проектування, побудови та експлуатації суден

1. Дайте визначення класифікаційного товариства.
2. Розгляньте історію виникнення Регістру судноплавства України.
3. Який порядок отримання сертифікату класу судна?
4. Чим обґрунтовується необхідність здобуття суднами при проходженні Суецького та Панамського каналів спеціальних сертифікатів тоннажу?
5. Охарактеризуйте структуру *ІМО*.
6. В чому полягає головна мета *ІМО*?
7. Які задачі встановлені перед Комітетом по захисту морського середовища *ІМО*?
8. Рішення яких питань входить до компетенції Комітету по безпеці на морі *ІМО*?
9. Назвіть основні міжнародні морські організації.
10. На які категорії поділяються міжнародні конвенції, що розроблені *ІМО*?
11. Які нормативні документи крім конвенцій розробляють *ІМО*?
12. Наведіть стисло характеристику Конвенції про підготовку та дипломування моряків.
13. Стисло охарактеризуйте Конвенцію про пошук та порятунок на морі.
14. Надайте стисло характеристику Конвенції про вантажну марку.
15. Яка трагічна подія ініціювала розробку Міжнародної конвенції про охорону людського життя на морі?
16. Розгляньте історію прийняття Конвенції *SOLAS*.
17. Якими свідоцтвами підтверджується відповідність судна Конвенції *SOLAS*?
18. Охарактеризуйте структуру Конвенції *MARPOL-73/78*.
19. К суднам якого типу застосовується Конвенція *MARPOL-73/78*?
20. Яку інформацію містить Міжнародне свідоцтво *IOPP*?

9. Вплив суден на навколишнє середовище в процесі експлуатації та якісна оцінка енергетичної ефективності судна

1. Що визначає (яку величину) індекс енергетичної ефективності суден, що проектуються?

2. На які типи суден з якими судновими енергетичними установками поширюється дія *EEDI*?
3. Які групи показників судна впливають на індекс енергетичної ефективності суден, що проектуються?
4. Які палива розглядаються як суднові при визначенні *EEDI*?
5. Скільки етапів передбачено для введення граничних кривих *EEDI*, та в яких часових межах вони діють?
6. Які шляхи покращення значення *EEDI*, впливаючи на енергетичні показники судна?
7. Як можна покращити значення *EEDI*, впливаючи на морехідні показники судна?
8. Наведіть приклади інноваційних технологій, впровадженням яких на судні можна покращити *EEDI*.
9. Що визначає індекс енергетичної ефективності суден, що знаходяться в експлуатації?
10. На які типи суден поширюється дія *EEOI*?
11. Які показники впливають на індекс енергетичної ефективності суден, що знаходяться в експлуатації?
12. Які палива розглядаються в якості суднових при визначенні *EEOI*?
13. У яких одиницях вимірюється *EEOI* для різних типів суден?
14. Для яких типів рейсів (переходів) судна розраховується *EEOI* індекс, а для яких не розраховується?
15. Що визначає *ESI*?
16. Які порти вже приєдналися до програми сертифікації *ESI*?
17. Як вимоги *IMO* враховуються при визначенні індексу впливу суден на оточуюче середовище?
18. Які преференції отримують судновласники, що приєдналися до програми сертифікації *ESI*?
19. Як можна покращити значення індексу впливу суден на навколишнє середовище?

Зразок виконання контрольних робіт

Контрольна робота №1

Аналіз мореплавних, експлуатаційних та конструктивних характеристик судна

Таблиця 1.1

Характеристика	Числове значення
Тип і назва судна	пасажирське, ро-ро, "TANIT"
Рік і місце побудови	2012, Південна Корея
Основні розмірення: довжина L , м; ширина B , м; висота борту H , м	210×30×16
Осадка T , м	7,3
Повна водотоннажність D , т	52 645
Дедвейт DW , т	6 126
Швидкість руху v , вуз	27,5
Кількість головних двигунів $i_{ГД}$, фірмова марка та потужність $N_e^{ГД}$, кВт головних двигунів	4×12V48/60CR, MAN B&W, 4×14 400
Склад суднової електростанції та кількість допоміжних дизель-генераторів $i_{ДДГ}$, фірмова марка та потужність приводів електрогенераторів $N_e^{ДД}$, кВт, валогенераторів $i_{ВГ}$, фірмова марка та їх потужність $N_e^{ВГ}$, кВт, допоміжних паротурбогенераторів $i_{ПТГ}$, фірмова марка та потужність $N_e^{ПТГ}$, кВт	4×6L32/40, MAN, 4×2 850 - -
Склад допоміжної котельної установки: кількість допоміжних котлів $i_{ДК}$, фірмова марка та паропродуктивність т/год, кількість утилізаційних котлів $i_{УК}$, фірмова марка та паропродуктивність, т/год	2, Saacke, 2×5 -
Кількість екіпажу, чол.	285
Кількість гребних гвинтів $i_{ГТ}$, шт.	2
Кількість підрулюючих пристроїв та їх потужність, кВт: носових $i_{НПП}$, $N_e^{НПП}$; кормових $i_{КПП}$, $N_e^{КПП}$	2×1 750, НПП
Характеристики специфічного обладнання*	
Наявність на судні обладнання для очищення відхідних газів, його тип та фірмова марка	SCR
Наявність на судні обладнання для обробки баластних вод, його тип та фірмова марка	GloEn Patrol – УФ оч. Panasia, 300м³/год
Наявність на судні обладнання для захисту навколишнього середовища, його тип, фірмова марка	Uson/USC-2030 Hamworthy/ST-50C



TANIT: ro-pax built to latest regulations

Shipbuilder: **Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, Ltd**
 Vessel's name: **Tanit**
 Hull No: **H.7511**
 Owner/operator: **Compagnie Tunisienne De Navigation**
 Country: **Tunisia**
 Designer: **Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering, Ltd**
 Country: **Korea**
 Model test establishment used: **MARIN**
 Flag: **Tunisia**
 IMO number: **9598579**
 Total number of ships already completed (excluding ship presented): **nil**
 Total number of sister ships still on order: **nil**

TANIT, was the ship that was going to help Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) break into the cruise market. That is what was expected of this vessel in the beginning, but what was actually discovered from the building of the ro-pax ship is that the cruise industry may not be that easy to get into if you come from outside Europe.

DSME has said that the cruise market has been difficult to enter due to the outfitting of the interiors of the ferries with most interior designers for cruise ships being based in Europe and being expensive to use. Added to this are the difficult technical specifications for the interiors of cruise ships, highlighted the company.

This cruise ferry as DSME refers to the vessel has been constructed for Tunisian state company, COTUNAV, and was delivered in May 2012. The vessel's main feature is that it complies with the Safe Return to Port (SRTP) requirements and will be the largest ferry operating in the Mediterranean.

The vessel was specifically designed for cross Mediterranean journeys between Tunisia and France, Italy and Spain and will offer first class accommodation, various amenities and spacious areas for its 3,200 passengers. The vessel has over 10,000m² public spaces, including a swimming pool and a mosque. Tillberg Design US was employed for the outfitting of the interior design of this vessel, which has been themed on the essence of the Tunisian culture.

The 210m vessel has a capacity of more than 1,000 cars or a mixture of trucks and cars. The vessel has been designed for better cargo flow with a bow and a stern ramp for the 1,060 cars (or 91 trailers and 339 cars) that will come aboard in a journey. Also, cargo capacity has been maximised through the installation of an upper car deck, a main cargo deck with hoistable car decks and a lower hold.

Van der Velden Marine Systems has supplied the two TIMON rudders for *Tanit*. The TIMON flap type rudders installed on the vessel will optimise speed and course corrections and reduce cavitation and vibration. The rudder profile is based on the IISVA and NACA profiles and is suitable for fast vessels requiring high manoeuvrability performance. Because of the flap, turning circles are smaller and course corrections can be made more efficiently.

The two TIMON rudders are provided with Asymmetric Rudder Technology (ART). ART is a special rudder design that has been developed to improve propeller flow. The special layout modifies the profile above and below the centreline of the propeller in such a way that effects of the rotation of the propeller slipstream are countered. This expands the cavitation-free rudder angle and reduces drag,

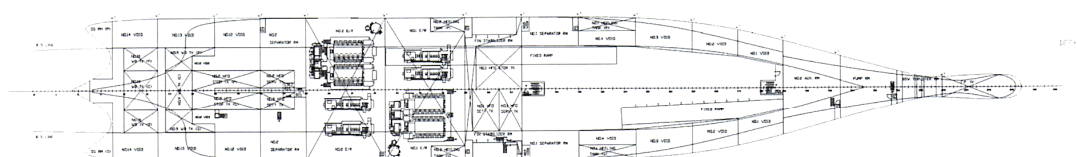
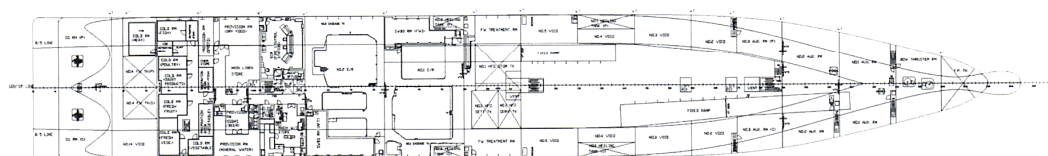
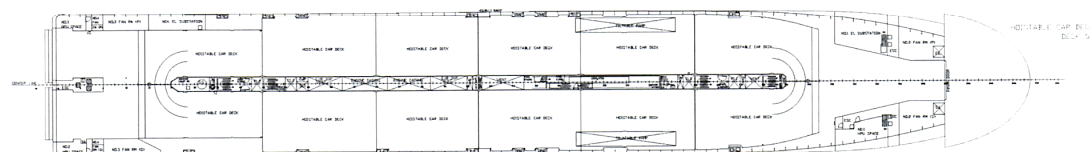
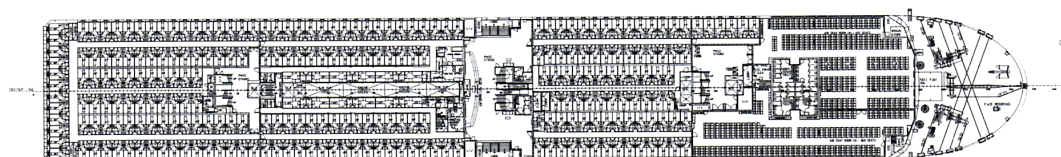
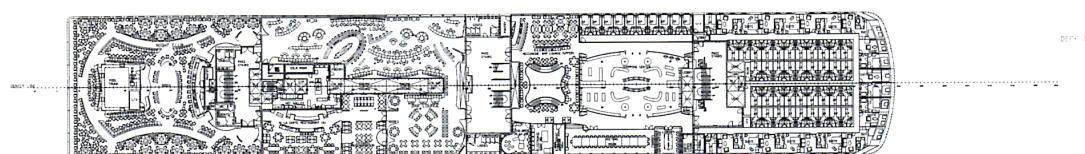
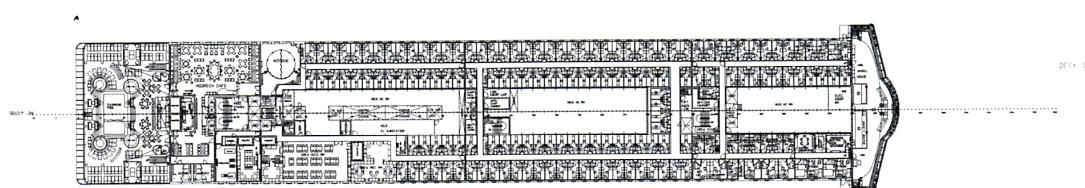
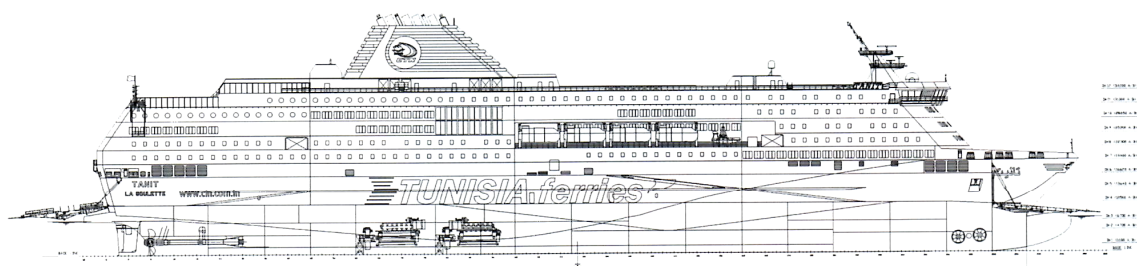
which contributes to the ship's speed abilities. Reduced rudder cavitation also gives an extended life span to rudders and shaft bearing systems. Low vibration and noise levels are an additional bonus.

Tanit has been designed with two separate engine rooms that are fitted with four MAN B&W 12V48/60CR that also have propeller shaftlines which have different lengths of over 40m. Having this arrangement the vessel meets with the requirements for safe return to port. The final propeller blade design has been hydro dynamically optimised and carefully balanced with a special focus on propulsion efficiency, low noise, and cavitation levels. The vessel is capable of a maximum speed of 30knots, which will also make it one of the fastest sailing ferries in the world.

TECHNICAL PARTICULARS

Length oa: 210.0m
 Length bp: 189.6m
 Breadth moulded: 30.0m
 Depth moulded
 To main deck: 10.5m
 To upper deck: 16.62m
 Width of double skin
 Bottom: 1.6m
 Draught
 Scantling: 7.92m
 Design: 7.29m
 Gross: 52,645gt
 Deadweight
 Design: 6,126dwt
 Speed, service: 27.5knots
 Bunkers
 Heavy oil: 1,780m³
 Diesel oil: 290m³
 Water ballast: 2,450m³
 Daily fuel consumption
 Main engine only: 196.3tonnes/day
 Auxiliaries: 24.5tonnes/day
 Classification society and notations: BV I, HULL, MACH, Roro Passenger Ship, COMF-NOISE2, COMF-VIB 2, AUT-UMS, AUT-PORT, SYS-NEQ-1, MON-SHAFT, Ice Class ID, REF-STORE, ALP, SDS, Inwater Survey, Unrestricted
 Heel control equipment: Two pairs of heeling tanks
 Roll-stabilisation: One pair of fin stabilisers
 Main engine
 Design: MAN B&W
 Model: 12V48/60CR
 Manufacturer: MAN B&W
 Number: 4
 Type of fuel: HFO, MDO
 Output of each engine: 14,400kW x 514rpm
 Propeller
 Material: Ni-Al-Bronze
 Designer/manufacturer: MAN
 Number: 2
 Fixed/controllable pitch: Controllable
 Diameter: 5.6m
 Diesel-driven alternators
 Number: 4
 Engine make/type: MAN 6L32/40
 Type of fuel: HFO, MDO
 Alternator make/type: HHI/HFJ7 808-8P

Output/speed of each set: 2,850kW
 Boilers
 Number: 2
 Type: Steam boiler
 Make: Staacke
 Output, each boiler: 5,000kg/h
 Mooring equipment
 Number: 6
 Make: Rolls-Royce
 Type: Low pressure hydraulic
 Special lifesaving equipment
 Number of each and capacity: 4 x 632 persons
 Make: HFD
 Type: MES
 Vertical or sloping chutes: Vertical
 Vehicles
 Number of vehicle decks: 3 x fixed, 1 x movable
 Total lane length: 1,400
 Total cars: 1,060
 Total freight units: 91 trailers (14.6m x 3m), 339 cars or 1,060 cars
 Doors/ramps/movable car decks
 Number of each: 8/4/12
 Type: Hydraulic
 Designer: TTS
 Water ballast treatment system
 Make: Panasia
 Capacity: 300m³/h
 Complement
 Officers/crew: 285
 Passengers
 Total: 3,200
 Number of cabins: 653
 Percentage/number outboard: 21%/136 cabins
 Stern appendages/special rudders: Flap rudder
 Bow thruster
 Make: Brunvoll
 Number: 2
 Output: 1,750kW
 Bridge control system
 Make: JRC
 One-man operation: Yes
 Fire detection system
 Make: Consilium
 Type: Addressable
 Fire extinguishing systems
 Engine room: CO₂
 Vehicle spaces: Drencher
 Cabins: Mاريو/ water mist
 Public spaces: Mاريو/ water mist
 Radars
 Number: 3
 Make: JRC
 Models: JMA-9122-6XA, JMA-9132-SA, JMA-9122-6XA
 Integrated bridge system
 Make: JRC
 Model: JAN-901B-CON
 Waste disposal unit
 Waste compactor: Usion/USC-2030
 Waste shredder/crusher: Usion/USC-2030
 Sewage plant: Hamworthy/ST-50C
 Contact date: 26 July 2010
 Delivery date: 31 May 2012



Пасажи́рське судно *Tanit* типу ро-ро призначено для перевезення людей та автомобільного транспорту по Середземному морі. Проект судна розроблений *Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co. Ltd* за правилами Класифікаційного Товариства *BV* (Бюро Верітас, Франція). Паром побудовано на верфі Південної Кореї у 2012 році. Судновласник – компанія *COTUNAV, Compagnie Tunisienne de Navigation*, судно ходить під прапором Тунісу.

Основні розміри судна: довжина судна 220 м, ширина 30 м, висота борта до головної палуби 16 м, осадка 7,3 м. Повна водотоннажність становить 52 645 т, дедвейт 6 126 т, швидкість судна 27,5 вуз. Розміри судна дозволяють йому проходити без обмежень Панамським та Суецьким каналами.

Паром перевозить 3 200 пасажирів і більше 1 000 авто (1060 авто або 91 причеп і 339 авто). Для прискорення само завантаження/розвантаження судна має носову та кормову аппарелі. На судні розміщено басейн та мечеть.

Пропульсивний комплекс двовальний з двома гребними гвинтами регульованого кроку (*APP*) діаметром 5,6 м з частотою обертання 75 хв^{-1} . В конструкції судна застосовано два носові підрулюючі пристрої потужністю $2 \times 1750 \text{ кВт}$.

При бункеровці судна на борт приймається $1\,780 \text{ м}^3$ важкого палива (*HFO*), 290 м^3 дизельного палива (*MDO*), об'єм рідкого баласту становить $2\,450 \text{ м}^3$. Для зменшення негативного впливу на навколишнє водне середовище та зниження наслідків інвазії чужорідних організмів судно оснащено системою очищення баластних вод ультрафіолетом *Panasia* продуктивністю $300 \text{ м}^3/\text{год}$.

Головний двигун судна – чотири СОД компанії *MAN B&W 12V48/60CR* з електронним управлінням. На судні два окремих машинних відділення. Потужність двигунів $4 \times 14\,400 \text{ кВт}$ при частоті обертання 514 хв^{-1} . Характеристики двигуна забезпечують виконання умов *IMO* стосовно шкідливих викидів до атмосфери на рівні *Tier III*.

Потреби в електроенергії СЕУ та судна в цілому забезпечуються допоміжною судновою електростанцією, яка складається з чотирьох допоміжних дизель-генераторів фірми *MAN 6L32/40* потужністю $4 \times 2\,850 \text{ кВт}$.

Потреби в парі та гарячій воді забезпечуються допоміжним котлом *Saacke* продуктивністю 5 т/год. Через відносно недовгу рейсову лінію 4 200 миль з декількома заходами в порти та масо-габаритні обмеження, щодо розмірів машинних відділень, утилізаційний котел та валогенератор не використовуються.

Для захисту навколишнього середовища на судні застосовано установку очищення стічних вод *Hamworthy/ST-50C* та установку для пресування та подрібнення мусору *Uson/USC-2030*. Щодо системи очищення відхідних газів, то використовується селективне каталітичне очищення відхідних газів (*SCR – Selective Catalytic Reducation*), що знижує вміст NO_x на 90 %.

Контрольна робота №2

Розробка структурно-функціональної схеми СЕУ та таблиці режимів

Таблиця 2.1. Вихідні дані

Характеристика	Числове значення
Тип і назва судна	пасажирське, ро-ро, <i>TANIT</i>
Тип СЕУ	ДЕУ
Кількість гребних гвинтів $i_{ГГ}$, шт. та частота обертання $n_{ГГ}$, $хв^{-1}$	2, 75
Кількість гребних ЕД $i_{ГЕД}$ та їх потужність $N_e^{ГЕД}$, кВт	-
Кількість підрулюючих пристроїв та їх потужність: носових $i_{НПП}$, $N_e^{НПП}$, кВт; кормових $i_{КПП}$, $N_e^{КПП}$, кВт	2 НПП, 2×1 750
Кількість ГД $i_{ГД}$, тип та фірмова марка	4, 12V48/60CR, <i>MAN B&W</i>
Ефективна потужність ГД $N_e^{ГД}$, кВт; частота обертання $n_{ГД}$, $хв^{-1}$	4×14 400, 514
Кількість валогенераторів $i_{ВГ}$ та їх потужність $N^{ВГ}$, кВт	-
Кількість ДД СЕС $i_{ДД}$, тип та фірмова марка	4, 6L32/40, <i>MAN</i>
Ефективна потужність ДД $N_e^{ДД}$, кВт; частота обертання $n_{ДД}$, $хв^{-1}$	4×2 850, 750
Кількість УК $i_{УК}$ та їх фірмова марка	-
Кількість ДК $i_{ДК}$ та їх фірмова марка	2, <i>Staacke</i>
Паропроductивність ДК $D^{ДК}$, т/год, тиск пари ДК $p_s^{ДК}$, МПа	5, 1,2
Кількість ОУ $i_{ОУ}$, їх тип та фірмова марка	-

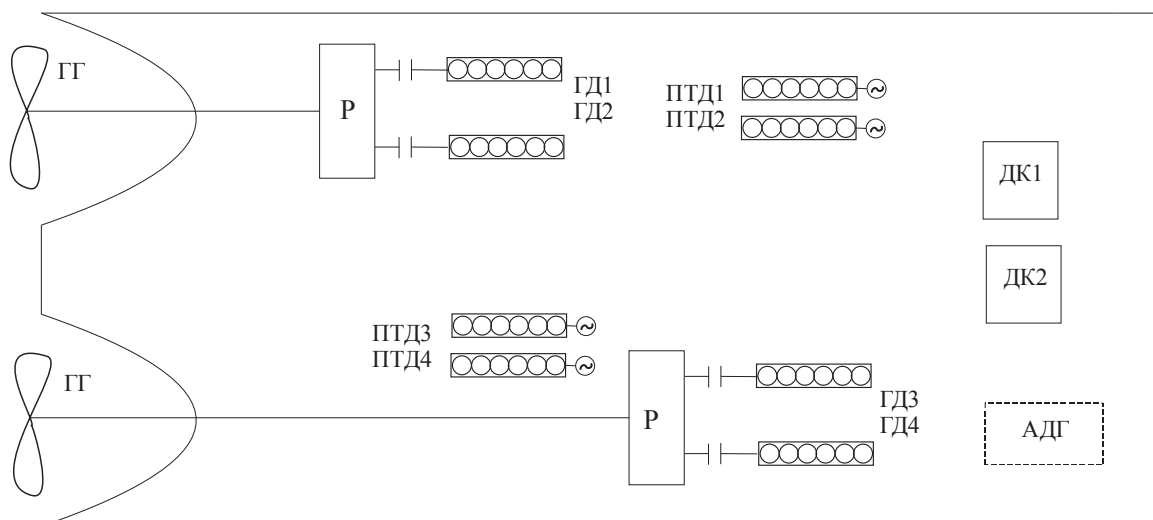


Рис. 2.1. Структурно-функціональна схема двовальної багатомашинної СЕУ з середньообертовими двигунами

Таблиця 2.2. Таблиця режимів роботи елементів СЕУ

Елементи СЕУ	Режими роботи СЕУ				Примітка
	Ходовий	Стоянкові		Аварійний	
		з вантажними операціями	без вантажних операцій		
ГД (4)	+ 4	-	-	-	
ДДГ (4)	+ 2	+ 2	+ 2	-	2 -резерв
ДК (2)	+ 2	+ 2	+ 1	-	
АДГ (1)	-	-	-	+1	

Висновок. Паром *Tanit* оснащено двохвальною дизельною енергетичною установкою. Головний двигун – чотири середньообертові двигуни компанії MAN B&W потужністю $4 \times 14\,400$ кВт, частотою обертання 514 хв^{-1} , який через гідروмуфту, валопровід та редуктор (механічну передачу потужності) поєднується з гребним гвинтом регульованого кроку з частотою обертання 75 хв^{-1} . До складу суднової допоміжної електростанції входять чотири допоміжних дизель-генератора потужністю по $2\,850$ кВт, з частотою обертання 750 хв^{-1} . На стоянці з вантажними операціями працюють два дизель-генератори, два знаходяться у резерві. У разі аварійної ситуації, внаслідок якої зникає живлення на ГРЩ, потреби в електроенергії окремих груп споживачів забезпечує аварійний дизель-генератор. Потреби у парі забезпечують два

допоміжні котли марки *FMB-VS* компанії *Saacke* паропродуктивністю 5 т/год, при тиску пари 1,2 МПа.

Контрольна робота №3

Проведення порівняльного аналізу основних характеристик сучасних суднових двигунів і агрегатів

Таблиця 3.1. Характеристики суднових ДВЗ, *MAN B&W* (Німеччина)

Характеристики	МОД	СОД	ВОД
Маркування	8K80MC-C	12V48/60CR,	VP185
Потужність N_e , кВт	2×28 880	4×14 400	14×4 000
Частота обертання вихідного валу n , хв ⁻¹	104	514	1 950
Питома витрата палива, g_e г/(кВт·год)	175	176...180	211
Ефективний ККД η_e	0,48	0,48	0,45
Характеристики	МОД	СОД	ВОД
Середній ефективний тиск p_e , МПа	8	20	25,3
Діаметр циліндра D , см	80	48	185
Відношення S/D	2,88	1,25	1,06
Кількість циліндрів i	8	12	18
рядне розташування	+	-	-
V-подібне розташування	-	+	+
Температура відхідних газів $T_{від.г}$, °С	300	360	380
Ступінь підвищення тиску у компресорі ТНА π_k	3,5	4,2	5
Питома маса двигуна m , кг/кВт	18	8,2	2,8

Таблиця 3.2. Характеристики суднових газотурбінних двигунів **UGT 15000 (ДО 90)**, Зоря-Машпроет (Україна)

Характеристики	Числове значення
Потужність N_e , кВт	4×16 700
Початкова температура газів T_3 , °С	1075
Температура відхідних газів $T_{від.г}$, °С	414
Ступінь підвищення тиску у компресорі ГТД π_k	20,5...22,5
Кількість: компресорів i_K	2
камер згоряння $i_{КС}$	1
турбін i_T	3
Частота обертання вихідного валу ГТД $n_{вих}$, хв ⁻¹	4 400
Передаточне число редуктора $i = \frac{n_{вих}}{n_T}$	42,3

Характеристики	Числове значення
Питома витрата палива g_e , г/(кВт·год)	287
Ефективний ККД ГТД простої схеми η_e	0,35
Питома маса ГТД $m_{ГТД}$, кг/кВт	0,539
Питома маса ГТУ $m_{ГТУ}$, кг/кВт	3

Таблиця 3.3. Характеристики суднових ПТА, **AT64C**, *MitsubishiHeavyIndustries Co. Ltd* (Японія)

Характеристики	Числове значення
Потужність N_e , кВт	4×15 000
Параметри пари на вході в ТВТ p_0 , МПа, t_0 , °С	12, 520
Тиск пари на виході з ТНТ p_x , МПа	0,0007
Питома витрата палива в ПТУ g_e г/(кВт·год)	200
Ефективний ККД ПТУ η_e	0,41
Питома маса ПТА (парова турбіна, конденсатор, редуктор) $m_{ПТА}$, кг/кВт	2,3
Питома маса ПТУ (ПТА+котел) $m_{ПТУ}$, кг/кВт	2,8

Висновки: виходячи з особливості та призначення судна *Tanit* використовувати в якості ГД не ефективно ВОД, через малу агрегатну потужність, значні витрати палива, та менший коефіцієнт корисної дії, на відміну від СОД та МОД. Стосовно використання останніх, то проте великі агрегатні потужності можуть зменшити кількість двигунів навіть до одного. Але враховуючи двовальну СЕУ розміщення й обслуговування МОД ускладнюється, через найбільші з можливих варіантів їх масо-габаритні показники. Також впливає характер плавання, рейсова лінія – в навігації більше використовуються перехідні режими, маневрові. Отже потрібно забезпечити гнучкість переходу режимів, проте використання ГТД потребує більших витрат палива від дизелів, та має низький ресурс роботи двигуна – можливо ефективно використовувати в якості форсажного. Стосовно ПТА, виникає складність через наявність додаткового робочого тіла – пари, ускладнюється система СЕУ. Через великі оберти 3 000....4 000 хв⁻¹ виникає необхідність встановлення передачі, а це додаткова площа та маса. Тому для пасажирського судна з двовальною СЕУ,

короткою рейсовою лінією, вигідно використовувати в якості головного двигуна дизельний СОД.

Контрольна робота №4

Розрахунок потоків енергії в головному дизельному двигуні СЕУ

Таблиця 4.1. Вихідні дані для розрахунку потоків енергії в ГД

Характеристики	Числове значення
Тип головного двигуна та фірмова марка	4×12V48/60CR, MAN B&W
Тактність: двотактний ДТ або чотиритактний ЧТ	ЧТ
Ефективна потужність ГД $N_e^{ГД}$, кВт	4×14 400
Питома ефективна витрата палива $g_e^{ГД}$, кг/(кВт·год)	176
Температура повітря на вході в дизель $T_{нов}$, К	313
Температура газів після турбіни агрегату наддува $T_{газ}$, К	600
Коефіцієнт надлишку повітря в ГД α	2,0
Показник адіабати процесів стиснення повітря в компресорі агрегату наддува k	1,4
Ступінь підвищення тиску в компресорі агрегату наддува π_K	2,5...6
Коефіцієнт корисної дії компресора агрегату наддува η_K	0,8
Частка теплоти, що відводиться прісною охолоджуючою водою a	0,08
Частка теплоти, що відводиться мастилом b	0,05

Розрахунок потоків теплоти

4.1. Витрата палива головним двигуном $G_{нал}^{ГД}$, кг/с

$$G_{нал}^{ГД} = \frac{g_e^{ГД} \cdot N_e^{ГД}}{3600} = \frac{0,176 \cdot 4 \cdot 14400}{3600} = 2,82.$$

4.2. Кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива в циліндрах двигуна $Q_{нал}^{ГД}$, кВт

$$Q_{нал}^{ГД} = G_{нал}^{ГД} \cdot Q_i^r = 2,82 \cdot 42700 = 120414.$$

4.3. Витрата повітря у головному двигуні $G_{нов}^{ГД}$, кг/с

$$G_{нов}^{ГД} = L_O \cdot \alpha \cdot G_{нал}^{ГД} = 14,3 \cdot 2 \cdot 2,82 = 80,65.$$

4.4. Ізобарна теплоємність наддувного повітря $c_p^{нов}$, кДж/(кг·К) [5]

$$c_p^{нов} = 0,95 + 0,00019T_{нов} = 0,95 + 0,00019 \cdot 313 = 1,01.$$

4.5. Кількість теплоти, що вноситься до циліндрів наддувним повітрям $Q_{нов}^{ГД}$

$$Q_{нов}^{ГД} = G_{нов}^{ГД} \cdot c_p^{нов} \cdot T_{нов} = 80,65 \cdot 1,01 \cdot 313 = 25496 \text{ кВт.}$$

4.6. Витрата відхідних газів ГД $G_{газ}^{ГД}$, кг/с

$$G_{газ}^{ГД} = G_{нов}^{ГД} + G_{нал}^{ГД} = G_{нал}^{ГД} \cdot (1 + L_O \cdot \alpha) = 2,82 \cdot (1 + 14,3 \cdot 2) = 83,47.$$

4.7. Ізобарна теплоємність відхідних газів $c_p^{газ}$, кДж/(кг·К) [5]

$$c_p^{газ} = 0,96 + 0,0003T_{газ} = 0,96 + 0,0003 \cdot 600 = 1,14.$$

4.8. Кількість теплоти, що відводиться від ГД з відхідними газами $Q_{від.г}^{ГД}$

$$Q_{від.г}^{ГД} = G_{газ}^{ГД} \cdot c_p^{газ} \cdot T_{газ} = 83,47 \cdot 1,14 \cdot 600 = 57093 \text{ кВт.}$$

4.9. Кількість теплоти, що втрачається з відхідними газами $Q_{газ}^{ГД}$, кВт

$$Q_{газ}^{ГД} = Q_{від.г}^{ГД} - Q_{нов}^{ГД} = 57093 - 25496 = 31597.$$

4.10. Температура повітря після компресора наддува T_K , К

$$T_K = T_{нов} \left(1 + \frac{\pi^{\frac{\frac{K_{пов}-1}{K_{пов}}}}}{\eta_K} \right) = 313 \cdot \left(1 + \frac{\pi^{\frac{0,4}{1,4}}}{0,8} \right) = 856.$$

4.11. Кількість теплоти, що відбирається від наддувного повітря при його охолодженні від температури T_K до $T_{нов}$, $Q_{н.нов}^{ГД}$, кВт

$$Q_{н.нов}^{ГД} = G_{нов}^{ГД} \cdot c_p^{нов} \cdot (T_K - T_{нов}) = 80,65 \cdot 1,01 \cdot (856 - 313) = 44231.$$

4.12. Кількість теплоти, що відводиться від ГД охолоджуючою прісною водою $Q_{н.в}^{ГД}$, кВт

$$Q_{н.в}^{ГД} = a \cdot Q_{нал}^{ГД} = 0,08 \cdot 120414 = 9633.$$

4.13. Кількість теплоти, що відводиться від ГД мастилом $Q_{м}^{ГД}$, кВт

$$Q_{м}^{ГД} = b \cdot Q_{нал}^{ГД} = 0,05 \cdot 120414 = 6021.$$

4.14. Енергетичний баланс двигуна внутрішнього згоряння

$$Q_{нал}^{ГД} + Q_{пов}^{ГД} = N_e^{ГД} + Q_{від.г}^{ГД} + Q_{пов}^{ГД} + Q_{п.в}^{ГД} + Q_{м}^{ГД} + Q_{зал}^{ГД}.$$

4.15. Залишковий член енергетичного балансу ГД $Q_{зал}^{ГД}$, кВт

$$Q_{зал}^{ГД} = (Q_{нал}^{ГД} + Q_{пов}^{ГД}) - (N_e^{ГД} + Q_{від.г}^{ГД} + Q_{пов}^{ГД} + Q_{п.в}^{ГД} + Q_{м}^{ГД});$$

$$Q_{зал}^{ГД} = (120414 + 25496) - (4 \cdot 14400 + 31597 + 44231 + 9633 + 6021) = -3172.$$

4.16. Збіжність енергетичного балансу ГД

$$Q_{зал}^{ГД} = (0,02...0,03)Q_{нал}^{ГД};$$

$$3172 < 0,03 Q_{нал}^{ГД}.$$

4.17. Температура випускних газів після головного двигуна перед турбокомпресором ГД, $T_{в.газ}^{ГД}$, К

$$T_{в.газ}^{ГД} = \frac{Q_{від.г}^{ГД} + Q_{пов}^{ГД}}{G_{газ}^{ГД} \cdot c_p^{газ}} = \frac{57093 + 25496}{83,47 \cdot 1,14} = 868.$$

Таблиця 4.2. Результати розрахунку потоків енергії в головному двигуні

Характеристика	Числове значення
Фірмова марка ГД	MAN B&W
Кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива $Q_{нал}^{ГД}$, кВт, %	120 414 100 %
Ефективна потужність ГД $N_e^{ГД}$, кВт; $q_e^{ГД} = N_e^{ГД} / Q_{нал}^{ГД} \cdot 100\%$	57 600 47,8 %
Витрата повітря $G_{пов}^{ГД}$, кг/с	80,65
Витрати відхідних газів $G_{газ}^{ГД}$, кг/с	83,47
Кількість теплоти, що відводиться від ГД відхідними газами $Q_{в.газ}^{ГД}$, кВт; $q_{в.газ}^{ГД} = Q_{в.газ}^{ГД} / Q_{нал}^{ГД} \cdot 100\%$	57 093 47,4 %
Кількість теплоти, що втрачається ГД з відхідними газами $Q_{газ}^{ГД}$, кВт; $q_{газ}^{ГД} = Q_{газ}^{ГД} / Q_{нал}^{ГД} \cdot 100\%$	31 597 26,2 %
Температура повітря за компресором агрегату наддува T_K , К	856
Кількість теплоти, що відбирається від наддувного повітря $Q_{н.пов}^{ГД}$, кВт; $q_{н.пов}^{ГД} = Q_{н.пов}^{ГД} / Q_{нал}^{ГД} \cdot 100\%$	44 231 36,7 %

Характеристика	Числові значення
Кількість теплоти, що відводиться від ГД охолоджуючою водою $Q_{п.в}^{ГД}$, кВт; $q_{п.в}^{ГД} = Q_{п.в}^{ГД} / Q_{пал}^{ГД} \cdot 100\%$	9 633 8 %
Кількість теплоти, що відводиться від ГД мастилом $Q_{м}^{ГД}$, кВт; $q_{м}^{ГД} = Q_{м}^{ГД} / Q_{пал}^{ГД} \cdot 100\%$	6 021 5 %
Залишковий член енергетичного балансу двигуна $Q_{зал}^{ГД}$, кВт; $q_{зал}^{ГД} = Q_{зал}^{ГД} / Q_{пал}^{ГД} \cdot 100\%$	3 172 2,6 %

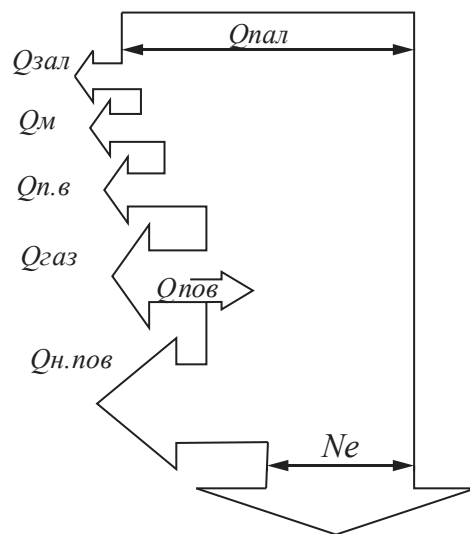


Рис. 4.1. Діаграма розподілу потоків енергії головного двигуна

Висновки: при роботі головного двигуна *MAN B&W 4×12V48/60CR* внаслідок згорання палива виділяється теплова енергія у кількості 120 414 кВт (100 %), яка забезпечує отримання корисної енергії – ефективної потужності на вихідному фланці двигуна 57 600 кВт (47,8 %).

Складові енергетичних втрат у даному двигунові наступні: з випускними газами втрачається 31 597 кВт (26,2 %), при охолодженні наддувного повітря втрачається 44 231 кВт (36,7 %), з прісною охолоджуючою водою відводиться 9 633 кВт (8 %), при охолодженні мастила втрачається 6 021 кВт (5 %), залишковий член енергетичного балансу головного двигуна складає 3 172 кВт (2,6 %).

Контрольна робота №5

Визначення запасу палива на судні для здійснення рейсу

Таблиця 5.1. Вихідні дані для визначення запасу палива на судні

Характеристика	Числове значення
Тип судна, його назва	пасажирське, ро-ро, <i>TANIT</i>
Швидкість ходу судна v , вузли	27,5
Протяжність рейсу в одну сторону R , миль	4 200
Кількість ГД, $i_{ГД}$ тип та фірмова марка	4, <i>MAN B&W</i>
Потужність ГД $N_e^{ГД}$, кВт; питома витрата палива $g_e^{ГД}$, г/(кВт·год)	2×14 400; 176
Кількість валогенераторів та їх потужність $N_e^{ВГ}$, кВт	-
Кількість ДДГ $i_{ДДГ}$, тип та фірмова марка	2×6L32/40, <i>MAN</i>
Потужність одного ДДГ, $P_{EG}^{ДДГ}$, кВт; питома витрата палива $g_e^{ДДГ}$, г/(кВт·год)	2 850; 188
Кількість УК $i_{УК}$, тип та фірмова марка	-
Паропроодуктивність УК $D_S^{УК}$, т/год; тиск насиченої пари p_s , МПа	-
Кількість допоміжних котлів $i_{ДК}$, тип та фірмова марка	2, <i>Saacke</i>
Паропроодуктивність ДК $D_S^{ДК}$, т/год; тиск пари p_s , МПа	5; 1,2
ККД допоміжного котла $\eta_{ДК}$	0,85
Тип важкого палива та його нижча теплота згоряння Q_i^r , кДж/кг	<i>HFO</i> 40 000
Тип легкого палива та його нижча теплота згоряння Q_i^r , кДж/кг	<i>MDO</i> 42 700
Температура живильної води $t_{ж.в}$, °С	50
Проектна маса важкого палива в суднових цистернах запасу $G_{В.П}$, т (при густині 1015 кг/м³)	1810
Проектна маса легкого палива в суднових цистернах запасу $G_{Л.П}$, т (при густині 840 кг/м³)	244

Розрахунок запасу палива для здійснення рейсу

5.1. Ходовий час τ_x , год

$$\tau_x = R / v = 4200 / 27,5 = 153.$$

5.2. Протяжність стоянок в порту призначення τ_c , год

$$\tau_c = (0,04...0,1)\tau_x = 0,045 \cdot 153 = 7.$$

5.3. Запас палива для ГД, т:

важкого $G_{B.П} = \varphi \cdot g_e^{ГД} \cdot N_e^{ГД} \cdot \tau_x = 0,87 \cdot 0,176 \cdot 57600 \cdot 153 / 1000 = 1349,$

де $\varphi = 0,85...0,90$ – коефіцієнт, що враховує роботу ГД на важкому паливі;

легкого $G_{Л.П} = (1 - \varphi) \cdot g_e^{ГД} \cdot N_e^{ГД} \cdot \tau_x = (1 - 0,87) \cdot 0,176 \cdot 57600 \cdot 153 / 1000 = 202.$

5.4. Витрата важкого палива для допоміжного котла $G_{B.П}^{ДК}$, т

$$G_{B.П}^{ДК} = D^{ДК} \cdot \frac{h_n - h_{жс.в}}{\eta_{ДК} \cdot Q_i^r} \cdot \tau_{ДК} = 2 \cdot 5 \cdot \frac{2780 - 210}{0,85 \cdot 40000} \cdot 160 / 1000 = 0,12,$$

де h_n – ентальпія насиченої пари при p_s , кДж/(кг·К);

$h_{жс.в}$ – ентальпія живильної води при $t_{жс.в}$, кДж/(кг·К);

$\tau_{ДК}$ – сумарний час роботи ДК на ходовому режимі і на стоянці, визначений за таблицею режимів роботи СЕУ.

5.5. Потужність, що розвиває дизельний двигун, який є приводом допоміжного дизель-генератора, кВт:

$$N_e^{ДГ} = i_{ДДГ} \cdot P_{ЕГ}^{ДГ} / \eta_{ЕГ}^{ДГ} = 2 \cdot 2850 / 0,93 = 6129,$$

де $\eta_{ЕГ}^{ДГ} = 0,93...0,94$ – ККД електрогенератора дизель-генератора.

5.6. Запас важкого палива для дизель-генератора $G_{B.П}^{ДГ}$, т (приймається, що на стоянці працюють два дизель-генератор на важкому паливі, такому, як і головний двигун)

$$G_{B.П}^{ДГ} = \varphi \cdot g_e^{ДГ} \cdot N_e^{ДГ} \cdot \tau_{ДГ} = 0,98 \cdot 0,188 \cdot 6129 \cdot 160 / 1000 = 181,$$

де $\tau_{ДГ}$ – сумарний час роботи дизель-генераторів на ходовому режимі і на стоянці, визначений за таблицею режимів роботи СЕУ.

5.7. Запас легкого палива для дизель-генератора $G_{Л.П}^{ДГ}$, т

$$G_{Л.П}^{ДГ} = (1 - \varphi) \cdot g_e^{ДГ} \cdot N_e^{ДГ} \cdot \tau_{СТ} = (1 - 0,98) \cdot 0,188 \cdot 6129 \cdot 160 / 1000 = 3,7.$$

5.9. Загальний запас палива, т

важкого $G_{B.II} = \kappa_3 \cdot (G_{B.II}^{ГД} + G_{B.II}^{ДДГ} + G^{ДК}) = 1,15 \cdot (1349 + 181 + 0,12) = 1760$,

де $\kappa_3 = 1,15 \dots 1,20$ – коефіцієнт морського запасу;

легкого $G_{Л.II} = \kappa_3 \cdot (G_{Л.II}^{ГД} + G_{Л.II}^{ДДГ}) = 1,15 \cdot (202 + 3,7) = 237$.

Висновок: розраховано запаси важкого 1760 т та легкого 237 т палив з урахуванням режимів роботи енергетичного обладнання протягом здійснення паромом *Tanit* рейсової лінії в 4 200 миль при швидкості руху 27,5 вузли, що триває майже 7 діб. Відповідно до режимів роботи СЕУ прийнято: на важкому та легкому паливах працюють ГД (2×14 400 кВт), ДДГ (2×2 850 кВт) і два ДК паропродуктивністю по 5 т/год також працюють на важкому паливі. Отже, обсягів паливних цистерн, встановлених на судні достатньо (для важкого – 1810 т та легкого – 244 т палив) для здійснення рейсу заданої протяжності.

Контрольна робота №6

Аналіз вартості вироблення електричної енергії у складі СЕУ різними джерелами.

Таблиця 6.1. Вихідні дані для розрахунку

Характеристика	Числове значення
Тип та фірмова марка ГД	12V48/60CR
Ефективна потужність ГД $N_e^{ГД}$, кВт	4×14 400
Питома ефективна втрата палива ГД $g_e^{ГД}$, кг/(кВт·год)	0,176
Механічний ККД ГД $\eta_{мех}^{ГД}$	0,92
Тип і фірмова марка допоміжного двигуна	6L32/40
Ефективна потужність ДДГ $N_e^{ДДГ}$, кВт	2×2850
Питома ефективна втрата палива ДДГ $g_e^{ДДГ}$, кг/(кВт·год)	0,188
Механічний ККД ДДГ $\eta_{мех}^{ДДГ}$	0,9
ККД сполучної муфти η_M	0,98
ККД електрогенератора допоміжного ДГ $\eta_{EG}^{ДДГ}$	0,93
ККД головного електрогенератора (при наявності) $\eta_{EG}^{ГДГ}$	0,95
ККД електричної мережі η_{EM}	0,95
Вартість важкого палива HFO $C_{пал}^{HFO}$, дол./т	360
Вартість легкого палива MDO $C_{пал}^{MDO}$, дол./т	500

Визначення вартості вироблення електроенергії допоміжним дизель-генератором

6.1. Потужність механічних втрат у привідному двигуні ДДГ $N_{мех}^{ДДГ}$, кВт

$$N_{мех}^{ДДГ} = N_e^{ДДГ} \cdot (1 - \eta_{мех}^{ДДГ}) = 2 \cdot 2850 \cdot (1 - 0,9) = 570.$$

6.2. Витрата палива двигуном ДДГ при номінальній (100 %) потужності $G_{100\%}^{ДДГ}$,

$$G_{100\%}^{ДДГ} = g_e^{ДДГ} N_e^{ДДГ} = 0,188 \cdot 2 \cdot 2850 = 1072 \text{ кг/год.}$$

6.3. Індикаторна витрата палива двигуном ДДГ $g_i^{ДДГ}$, кг/(кВт·год)

$$g_e^{ДДГ} = \frac{G_{100\%}^{ДДГ}}{N_e^{ДДГ} + N_{мех}^{ДДГ}} = \frac{1072}{2 \cdot 2850 + 570} = 0,171.$$

6.4. Витрата палива на подолання механічних втрат у двигуні ДДГ $G_{мех}^{ДДГ}$, кг/год

$$G_{мех}^{ДДГ} = g_i^{ДДГ} \cdot N_{мех}^{ДДГ} = 0,171 \cdot 570 = 97,5.$$

6.5. Витрата палива допоміжним двигуном на часткових навантаженнях $G_x^{ДДГ}$,

$$G_{90\%}^{ДДГ} = G_{мех}^{ДДГ} + g_i^{ДДГ} \cdot 0,9 N_e^{ДДГ} = g_i^{ДДГ} \cdot (N_{мех}^{ДДГ} + 0,9 N_e^{ДДГ});$$

$$G_{90\%}^{ДДГ} = 0,171 \cdot (570 + 0,9 \cdot 5700) = 1072 \text{ кг/год};$$

$$G_{70\%}^{ДДГ} = G_{мех}^{ДДГ} + g_i^{ДДГ} \cdot 0,7 N_e^{ДДГ} = g_i^{ДДГ} \cdot (N_{мех}^{ДДГ} + 0,7 N_e^{ДДГ});$$

$$G_{70\%}^{ДДГ} = 0,171 \cdot (570 + 0,7 \cdot 5700) = 780 \text{ кг/год};$$

$$G_{50\%}^{ДДГ} = G_{мех}^{ДДГ} + g_i^{ДДГ} \cdot 0,5 N_e^{ДДГ} = g_i^{ДДГ} \cdot (N_{мех}^{ДДГ} + 0,5 N_e^{ДДГ});$$

$$G_{50\%}^{ДДГ} = 0,171 \cdot (570 + 0,5 \cdot 5700) = 585 \text{ кг/год.}$$

6.6. Питома ефективна витрата палива двигуном ДДГ на часткових навантаженнях $g_{ex}^{ДДГ}$, кг/(кВт·год)

$$g_{e90\%}^{ДДГ} = \frac{G_{90\%}^{ДДГ}}{0,9 N_e^{ДДГ}} = \frac{1072}{0,9 \cdot 5700} = 0,209;$$

$$g_{e70\%}^{ДДГ} = \frac{G_{70\%}^{ДДГ}}{0,7 N_e^{ДДГ}} = \frac{1072}{0,7 \cdot 5700} = 0,269;$$

$$g_{e50\%}^{ДДГ} = \frac{G_{50\%}^{ДДГ}}{0,5 N_e^{ДДГ}} = \frac{1072}{0,5 \cdot 5700} = 0,376.$$

6.7. Вартість вироблення електроенергії ДДГ 1 кВт·год при часткових навантаженнях $C_{ел.е}^{ДД}$, дол./кВт·год)

$$C_{ел.е 100\%}^{ДДГ} = \frac{g_e^{ДД} \cdot C_{нал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ДДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,171 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,95} = 0,071;$$

$$C_{ел.е 90\%}^{ДДГ} = \frac{g_{e90\%}^{ДД} \cdot C_{нал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ДДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,209 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,95} = 0,087;$$

$$C_{ел.е 70\%}^{ДДГ} = \frac{g_{e70\%}^{ДД} \cdot C_{нал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ДДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,269 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,95} = 0,112;$$

$$C_{ел.е 50\%}^{ДДГ} = \frac{g_{e50\%}^{ДД} \cdot C_{нал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ДДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,376 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,93 \cdot 0,95} = 0,156.$$

Визначення вартості вироблення електричної енергії головним дизель-генератором суднової єдиної електроенергетичної установки

6.8. Потужність механічних втрат у головному двигуні $N_{мех}^{ГД}$, кВт

$$N_{мех}^{ГД} = N_e^{ГД} \cdot (1 - \eta_{мех}^{ГД}) = 4 \cdot 14400 \cdot (1 - 0,92) = 4608.$$

6.9. Витрата палива ГД при номінальній (100 %) потужності $G_{100\%}^{ГД}$, кг/год

$$G_{100\%}^{ГД} = g_e^{ГД} \cdot N_e^{ГД} = 0,176 \cdot 57600 = 10138.$$

6.10. Питома індикаторна витрата палива ГД $g_i^{ГД}$, кг/(кВт·год)

$$g_i^{ГД} = \frac{G_{100\%}^{ГД}}{N_e^{ГД} + N_{мех}^{ГД}} = \frac{10138}{57600 + 4608} = 0,163.$$

6.11. Витрата палива на подолання механічних втрат у ГД $G_{мех}^{ГД}$, кг/год

$$G_{мех}^{ГД} = g_i^{ГД} \cdot N_{мех}^{ГД} = 0,163 \cdot 4608 = 751.$$

6.12. Витрата палива ГД на часткових навантаженнях $G_x^{ГД}$, кг/год

$$G_{90\%}^{ГД} = G_{мех}^{ГД} + g_i^{ГД} \cdot 0,9 N_e^{ГД} = g_i^{ГД} \cdot (N_{мех}^{ГД} + 0,9 N_e^{ГД});$$

$$G_{90\%}^{ГД} = 0,163 \cdot (4608 + 0,9 \cdot 57600) = 9201;$$

$$G_{70\%}^{ГД} = G_{мех}^{ГД} + g_i^{ГД} \cdot 0,7 N_e^{ГД} = g_i^{ГД} \cdot (N_{мех}^{ГД} + 0,7 N_e^{ГД});$$

$$G_{70\%}^{ГД} = 0,163 \cdot (4608 + 0,7 \cdot 57600) = 7323;$$

$$G_{50\%}^{ГД} = G_{мех}^{ГД} + g_i^{ГД} \cdot 0,5N_e^{ГД} = g_i^{ГД} \cdot (N_{мех}^{ГД} + 0,5N_e^{ГД});$$

$$G_{50\%}^{ГД} = 0,163 \cdot (4608 + 0,5 \cdot 57600) = 5446.$$

6.13. Питома ефективна витрата палива ГД на часткових навантаженнях $g_{ex}^{ГД}$,

$$g_{e90\%}^{ГД} = \frac{G_{90\%}^{ГД}}{0,9N_e^{ГД}} = \frac{9201}{0,9 \cdot 57600} = 0,177 \text{ кг/(кВт·год)};$$

$$g_{e70\%}^{ГД} = \frac{G_{70\%}^{ГД}}{0,7N_e^{ГД}} = \frac{9201}{0,7 \cdot 57600} = 0,228 \text{ кг/(кВт·год)};$$

$$g_{e50\%}^{ГД} = \frac{G_{50\%}^{ГД}}{0,5N_e^{ГД}} = \frac{9201}{0,5 \cdot 57600} = 0,319 \text{ кг/(кВт·год)}.$$

6.14. Вартість електроенергії, виробленої ГД при часткових навантаженнях $C_{ел.е}^{ГД}$, дол./(кВт·год), де значення $g_{ex}^{ГД}$, кг/(кВт·год) приймаються відповідно до 6.13.

$$C_{ел.е100\%}^{ГД} = \frac{g_i^{ГД} \cdot C_{пал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ГДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,163 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 0,066;$$

$$C_{ел.е90\%}^{ГД} = \frac{g_{e90\%}^{ГД} \cdot C_{пал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ГДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,177 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 0,072;$$

$$C_{ел.е70\%}^{ГД} = \frac{g_{e70\%}^{ГД} \cdot C_{пал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ГДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,228 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 0,093;$$

$$C_{ел.е50\%}^{ГД} = \frac{g_{e50\%}^{ГД} \cdot C_{пал}^{HFO} \cdot 10^{-3}}{\eta_M \cdot \eta_{EG}^{ГДГ} \cdot \eta_{EM}} = \frac{0,319 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,95} = 0,13.$$

Співставлення генерування електричної енергії різними джерелами представлено графічно на рис.6.1.

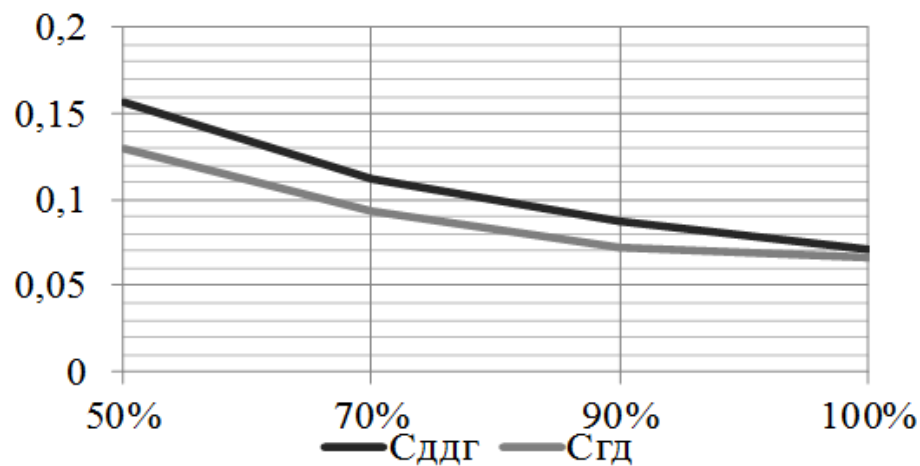


Рис. 6.1. Графіки залежності вартості електроенергії від навантаження ГД та ДДГ

Висновок: в якості джерела електроенергії на судні доцільно використовувати допоміжний дизель-генератор, у якого вартість вироблення електроенергії навіть на часткових режимах нижча в порівнянні із генеруванням електроенергії за допомогою головного двигуна. Підвищення паливної ефективності ДДГ досягається при інтервалі 90...100% завантажень.

Контрольна робота №7

Розрахунок потоків енергії в допоміжному котлі СЕУ.

Таблиця 7.1. Вихідні дані для розрахунку потоків енергії в ДК

Характеристика	Числове значення
Кількість допоміжних котлів	2
Тип та фірмова марка допоміжного котла	<i>FMB-VS, Saacke</i>
Паропродуктивність допоміжного котла $D_s^{ДК}$, кг/год	5 000
Тиск пари допоміжного котла $p_s^{ДК}$, МПа	1,2
Температура живильної води $T_{ж.в}^{ДК}$, К	323
Температура повітря на вході в топку котла $T_{пов}^{ДК}$, К	313
Температура відхідних газів за газоходом котла $T_{в.газ}^{ДК}$, К	443
Коефіцієнт надлишку повітря в топці ДК, α	1,2

Розрахунок потоків енергії в допоміжному котлі

7.1. Ентальпія насиченої пари h_n , кДж/кг та температура $T_s^{ДК}$, К визначаються за тиском пари $p_s^{ДК}$, МПа.

7.2. Ентальпія живильної води $h_{ж.в}$, кДж/кг визначається за температурою $T_{ж.в}^{ДК}$, К.

7.3. Кількість теплоти, що витрачається на отримання насиченої пари в ДК $Q_s^{ДК}$, кВт

$$Q_s^{ДК} = \frac{D_s^{ДК} \cdot (h_n - h_{ж.в})}{3600} = \frac{5000 \cdot (2780 - 210)}{3600} = 3570.$$

7.4. Температура відхідних газів за ДК $T_{газ}^{ДК}$, К

$$T_{газ}^{ДК} = T_{в.газ}^{ДК} + (17...27)K = 443 + 17 = 460.$$

7.5. Ізобарна теплоємність відхідних газів $c_p^{газ}$, кДж/(кг·К)

$$c_p^{газ} = 0,96 + 0,0003T_{газ}^{ДК} = 0,96 + 0,0003 \cdot 460 = 1,098$$

7.6. Витрата палива в ДК $G_{пал}^{ДК}$, кг/с

$$G_{пал}^{ДК} = \frac{Q_s^{ДК}}{Q_i^r + (14,3\alpha \cdot c_p^{нов} \cdot T_{нов}^{ДК}) - (1 + 14,3\alpha \cdot c_p^{газ} \cdot T_{газ}^{ДК})};$$

$$G_{пал}^{ДК} = \frac{3570}{40000 + (14,3 \cdot 1,2 \cdot 1,01 \cdot 313) - (1 + 14,3 \cdot 1,2 \cdot 1,098 \cdot 460)} = 0,099,$$

де $L_0 = 14,3$ кг пов./кг пал. – кількість повітря, необхідного для згоряння 1 кг рідкого вуглеводневого палива;

$(14,3 \cdot \alpha \cdot c_p^{нов} \cdot T_{нов}^{ДК})$ – кількість теплоти, що вноситься повітрям у топку котла в розрахунку на 1 кг палива;

$(1 + 14,3\alpha \cdot c_p^{газ} \cdot T_{газ}^{ДК})$ – кількість теплоти, що виноситься відхідними газами з ДК в розрахунку на 1 кг палива.

7.7. Кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива в ДК $Q_{пал}^{ДК}$, кВт

$$Q_{пал}^{ДК} = G_{пал}^{ДК} \cdot Q_i^r = 0,099 \cdot 40000 = 3960.$$

7.8. Витрата повітря в ДК $G_{нов}^{ДК}$, кг/с

$$G_{нов}^{ДК} = 14,3\alpha \cdot G_{пал}^{ДК} = 14,3 \cdot 1,2 \cdot 0,099 = 1,7.$$

7.9. Кількість теплоти, що вноситься в ДК повітрям $Q_{нов}^{ДК}$, кВт

$$Q_{нов}^{ДК} = G_{нов}^{ДК} \cdot c_p^{нов} \cdot T_{нов}^{ДК} = 1,7 \cdot 1,01 \cdot 313 = 537.$$

7.10. Витрата відхідних газів за ДК $G_{газ}^{ДК}$, кг/с

$$G_{газ}^{ДК} = G_{нов}^{ДК} + G_{нал}^{ДК} = 1,7 + 0,099 = 1,799.$$

7.11. Кількість теплоти, що відводиться з ДК відхідними газами $Q_{газ}^{ДК}$, кВт

$$Q_{газ}^{ДК} = G_{газ}^{ДК} \cdot c_p^{газ} \cdot T_{газ}^{ДК} = 1,799 \cdot 1,098 \cdot 460 = 909.$$

7.12. ККД допоміжного котла $\eta_{ДК}$

$$\eta_{ДК} = \frac{Q_s^{ДК}}{Q_{нал}^{ДК} + Q_{нов}^{ДК}} = \frac{3570}{3960 + 537} = 0,8.$$

7.13. Добова витрата палива для допоміжного котла $G_{нал/доб}^{ДК}$, т/добу

$$G_{нал/доб}^{ДК} = G_{нал}^{ДК} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 0,099 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 8,55.$$

Висновки: в якості суднової котельної установки використано два допоміжних котла *FMB-VS Saacke*, паропродуктивністю по 5 т/год, тиском пари 1,2 МПа. Парові котли вертикальний водотрубні, передача тепла відбувається через жарову трубу та гофровані димогарні трубки. Розраховано температуру відхідних газів, що становить 460 К, сумарну витрату палива – 0,198 кг/с при витраті повітря в топці 1,7 кг/с. За даних умов коефіцієнт корисної дії котла становить 80 %. Результати розрахунку потоків енергії в ДК відповідно до вихідних даних наведені в табл. 7.2.

Таблиця 7.2. Результати розрахунку потоків енергії в допоміжному котлі

Характеристики	Числове значення
Тип допоміжного котла, його фірмова марка	FMB-VS Saacke
Паропродуктивність $D_s^{ДК}$, т/год	2×5
Тиск пари допоміжного котла $p_s^{ДК}$, МПа	1,2
Температура повітря на вході в топку котла $T_{нов}^{ДК}$, К	313
Температура газів на виході з котла $T_{газ}^{ДК}$, К	460
Коефіцієнт надлишку повітря в топці котла α	1,2
Кількість теплоти, витраченої на отримання пари в ДК $Q_s^{ДК}$, кВт	2×3570
Витрата повітря в топці ДК $G_{нов}^{ДК}$, кг/с	2×1,7

Продовж. табл. 7.2

Характеристики	Числове значення
Витрата палива в ДК $G_{нал}^{ДК}$, кг/с (кг/год)	$2 \times 0,099$ ($2 \times 356,4$)
Кількість теплоти, що вноситься в ДК з повітрям $Q_{пов}^{ДК}$	2×537
Витрата відхідних газів на виході з ДК $G_{газ}^{ДК}$, кг/с	$2 \times 1,799$
Кількість теплоти, що виноситься з ДК відхідними газами $Q_{газ}^{ДК}$, кВт	2×909
ККД допоміжного котла $\eta_{ДК}$	0,8
Добова витрата палива ДК $G_{нал/доб}^{ДК}$, т/добу	$2 \times 8,55$

Контрольна робота №8

Розрахунок системи стисненого повітря

Таблиця 8.1. Вихідні дані до розрахунку системи стисненого повітря СЕУ.

Характеристика	Числове значення
Кількість головних двигунів $i_{ГД}$	4
Тип і фірмова марка головних двигунів	12V48/60CR, MAN B&W
Ефективна потужність ГД $N_e^{ГД}$, кВт	$2 \times 14\,400$
Питома ефективна витрата палива ГД $g_e^{ГД}$, кг/(кВт·год)	0,176
Кількість циліндрів головного двигуна $i_{ц}^{ГД}$	12
Діаметр циліндра та хід поршня ГД $D_{ц}^{ГД} / S^{ГД}$, м/м	0,48/0,60
Кількість допоміжних дизель-генераторів $i_{ДГ}$	4 (2/2)
Тип і фірмова марка ДД	6L32/40, MAN
Ефективна потужність ДД $N_e^{ДГ}$, кВт	$2 \times 2\,850$
Питома ефективна витрата палива ДД $g_e^{ДГ}$, кг/(кВт·год)	0,188
Кількість циліндрів ДД $i_{ц}^{ДГ}$	6
Діаметр циліндра та хід поршня ДД $D_{ц}^{ДГ} / S^{ДГ}$, м/м	0,32/0,40

Розрахунок системи стисненого повітря

8.1. Сумарний об'єм циліндрів головного двигуна $\Sigma V_{ц}^{ГД}$, м³

$$\Sigma V_{ц}^{ГД} = i_{ГД} \cdot \pi \cdot (D^{ГД})^2 / 4 \cdot S^{ГД} \cdot i_{ц}^{ГД} = 4 \cdot \pi \cdot 0,48^2 / 4 \cdot 0,6 \cdot 12 = 5,2.$$

8.2. Сумарна місткість балонів пускового повітря ГД $V_{\Sigma}^{ГД}$, м³

$$V_{\Sigma}^{ГД} = \frac{[v_{хол} + (z_n^{ГД} - 1) \cdot v_{зар}] \cdot i_{\text{ц}}^{ГД} \cdot \Sigma V_{\text{ц}}^{ГД} \cdot p_0}{p - p_{min}},$$

де $v_{хол} = 8 \dots 9 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – питома витрата повітря на перший (холодний) пуск;

$v_{зар} = 4 \dots 6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – питома витрата повітря для наступних (гарячих) пусків;

$p_0 = 0,1 \text{ МПа}$ – атмосферний тиск;

$p = 2,8 \dots 3,0 \text{ МПа}$ – максимальний робочий тиск у балоні;

$p_{min} = 1,0 \dots 1,2 \text{ МПа}$ – мінімальний тиск у балоні, при якому можливий пуск;

$z_n^{ГД} = 12$ – кількість пусків/реверсів ГД; $z_n^{ГД} = 6$ для неререверсивних одного, двох ГД; $z_n^{ГД} = 3$ для більше ніж два ГД;

$$V_{\Sigma}^{ГД} = \frac{[8 + (3 - 1) \cdot 5] \cdot 12 \cdot 5,2 \cdot 0,1}{2,8 - 1} = 62,4.$$

8.3. Кількість балонів пускового повітря ГД.

Як правило приймають 2 балона/зберігача пускового повітря ГД. Тоді ємність одного балона становить, м^3

$$V^{БГД} = \frac{V_{\Sigma}^{ГД}}{2 \cdot i_{ГД}} = \frac{62,4}{2 \cdot 4} = 7,8.$$

8.4. Сумарний об'єм циліндрів ДД $\Sigma V_{\text{ц}}^{ДГ}$, м^3

$$\Sigma V_{\text{ц}}^{ДГ} = i_{ДГ} \cdot \pi \cdot (D^{ДГ})^2 / 4 \cdot S^{ДГ} \cdot i_{\text{ц}}^{ДГ} = 4 \cdot \pi \cdot 0,32^2 / 4 \cdot 0,4 \cdot 6 = 0,77.$$

8.5. Сумарна місткість балонів пускового повітря ДД $V_{\Sigma}^{ДГ}$, м^3

$$V_{\Sigma}^{ДГ} = \frac{[v_{хол} + (z_n^{ДГ} - 1) \cdot v_{зар}] \cdot i_{ДГ} \cdot \Sigma V_{\text{ц}}^{ДГ} \cdot p_0}{p_{ДГ} - p_{min}},$$

де $z_n^{ДГ} = 6$ – кількість пусків допоміжного двигуна;

$p_{ДГ} = 5 \dots 7 \text{ МПа}$ – максимальний робочий тиск у балоні для пуску ДД;

$$V_{\Sigma}^{БДГ} = \frac{[8 + (6 - 1) \cdot 5] \cdot 6 \cdot 0,77 \cdot 0,1}{5 - 1} = 3,81$$

8.6. Кількість балонів пускового повітря ДД.

Приймаємо 1 балон/зберігач пускового повітря ДД тобто 6 балонів ємністю $V^{БДГ}$ по 0,64 м³.

8.7. Потрібна продуктивність компресорів G_K , м³/год

$$G_K = (V_{\Sigma}^{ГД} + V_{\Sigma}^{ДГ}) \cdot (p - p_0) / (p_0 \cdot \tau_{зан}),$$

де $\tau_{зан} = 1$ год – час заповнення балонів;

$$G_K = \frac{62,4 \cdot (2,8 - 0,1) + 3,81 \cdot (5 - 0,1)}{0,1 \cdot 1} = 1871.$$

8.8. Кількість компресорів пускового повітря, їх тип та характеристики

Як правило приймають 2 основні компресори пускового повітря (один резервний). Враховуючи розміщення ГД в двох приміщеннях приймаємо 4 компресори. Отже продуктивність кожного компресора 935,5 м³/год.

Висновок: розроблена система стисненого повітря дизельної СЕУ. Прийнято 8 балонів/зберігача для ГД ємністю по 7,8 м³, 6 балонів для ДД ємністю по 0,64 м³, 4 основні компресора пускового повітря продуктивністю кожний 935,5 м³/год. Поряд з цим прийнято один підкачувальний компресор продуктивністю 468 м³/год та один первинний компресор з автономним двигуном.

Контрольна робота №9

Визначення індексу енергетичної ефективності для суден, що проектуються

Таблиця 9.1. Вихідні дані

Характеристика	Числове значення	Примітки
Тип судна	ро-ро, пасажирське	
Дедвейт або валовий реєстровий тоннаж $Capacity$, т	52 645	Приймається валовий реєстровий тоннаж
Швидкість V_{ref} , вуз	27,5	
Фірмова марка головних двигунів	12V48/60CR, MAN B&W	4×14 400 кВт
Кількість головних двигунів $ME(i)$	4	
Номінальна потужність одного ГД MCR_{ME} , кВт	14 400	
Тип палива, що споживають ГД	MDO, HFO	

Коефіцієнт C_F для палива ГД	3,206; 3,114	див. [9, табл. 24.1]
Питома ефективна витрата палива ГД SFC_{ME} , г/(кВт·год)	176	
Сумарна потужність валогенераторів, кВт	0	Не встановлено валогенератори

Продовж. табл. 9.1

Характеристика	Числове значення	Примітки
Сумарна потужність привідних електричних двигунів, що працюють на пропульсивний комплекс, кВт	0	Приймається 0, якщо не встановлено привідні електродвигуни
Фірмова марка дизель-генераторів (ДГ)	MAN	
Тип палива, що споживають ДГ	MDO, HFO	
Коефіцієнт C_F для палива, що споживає ДГ	3,206; 3,114	див. [9, табл. 24.1]
Питома ефективна витрата палива ДГ SFC_{AE} , г/(кВт·год)	188	
Коефіцієнти $f_j, f_w, f_{eff(i)}, f_i, f_c$	1	можна прийняти рівними 1
Коефіцієнт a	1218,8	див. [9, табл. 24.2]
Коефіцієнт c	0,488	див. [9, табл. 24.2]
Знижувальні фактори для обмежувальних кривих EEDI на Етапі 0 Етапі 1 Етапі 2 Етапі 3	- 0...10% 0...20% 0...30%	див. [9, табл. 24.3]

Визначення EEDI для судна типу Ro-Ro

9.1. Величина $P_{ME(i)}$ визначається як:

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} = 0,75 \cdot (\sum MCR_{ME(i)} - \sum P_{PTO(i)}),$$

$$\text{де } \sum P_{PTO(i)} = \frac{\sum_{i=1}^{nBB} P_{BG(i)}}{0,99},$$

$$P_{ME(i)} = ME(i) \cdot 0,75 MCR_{ME} = 4 \cdot 0,75 \cdot 14400 = 43200 \text{ кВт.}$$

9.2. Величина P_{AE} визначається як, при $MCR_{ME} \geq 10000$ кВт:

$$P_{AE} = (0,025 \cdot (\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0,75})) + 250$$

$$P_{AE} = (0,025 \cdot \sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)}) + 250 = (0,025 \cdot 2 \cdot 2850) + 250 = 393 \text{ кВт}$$

9.3. Визначення індексу енергетичної ефективності для судна, що проектується

$$EEDI = \frac{(P_{ME} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w},$$

$$EEDI = \frac{(43200 \cdot 3,114 \cdot 176) + (393 \cdot 3,114 \cdot 188)}{52645 \cdot 27,5} = 16,51 \text{ г } CO_2/(\text{т} \cdot \text{миль})$$

9.4. Нормативні значення $EEDI$ для даного типу судна (вантажопасажирського):

$$\text{Етап 0: } EEDI_{H0} = a \cdot Capacity^{-c} = 1218,8 \cdot 52645^{-0,488} = 6,05 \text{ г } CO_2/(\text{т} \cdot \text{миль});$$

$$\text{Етап 1: } EEDI_{H1} = EEDI_{H0} \cdot 0,9 = 6,05 \cdot 0,9 = 5,45 \text{ г } CO_2/(\text{т} \cdot \text{миль});$$

$$\text{Етап 2: } EEDI_{H2} = EEDI_{H0} \cdot 0,8 = 6,05 \cdot 0,8 = 4,84 \text{ г } CO_2/(\text{т} \cdot \text{миль});$$

$$\text{Етап 3: } EEDI_{H3} = EEDI_{H0} \cdot 0,7 = 6,05 \cdot 0,7 = 4,24 \text{ г } CO_2/(\text{т} \cdot \text{миль})$$

Висновки: індекс енергетичної ефективності судна *Tanit* задовільний, судно побудовано в 2012 р., і вимоги *IMO* стосовно обмежень викидів парникових газів враховані при проектуванні парому Класифікаційним Товариством Бюро Верітас. В якості ГД обрано сучасний двигун з електронним керуванням та відносно низькою витратою палива 0,176 кг/(кВт·год), що не дозволяє суттєво впливати на рівень вмісту CO_2 в атмосфері. Двигун відповідає нормам викидів *IMO Tier III*. Застосовується селективне каталітичне очищення відхідних газів (*SCR – Selective Catalytic Reducation*), що знижує вміст NO_x на 90 %.

З метою підвищення енергетичної ефективності судна можливо утилізувати тепло відхідних газів та використовувати нові системи для очищення відхідних газів, наприклад, систему $CSNO_x$ компанії "*Ecospec Global Technology*". Ця розробка зменшує кількість емісій основних шкідливих забруднень CO_2 , SO_2 , NO_x за рахунок підвищення лужності та pH при скрубруванні.

Навчальне видання

ГОРБОВ Віктор Михайлович
ГОЦУЛЯК Марія Олександрівна

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до вивчення дисципліни
"ОСНОВИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ"
для студентів заочної форми навчання

Комп'ютерне складання та верстання *В. В. Москаленко*
Коректор *М. О. Паненко*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,7. Тираж 100 прим. Вид № 21. Зам. № 27.

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.

Для нотаток