

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В.М. ГОРБОВ, Т.Г. СЛАУТІНА, О.В. СІЧКАРЮК

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
"СУДНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ"**

для студентів заочної форми навчання

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2004

Горбов В.М., Слаутіна Т.Г., Січкарюк О.В. Методичні вказівки до вивчення дисципліни "Суднові енергетичні установки" для студентів заочної форми навчання. – Миколаїв: НУК, 2004. – 52 с.

Кафедра суднових енергетичних установок

Наведена навчальна програма, методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Суднові енергетичні установки" для студентів спеціальностей "Суднові енергетичні установки та устаткування", "Двигуни внутрішнього згоряння", "Турбіни", "Холодильні машини та установки", "Технологія суднового машинобудування" заочної форми навчання.

Викладені матеріали можуть бути корисними для студентів інших спеціальностей, що вивчають дисципліну "Суднові енергетичні установки", а також студентів денного відділення при самостійній роботі.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Б.Г. Тимошевський

ВСТУП

Дисципліна "Суднові енергетичні установки" для студентів спеціальності "Суднові енергетичні установки та устаткування" є базовою загальнопрофесійною дисципліною, яка передує циклу спеціальних дисциплін, що визначають професіоналізм майбутнього спеціаліста в галузі суднової енергетики. Вона вивчається після викладання таких дисциплін, як "Двигуни внутрішнього згоряння", "Суднові турбіни", "Суднові котли", "Суднові допоміжні механізми", що розкривають теорію робочих процесів, принципи вибору та практику застосування на суднах основних елементів суднової енергетичної установки.

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 морських інженерних споруд, їх комплексів та систем.

Після вивчення дисципліни студент повинен:

знати термінологію, поняття та визначення, що відносяться до СЕУ; основні показники СЕУ; принципи функціонування, конструкцію та умови роботи елементів пропульсивного комплексу; структурні, теплові та принципові схеми СЕУ різних типів, характеристики їх теплових балансів; склад, умови функціонування основних споживачів енергії допоміжних енергетичних установок; характеристики робочих речовин, що використовуються в СЕУ; призначення, склад, схеми систем СЕУ; умови та вимоги класифікаційних то-

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

уміти самостійно складати структурні та спрощені теплові схеми СЕУ різних типів, принципові схеми систем СЕУ; самостійно визначати тип та марку головного та допоміжного обладнання для СЕУ різних типів; використовувати довідникову інформацію зі спеціалізованих сайтів Інтернету для вибору комплектуючого енергетичного обладнання; виконувати розрахунки теплових балансів СЕУ різних типів; визначати ефективність використання СЕУ та потрібну кількість робочих речовин для її роботи;

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

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

Методичні вказівки призначені як для студентів спеціальності "Суднові енергетичні установки та устаткування", так і для студентів інших спеціальностей енергетичного напрямку ("Турбіни", "Двигуни внутрішнього згоряння" та "Холодильні машини та установки").

Для спеціальності "Суднові енергетичні установки та устаткування" навчальним планом передбачено вивчення дисципліни протягом двох семестрів, виконання курсової роботи та два екзамени; для спеціальності "Турбіни" – протягом одного семестру, курсова робота та залік; для спеціальності "Двигуни внутрішнього згоряння" – протягом одного семестру, курсова робота та екзамени; для спеціальності "Холодильні машини та установки" – протягом одного семестру, контрольна робота та екзамени; для спеціальності "Технологія суднового машинобудування" – контрольна робота та залік.

Дані методичні вказівки допоможуть також студентам денного відділення перелічених спеціальностей при виконанні курсової роботи та плануванні самостійної роботи над вивченням дисципліни.

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Під час вивчення курсу "Суднові енергетичні установки" студенти заочної форми навчання повинні:

самостійно вивчити матеріал за рекомендованою літературою згідно з навчальною програмою курсу;

самостійно контролювати засвоєння матеріалу шляхом складання відповідей на питання для самоперевірки;

виконати контрольні роботи;

виконати та захистити курсову роботу;

засвоїти матеріал лекційних занять у період екзаменаційної сесії;

виконати лабораторні роботи у період екзаменаційної сесії;

здати екзамен 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.

Не слід переходити до вивчення наступної теми, не знайшовши відповіді на всі питання для самостійної перевірки і не перевібивши вірність своїх відповідей за рекомендованими навчальними посібниками. В даних методичних вказівках для кожної теми наведена рекомендована література згідно з загальним списком.

Питання, які виникають під час роботи над курсом, 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 та курсова роботи повинні виконуватись самостійно. В іншому випадку студент не набуде необхідних знань та не підготується належним чином до захисту роботи та до екзамену.*

2. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ "СУДНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ"

Найменування розділів	Розподіл навчального часу			
	Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна робота студента
Вступ	2	2	—	—
1. Загальні відомості про СЕУ	14	2	1	11
2. Перетворення енергії в СЕУ. Визначення ефективності роботи СЕУ на різних режимах	10	2	1	7
3. Показники СЕУ	16	2		14
4. Елементи пропульсивного комплексу СЕУ: муфти, передачі та валопровід	32	4	1	27
5. Дизельні енергетичні установки	20	2	1	17
6. Паротурбінні установки	16	1	1	14
7. Ядерні енергетичні установки	6	1		5
8. Газотурбінні установки	16	1	1	14
9. Комбіновані енергетичні установки	16	1		15
10. Допоміжні енергетичні установки	25	2	1	22
11. Системи суднових енергетичних установок	32	2	1	29
12. Розташування устаткування СЕУ у приміщеннях машинного відділення	6	1		5
13. Охорона навколишнього середовища та екіпажу від впливу СЕУ. Шляхи удосконалення СЕУ	5	1		4
<i>Всього</i>	216	24	8	184

3. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЇЇ ВИВЧЕННЯ

Вступ. Основні етапи становлення, сучасний стан та перспективи розвитку стаціонарних та суднових енергетичних установок. Еволюція суднових енергетичних установок [1, с. 9–11]; [2, с. 99]; [4, с. 4–7].

Мета та завдання курсу. Порядок виконання контрольних робіт та курсової роботи, форми та методи контролю успішності.

Загальні відомості про СЕУ. СЕУ як інженерна споруда. Термінологія, поняття та визначення. Склад СЕУ, призначення елементів. Головна та допоміжна енергетичні установки. Ієрархічні рівні складових частин СЕУ [1, с. 9–11]; [10, с. 7–14, 22–32].

Головні вимоги та особливості роботи СЕУ. Класифікація СЕУ [1, с. 12–14]; [10, с. 20–22].

Перетворення енергії в СЕУ. Визначення ефективності роботи СЕУ на різних режимах. Режими роботи судна та СЕУ. Структурні схеми СЕУ різних типів. Перетворення енергії в СЕУ. Визначення ефективності роботи СЕУ на різних режимах [8, с. 3–14].

Методичні рекомендації

При вивченні першого та другого розділів необхідно засвоїти, що СЕУ – це єдине на судні джерело енергії різних типів, це "серце" судна, яке забезпечує виконання їм своїх функціональних завдань у відповідності до його призначення. Постійно під час розглядання навчального матеріалу слід звертати увагу на характер перетворення енергії у тому чи іншому елементі або комплексі СЕУ, пам'ятаючи про необхідність ефективного використання енергії палива, що подається до двигунів та котлів.

Необхідно отримати чітке уявлення про склад енергетичних установок різних типів, взаємодію окремих їх елементів та про процеси, які відбуваються в цих елементах.

Показники СЕУ. Техніко-експлуатаційні показники: потужнісні, масові, габаритні, енергетичної ефективності, маневреності [1, с. 15–19]; [3, с. 5–10, 16–21].

Показники надійності: безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність, збережність [1, с. 19–21]; [3, с. 11–15, 22].

Показники технологічності, санітарно-гігієнічні, патентно-пра-

вові, економічності, екологічні, ергономічні, естетичні [3, с. 22–26]; [10, с. 51–63].

Методичні рекомендації

При вивченні матеріалу третього розділу необхідно засвоїти важливість та необхідність введення різнопланових показників, які характеризують рівень окремих властивостей або характеристик енергетичної установки, що надає можливість зіставлення СЕУ різних типів. Слід звернути увагу на необхідність дотримання на нормативному рівні показників енергоефективності, надійності та маневреності.

Елементи пропульсивного комплексу СЕУ: муфти, передачі та валопровід. З'єднувальні та з'єднувально-роз'єднувальні муфти. Призначення, конструктивні особливості жорстких та демпфірувальних муфт (зубчастих, фрикційних, шинно-пневматичних, муфт ковзання). Використання їх у СЕУ [1, с. 198–205].

Суднові передачі. Призначення, класифікація, основні показники та конструктивні особливості механічних, гідравлічних та електричних передач, комбіновані передачі. Області їх застосування в СЕУ [1, с. 180–192]; [2, с. 30–37].

Судновий валопровід. Призначення, складові елементи. Розташування на судні. Похил та розходження валової лінії. Навантаження на судновий валопровід [1, с. 205–208, 215–218]; [10, с. 108–113, 130–133]; [15].

Конструкції основних елементів валопроводу: дейдвудний пристрій, опорні та упорні підшипники, вали, ущільнення, валоповоротні, гальмівні та стопорні пристрої, прибори для контролю роботи суднового валопроводу. Вимоги класифікаційних товариств до суднових валопроводів [1, с. 208–215]; [10, с. 114–129]; [15].

Методичні рекомендації

Під час вивчення призначення, складу та місця елементів пропульсивного комплексу у складі СЕУ необхідно звернути увагу на їх характеристики, вплив на надійність роботи СЕУ в цілому. Особливу увагу слід приділити вибору типу передачі у взаємозв'язку з призначенням та типом судна. Необхідно засвоїти особливості нових прогресивних рішень щодо передач та валопроводів – це нові електромеханічні комплекси типу "Азипод", "Шоттель", безшпонкові муфти для з'єднання елементів валопроводу, екологічно чисті системи змащення дейдвудних підшипників.

Дизельні енергетичні установки (ДУ). Дизельні установки з прямою передачею на рушій. Теплова схема установок. Основні характеристики малообертових двигунів (МОД) як головних [1, с. 37–41]; [4, с. 5–24], [13, с. 93–100]; [14, с. 7–13].

Дизель-редукторні установки з середньообертовими (СОД) та високообертовими (ВОД) двигунами. Області їх використання. Структурні схеми та склад устаткування установок з цими двигунами. Основні характеристики СОД та ВОД як головних і допоміжних у складі СЕУ [1, с. 41–44]; [4, с. 27–31], [14, с. 15–17].

Тепловий баланс дизельної установи. Аналіз потоків теплоти, утилізація теплових утрат дизелів. Засоби підвищення теплової економічності дизельних установок [1, с. 44–50]; [8, с. 5–15]; [14, с. 368–390].

Методичні рекомендації

Перед вивченням цього розділу необхідно звернути увагу на місце у світовому морському флоті суднових дизельних установок порівняно з іншими типами СЕУ [5]. Розглядаючи прогрес у розвитку суднових ДВЗ, який забезпечив їх високу ефективність, необхідно розуміти, що це суттєво змінює тепловий баланс СДУ, зменшує потенціал відхідних газів стосовно можливості утилізації їх енергії. Це приводить до зміни теплової схеми установи, зі складу якої останніми роками майже повністю вилучений утилізаційний парогенератор. Необхідно мати уявлення про те, що останнім часом значно зросла одинична потужність та енергетична ефективність СОД, що значно підвищує їх конкурентоспроможність порівняно з МОД.

Паротурбінні установки (ПТУ). Склад простої ПТУ та термічний цикл Ренкіна. Термічний коефіцієнт корисної дії (ККД) ідеального циклу Ренкіна. Спряженість початкових параметрів циклу. Цикли регенеративні та з проміжним перегрівом пари – засоби підвищення термодинамічної ефективності установи [1, с. 50–56]; [12, с. 14–31].

Принципова та розгорнута теплові схеми СЕУ з паротурбінними двигунами. Нерегенеративні та регенеративні теплові схеми. Схеми першого, другого та третього роду [1, с. 57–60]; [12, с. 32–55].

Склад паротурбінних установок та тепловий баланс ПТУ, показники та шляхи удосконалення ПТУ. Приклади реалізації теплових схем ПТУ на судах різного призначення [1, с. 61–65, 68–72]; [12, с. 72–93].

Методичні рекомендації

Незважаючи на те, що за останні роки значно зменшилась кількість суден з головними ПТУ, викладені у розд. 6 матеріали не втрачають актуальності, тому що поширюється застосування утилізаційних парових контурів на судах з головними ГТУ.

Необхідно звернути увагу на такі засоби підвищення ефективності ПТУ, як застосування самопротокових конденсаторів, підвищення початкових параметрів пари, заміна парового на електричний привод допоміжних механізмів.

Ядерні енергетичні установки (ЯЕУ). Склад, схеми та характеристики ЯЕУ з реакторами, що охолоджуються водою. Перший та другий контури установок. Ефективність роботи ЯЕУ [6, с. 45–68]; [16, с. 27–43].

Забезпечення екологічної безпеки при експлуатації ЯЕУ. Спеціальні системи. Приклади використання на судах різного призначення [6, с. 297–345]; [16, с. 185–208].

Методичні рекомендації

Після вивчення матеріалу розд. 7 студент повинен засвоїти стан та перспективи застосування атомної енергії на судах, основні теплові схеми СЯЕУ, засоби забезпечення безпечної експлуатації суднових ядерних енергетичних установок.

Газотурбінні установки (ГТУ). Теплові схеми та цикли ГТУ: простий цикл, цикл ГТУ з регенерацією теплоти відпрацьованих газів, цикл з проміжним охолодженням повітря і проміжним підігрівом робочого тіла [1, с. 74–81]; [2, с. 10–16].

Склад та схеми ГТУ суден різного призначення з водотоннажними корпусами та з динамічним принципами підтримання корпусу. Типи та характеристики ГТД промислового та авіаційного типів, що використовуються в СЕУ [1, с. 81–97]; [2, с. 16–26].

Тепловий баланс ГТУ та шляхи підвищення їх ефективності. Особливості суднових ГТУ та їх порівняння з ЕУ інших типів. Приклади суднових установок з ГТД [1, с. 97–101]; [2, с. 26–61].

Методичні рекомендації

Суднові газотурбінні енергетичні установки мають найменшу історію розвитку порівняно з іншими типами установок. Раніше майже виключно військового використання, сьогодні ГТУ широко застосовуються і на цивільному морському транспорті, особливо на судах

з динамічними принципами підтримання та на швидкісних пасажирсько-вантажних суднах-паромах.

Розглядаючи тепловий баланс ГТУ, необхідно звернути увагу на основні теплові витрати та на можливості їх уникнення у ГТУ складних теплових та конструктивних схем.

Комбіновані енергетичні установки. Класифікація комбінованих ЕУ. Комбіновані установки з газопаровим робочим тілом та ефективність утилізації теплоти випускних газів сучасних дизельних установок. Парогазотурбінні установки [1, с. 101–104].

ГТУ з теплоутилізаційним контуром. Цикл газопаротурбінної установки (ГПТУ) контактного типу. Приклади використання на різних суднах [1, с. 104–117]; [7, с. 66–83].

Комбіновані установки з багатомашинними агрегатами, установи з форсажною частиною та без термодинамічного зв'язку між маршовою та форсажною частинами. Економічність таких установок [1, с. 117–123]; [7, с. 84–89].

Методичні рекомендації

Комбіновані установи набувають останнім часом значного поширення. Тому є дві основні причини: забезпечення ефективного використання такої енергетичної установки у широкому спектрі можливих режимів, а також підвищення термодинамічної ефективності окремих теплових двигунів (переважно це стосується газотурбінних двигунів).

Особливе місце серед комбінованих установок посідають газопаротурбінні установи, а також газотурбінні установи, виконані за схемою "Водолій".

Необхідно звернути увагу на те, що виробництво корабельних та суднових ГТУ було започатковано і повністю реалізовано (у межах колишнього Радянського Союзу) у м. Миколаєві. Зараз це виробництво, яке не має аналогів ні в одній з країн СНД, ефективно розвивається.

Допоміжні енергетичні установи. Суднова електростанція (СЕС): призначення, режими роботи, споживачі енергії, характеристики струму. Методи розрахунку потужності СЕС. Склад та схеми електроенергетичних установок, характеристики основних елементів. Методи економічного отримання та витрачання електроенергії на суднах [1, с. 123–139]; [10, с. 293–308]; [14, с. 64–72].

Споживачі теплової енергії на суднах. Суднові котельні уста-

новки. Типи та параметри суднових котлів. Котли головні, допоміжні, утилізаційні та комбіновані. Котельні агрегати гарячої води [1, с. 139–158]; [19, с. 313–326].

Суднові водоопріснювальні установки. Споживачі прісної води на судні. Способи опріснювання морської води. Типи опріснювальних установок та їх параметри [1, с. 158–168]; [10, с. 348–362]; [19, с. 327–333].

Методичні рекомендації

Основну увагу необхідно приділити схемним рішенням, робочим параметрам та конструктивному втіленню таких допоміжних енергетичних установок, як суднові електростанції, суднові котельні установки, водоопріснювальні установки. Студент повинен опанувати способи економічного здобуття та витрачання теплової та електричної енергії, склад та схеми електроенергетичних установок, знати споживачів теплової та електричної енергії на судні. Особлива увага у цьому розділі приділяється водоопріснювальним установкам. Необхідно мати уявлення про способи опріснювання морської води та основні типи опріснювальних установок, уміти їх зіставляти та оцінювати ефективність.

Системи суднових енергетичних установок. Палива та масла, що застосовуються в СЕУ. Присадки до них. Водно-паливні емульсії. Характеристики палив та масел [1, с. 221–227]; [11, с. 42–54]; [18, с. 48–77].

Паливні системи. Трубопровід приймання та перекачування палива. Трубопровід підготовки палива. Витратно-паливний трубопровід. Обладнання паливних систем [1, с. 227–236]; [15].

Масляні системи. Прийом, зберігання та підготовка масел на судні. Системи напірна та гравітаційна, області використання на судні. Обладнання масляних систем [1, с. 236–241]; [15].

Системи охолодження прісною та забортною водою. Особливості охолодження установок з різними типами двигунів. Обладнання систем охолодження [1, с. 248–254]; [15].

Повітряно-газові системи: подачі повітря для горіння палива, випуску відпрацьованих газів енергетичних установок різних типів. Системи стисненого повітря: споживачі, параметри, склад обладнання [1, с. 254–262].

Конденсатно-живильна та парова системи. Характеристики обладнання цих систем [1, с. 262–271]; [15].

Методичні рекомендації

У процесі опрацювання матеріалу даного розділу необхідно ретельно вивчити характеристики таких основних робочих речовин енергетичних установок, як палива та масла. Звернути увагу на процеси підготовки палива до використання його в елементах СЕУ.

Розглядаючи схеми основних систем ЕУ, доцільно прослідкувати рух відповідної робочої речовини у системі, звернути увагу на обладнання систем, регулюючу та запірну арматуру. Обґрунтувати застосування двоконтурної системи охолодження СДВЗ, розглянути переваги централізованої системи охолодження.

Під час вивчення повітряно-газових систем рекомендується звернути увагу на необхідність компенсації температурних переміщень елементів газоходів, а також на відповідні рекомендації Регістру судноплавства України щодо комплектації систем, параметрів робочих речовин, умов їх зберігання та об'ємів запасів тощо.

Розміщення обладнання СЕУ в приміщеннях машинних відділень (МВ). Основні принципи розташування механізмів та обладнання СЕУ в приміщеннях МВ. Вимоги класифікаційних товариств до розташування обладнання. Приклади розміщення обладнання на судах різного призначення [1, с. 294–300, 310–319]; [2, с. 16–25, 32–46, 61–65]; [10, с. 398–414]; [15].

Методичні рекомендації

Основну увагу слід звернути на особливість вимог до розміщення енергетичного устаткування, як головного, так і допоміжного, з урахуванням особливостей його використання. Основним законом для проектувальника при розробці розміщення ЕУ у МВ є Правила Регістру. Ретельно ознайомтесь з вимогами цих правил стосовно розміщення елементів СЕУ у МВ.

Охорона навколишнього середовища та екіпажу від впливу СЕУ. Шляхи удосконалення СЕУ. Шкідливі викиди при роботі СЕУ. Шум та вібрація при роботі СЕУ, їх вплив на стан здоров'я екіпажу. Обладнання для зменшення негативних наслідків роботи СЕУ. Проектні та конструкторські розробки з удосконалення СЕУ [1, с. 168–170].

Методичні рекомендації

Екологічні проблеми, що виникають при експлуатації суден створюють серйозну загрозу, в першу чергу, Світовому океану.

Під час вивчення матеріалу необхідно звернути увагу на норми та обмеження, введені міжнародними конвенціями на викидання за борт судна забруднюючих речовин, шкідливих як для мешканців океану, так і для людства в цілому. Рекомендується ретельно ознайомитись з усіма засобами очищення нафтовмісних вод, особливо з перспективними технологіями.

Розглядаючи шляхи удосконалення СЕУ, слід засвоїти, що, безсумнівно, їх розвиток буде відбуватись у напрямку підвищення паливної ефективності СЕУ за рахунок як зростання робочих параметрів теплових двигунів, так і за рахунок розробки раціональних конструкцій та застосування перспективних технологій.

4. СКЛАД КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ ТА ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Після вивчення матеріалу дисципліни студенти повинні самостійно виконати контрольну роботу, що має дати їм цілісне уявлення про судову енергетичну установку, склад та умови функціонування основних споживачів енергії.

Контрольна робота виконується в окремому зошиті чи на аркушах паперу формату А4. Відповіді на контрольні питання мають бути ясними та вичерпними, супроводжуватись стислим поясненням, *але ні в якому разі не являти собою переписаний з підручника текст.*

Рисунки та текст повинні бути виконані згідно з вимогами ЕСКД олівцем або кульковою ручкою з наведенням необхідних позначень. Під час виконання контрольної роботи рекомендується користуватись літературою основною [1–10] та додатковою [11–19], а також технічною документацією, специфікаціями суден.

Контрольна робота складається з трьох частин:

1. Зображення принципової теплової схеми енергетичної установки судна з тепловими двигунами різних типів: малообертовим ДВЗ; середньообертовим або високообертовим ДВЗ; газотурбінним двигуном; паротурбінним агрегатом.

Принципова схема повинна супроводжуватись детальними поясненнями стосовно принципу її дії та складу і призначення окре-

мих елементів СЕУ. Для складання схеми необхідно використовувати матеріали, наведені в журналах "Судостроение", "Морской флот", "Судоходство", в технічних матеріалах щодо суден, які перебувають у ремонті, будуються або проектується.

Варіанти завдань, номери яких визначаються двома останніми цифрами номера залікової книжки студента, наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Варіанти контрольних робіт (частини 1, 3)

Номер варіанта	Дві останні цифри номера залікової книжки	Номер розрахункового завдання	Принципова теплова схема СЕУ
1	01, 26, 51, 76	1.1	ДЕУ з МОД
2	02, 27, 52, 77	2.1	ДЕУ з СОД
3	03, 28, 53, 78	3.1	ГТУ
4	04, 29, 54, 79	4.1	ПТУ
5	05, 30, 55, 80	5.1	ДЕУ з МОД
6	06, 31, 56, 81	1.2	ДЕУ з СОД
7	07, 32, 57, 82	2.2	ГТУ
8	08, 33, 58, 83	3.2	ПТУ
9	09, 34, 59, 84	4.2	ДЕУ з МОД
10	10, 35, 60, 85	5.2	ДЕУ з СОД
11	11, 36, 61, 86	1.3	ГТУ
12	12, 37, 62, 87	2.3	ГПУ
13	13, 38, 63, 88	3.3	ДЕУ з МОД
14	14, 39, 64, 89	4.3	ДЕУ з СОД
15	15, 40, 65, 90	5.3	ГТУ
16	16, 41, 66, 91	1.4	ПТУ
17	17, 42, 67, 92	2.4	ДЕУ з МОД
18	18, 43, 68, 93	3.4	ДЕУ з СОД
19	19, 44, 69, 94	4.4	ДЕУ з ВОД
20	20, 45, 70, 95	5.4	ГТУ
21	21, 46, 71, 96	1.5	ПТУ
22	22, 47, 72, 97	2.5	ДЕУ з МОД
23	23, 48, 73, 98	3.5	ДЕУ з СОД
24	24, 49, 74, 99	4.5	ДЕУ з ВОД
25	25, 50, 75, 00	5.5	ГТУ

2. Відповіді на теоретичні питання щодо змісту дисципліни.

Варіанти завдань визначаються за двома останніми цифрами номера залікової книжки за табл. 2. Номери питань для кожного з варіантів відповідають порядковим номерам контрольних питань та завдань, що містяться після відповідної глави книги [1]. Кількість

16 **Таблиця 2. Варіанти контрольних робіт (частина 2)**

Номер варіанта	Дві останні цифри номера залікової книжки	Номер питання [1]					
		Глава 1, с. 25	Глава 2, с. 49–50	Глава 3, с. 72–73	Глава 4, с. 100–101	Глава 5, с. 122–123	Глава 6, с. 137–138
1	01, 26, 51, 76	1	11	29	1	20	10
2	02, 27, 52, 77	2	12	28	2	19	11
3	03, 28, 53, 78	3	13	27	3	18	12
4	04, 29, 54, 79	4	14	26	4	17	13
5	05, 30, 55, 80	5	15	25	5	16	14
6	06, 31, 56, 81	6	16	24	6	15	15
7	07, 32, 57, 82	7	17	23	7	14	16
8	08, 33, 58, 83	8	18	22	8	13	17
9	09, 34, 59, 84	9	19	21	9	12	18
10	10, 35, 60, 85	10	20	20	10	11	19
11	11, 36, 61, 86	11	21	1	11	10	20
12	12, 37, 62, 87	12	22	2	12	9	21
13	13, 38, 63, 88	13	23	5	13	8	22
14	14, 39, 64, 89	14	24	7	14	7	23
15	15, 40, 65, 90	15	25	11	15	6	1
16	16, 41, 66, 91	16	26	13	16	5	2
17	17, 42, 67, 92	17	27	14	17	4	3
18	18, 43, 68, 93	18	28	17	18	3	4
19	19, 44, 69, 94	19	10	16	19	2	5
20	20, 45, 70, 95	20	9	20	20	1	6
21	21, 46, 71, 96	21	8	12	1	17	7
22	22, 47, 72, 97	22	7	4	2	16	8
23	23, 48, 73, 98	25	6	6	3	15	9
24	24, 49, 74, 99	26	5	8	4	14	10
25	25, 50, 75, 00	27	4	9	5	13	11

Номер варіанта	Дві останні цифри номера залікової книжки	Номер питання [1]					
		Глава 7, с. 166–167	Глава 8, с. 178–179	Глава 9, с. 203–204	Глава 10, с. 219–220	Глава 11, с. 247–248	Глава 12, с. 270–271
1	01, 26, 51, 76	30	1	27	1	29	15
2	02, 27, 52, 77	29	2	26	2	28	16
3	03, 28, 53, 78	28	3	25	3	27	17
4	04, 29, 54, 79	27	4	24	4	25	18
5	05, 30, 55, 80	26	5	23	5	24	19
6	06, 31, 56, 81	25	6	22	6	23	20
7	07, 32, 57, 82	24	7	21	7	22	21
8	08, 33, 58, 83	23	8	20	8	21	22
9	09, 34, 59, 84	22	9	19	9	20	23
10	10, 35, 60, 85	21	10	18	10	19	24
11	11, 36, 61, 86	20	11	17	11	18	25
12	12, 37, 62, 87	19	12	16	12	17	26
13	13, 38, 63, 88	18	13	15	13	16	27
14	14, 39, 64, 89	17	14	14	14	15	28
15	15, 40, 65, 90	16	15	13	15	14	29
16	16, 41, 66, 91	15	16	12	16	13	30
17	17, 42, 67, 92	14	17	11	17	12	31
18	18, 43, 68, 93	1	18	10	18	11	14
19	19, 44, 69, 94	6	19	9	19	10	13
20	20, 45, 70, 95	9	20	8	20	9	12
21	21, 46, 71, 96	10	21	7	21	7	11
22	22, 47, 72, 97	11	2	6	22	6	10
23	23, 48, 73, 98	12	3	5	23	5	9
24	24, 49, 74, 99	13	4	4	4	4	6
25	25, 50, 75, 00	14	6	3	5	3	5

та номенклатура питань може коригуватись викладачем у залежності від навчального плану.

3. Виконання розрахункового завдання згідно зі своїм варіантом.

Розрахункове завдання являє собою задачу, метою якої є визначення теплоенергетичних характеристик СЕУ, запасів палива тощо.

Номери варіантів розрахункових завдань наведені в табл. 1. Тексти задач наведені нижче. Початкові дані для розрахункового завдання вибираються згідно з табл. 3.

Задачі для виконання розрахункового завдання

Задача № 1

Танкер необмеженого району плавання обладнано одновальною дизельною енергетичною установкою з відбором потужності на валогенератор та утилізаційним котлом. Буксирувальна потужність N_R , кВт, потужність допоміжного електрогенератора $P_e^{ДГ}$, кВт.

Необхідно:

1. Розробити структурну схему пропульсивного комплексу, дати стислу характеристику його елементів, визначити потужність головного двигуна, ККД якого становить $\eta_e^{ГД}$. Вибрати марку головного двигуна, навести його характеристики.

2. Визначити можливість забезпечення всіх споживачів тепловою енергією утилізаційним котлом за таких умов:

теплота відхідних газів головного двигуна, що надходять до утилізаційного котла, становить $q_{г}^{УК}$, %, від теплоти згоряння палива;

ККД котла $\eta_{УК}$;

котел виробляє насичену пару тиском p_s , МПа, температура живильної води $t_{ж.в.}$, °С;

витрата пари на загальносуднові споживачі та підігрів вантажу у ходовому режимі $G_{п}$, т/год.

Якщо пари, що виробляється в утилізаційному котлі, недостатньо, запропонуйте та обґрунтуйте з наведенням необхідних характеристик варіант отримання додаткової кількості пари. Інші необхідні для розрахунків параметри слід прийняти самостійно.

Задача № 2

Рибодобувне судно обладнано двовальною дизель-редукторною установкою з відбором потужності на валогенератори. Сумарна потужність пропульсивної установки (сумарна потужність головних

двигунів) $N_{\Sigma}^{\text{ПВ}}$, кВт, потужність валогенераторів $2 \times P_{\text{ЕГ}}^{\text{ВГ}}$, кВт, упор, що розвивають рушії на номінальному режимі, $2 \times P_e$, кН.

Необхідно:

1. Розробити структурну схему пропульсивного комплексу, визначити тип та потужність головного двигуна, його орієнтовну марку, дати стислу характеристику кожному елементові.

2. Визначити кількість палива, що необхідно прийняти на борт для здійснення рейсу до району промислу на Південному узбережжі Чорного моря (відстань S , км) та повернення у порт базування. Прийняти, що час лову дорівнює 8 год.

3. Визначити вартість 1 кВт-год електроенергії, яка виробляється в ходовому режимі, порівняти її з вартістю електроенергії, яка споживається у стаціонарних умовах, у побуті.

У розрахунках прийняти ККД головного двигуна $\eta_e^{\text{ГД}}$, ціну палива – $\Pi_{\text{пал}}$, грн за тону. Інші необхідні параметри та характеристики призначити самостійно.

Задача № 3

Рятувально-пожежне судно, обладнане одновальною дизельною установкою, розвиває швидкість ходу V_s вузлів, упор, створюваний рушієм, P_e , кН. Потужність суднової електростанції $P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}$, кВт. Для тушіння пожеж або відкачування води з відсіків судна, що рятується, використовується відцентровий насос продуктивністю $G_{\text{н}}$, м³/год, та напором H , МПа. Рятувальні операції розраховуються на $\tau_{\text{рят}}$, год. На судно прийнято запас палива $G_{\text{пал}}$, т, плюс морський запас на погодні умови (у розрахунках не враховувати).

Необхідно:

1. Розробити структурну схему пропульсивного комплексу та обґрунтувати можливий привод насоса. Визначити тип та можливу марку головного двигуна, навести його параметри. Питому витрату палива прийняти за характеристиками двигуна.

2. Визначити дальність плавання за запасами палива.

Ненаведені параметри та показники прийняти самостійно.

Задача № 4

Науково-дослідне судно здійснює перехід з Одеси до Індійського океану (відстань до пункту призначення S , км) на точку космічного зв'язку зі швидкістю V_s , вуз, повна буксирувальна потужність становить N_R , кВт. Судно обладнане двовальною чотиримашин-

Таблиця 3. Початкові дані для розрахункового завдання

Назва параметра	Задача № 1					Задача № 2				
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
1. Буксирувальна потужність N_R , кВт	6900	6500	6300	7000	6700					
2. Сумарна потужність пропульсивної установки $N_{\Sigma}^{пу}$, кВт						4000	3800	4200	3600	3900
3. Упор, що розвиває рушій, P_e , кН						2× ×120	2× ×135	2× ×130	2× ×145	2× ×150
4. Потужність валогенератора $P_{EG}^{вг}$, кВт	800	700	650	800	750	2× ×500	2× ×470	2× ×520	2× ×450	2× ×480
5. Потужність допоміжного електрогенератора $P_{EG}^{дг}$, кВт										
6. ККД:										
головного двигуна $\eta_e^{ГД}$	0,54	0,53	0,52	0,51	0,53	0,50	0,49	0,51	0,5	0,52
привода електрогенератора $\eta_e^{дг}$										
утилізаційного котла $\eta_{ук}$	0,35	0,34	0,36	0,32	0,33					
опріснювальної установки η_{ou}										
7. Тиск насиченої пари p_s , МПа	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					
8. Температура живильної води $t_{ж.в}$, °С	60	60	60	55	55					
9. Витрати пари G_p , т/год	5	5,2	5,7	6,0	4,8					
10. Відстань між портами S , км						600	700	800	750	650
11. Ціна палива $C_{пал}$, грн						1300	1250	1350	1325	1275
12. Продуктивність насоса G_n , м³/год										
13. Напор насоса H , МПа										
14. Запас палива $G_{пал}$										
15. Протяжність рятувальних операцій $\tau_{рат}$, год										
16. Протяжність стоянок τ_3 , діб										
17. Кількість теплоти, використаної в УК, $q_{г}^{ук}$, %	22	24	23	23	21					
18. Швидкість судна V_s , вуз										

Задача № 3					Задача № 4					Задача № 5				
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5
					5700	5800	6200	5900	6000					
67	75	72	80	77						2× ×480	2× ×450	2× ×500	2× ×550	2× ×600
					2× ×400	2× ×380	2× ×400	2× ×390	2× ×425	2× ×900	2× ×850	2× ×950	2× ×1000	2× ×1050
70	75	80	70	75	4× ×800	4× ×750	4× ×780	4× ×850	4× ×825					
					0,50	0,52	0,49	0,51	0,50	0,52	0,53	0,51	0,52	0,51
					0,49	0,51	0,48	0,50	0,49					
					0,35	0,34	0,36	0,32	0,33					
										0,45	0,44	0,43	0,44	0,45
					8500	8100	8300	8400	8200	950	1000	1100	1050	1200
1000	1200	1100	1050	1150										
0,8	1,0	0,9	0,95	1,0										
8,0	8,5	9,0	9,5	10										
8	7	7,5	8	8,5										
					21	19	18	20	22					
15	17	16	18	19	18	17,5	18,5	16,5	18	21	22	20	28	22

ною дизельною установкою з відбором потужності на два валогенератори потужністю $2 \times P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}$, кВт, суднова електростанція складається з чотирьох дизельгенераторів потужністю $4 \times P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}$, кВт. До складу СЕУ входить також допоміжний котел.

Необхідно:

1. Розробити структурну схему СЕУ, дати стислу характеристику його елементів, визначити тип та марку головних та допоміжних двигунів. Прийняти ККД головного двигуна $\eta_e^{\text{ГД}}$, ККД привода генератора $\eta_e^{\text{ДГ}}$.

2. Визначити запас палива, що приймається на судно для виконання рейсового завдання та повернення до Одеси, протяжність стоянок зі зв'язком τ_3 , діб.

Ненаведені параметри та показники, необхідні для розрахунків, прийняти самостійно.

Задача № 5

Круїзний лайнер обладнано двовальною дизельною установкою з відбором потужності на два валогенератори. Буксирувальний опір становить $2 \times P_e$, кН, швидкість руху V_s , вуз.

Необхідно:

1. Розробити структурну схему пропульсивного комплексу, визначити тип і потужність головного двигуна та первинного двигуна привода генераторів електричного струму, дати характеристику кожному елементу.

2. Визначити кількість прісної води, яку виробляють дві опріснювальні установки (ОУ) типу D .

3. Визначити кількість палива, яку необхідно прийняти на борт для здійснення рейсу (відстань між портами S , км).

Прийняти ККД головного двигуна $\eta_e^{\text{ГД}}$, потужність електрогенераторів $2 \times P_{\text{ЕГ}}^{\text{ВГ}}$, кВт, ККД водоопріснювальної установки $\eta_{\text{ОУ}}$.

Інші необхідні для розрахунків параметри та показники прийняти самостійно.

5. КУРСОВА РОБОТА: СКЛАД, ЗАВДАННЯ, ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ, ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ

5.1. Склад курсової роботи

Основними завданнями курсової роботи є доскональне вивчення складу та характеристик суднової енергетичної установки конкретного судна та визначення потоків енергії в СЕУ на основних режимах її роботи.

Початкові дані для виконання проекту студент вибирає самостійно. Це можуть бути матеріали, опубліковані в журналах "Морской флот", "Судоходство", технічні характеристики суден, які знаходяться у побудові або ремонті, проспекти нових проектів, матеріали з відповідних сайтів Інтернету. Передбачається також можливість використання кафедральної бібліотеки проектів суден та бібліотеки технічних описів суден. У кожному випадку обрані студентом матеріали погоджуються з керівником курсового проекту, який видає студенту бланк завдання. Тільки після цього вважається, що студент приступив до виконання курсової роботи.

Склад курсової роботи викладено у бланку завдання, наведеному у додатку.

При роботі над розд. 1–4 завдання студент повинен детально висвітлити питання, пов'язані як з характеристиками судна в цілому, так і з характеристиками окремих елементів суднової енергетичної установки, навести основні параметри енергетичного устаткування, пропульсивного комплексу.

У разі відсутності даних по окремих елементах СЕУ конкретного судна, студент повинен підібрати їх самостійно, детально аргументуючи свій вибір.

У подальших підпунктах даного розділу наведені теоретичні положення, необхідні для виконання курсової роботи, а також приклади проведення необхідних розрахунків.

5.2. Перетворення енергії в СЕУ

Суднова енергетична установка є невід'ємною частиною (підсистемою) системи більш високого рівня – судна.

Для самого судна СЕУ сприймається як автономний комплекс. За судновим розпорядком він називається механічною частиною і підпорядкований старшому механіку.

СЕУ призначена для вироблення механічної (М), електричної (Е) та теплової (Т) енергії на всіх режимах експлуатації судна (ходовому, стоянках тощо).*)

Джерелом будь-якого виду енергії на судні є паливо, необхідну кількість якого для виконання рейсу на судно приймають у вигляді запасів. Інших джерел енергії на судні немає.

Витрати на паливо складають 60...70 % всіх витрат на експлуатацію судна, тому визначення витрат енергії палива на отримання

корисного ефекту та розрахунки їх співвідношення із втратами є центральною задачею суднової енергетики. Тобто мова йде про ефективність роботи СЕУ.

На рис. 1, *а* СЕУ зображено як єдиний автономний комплекс, в якому відбувається перетворення енергії палива з метою отримання корисного ефекту.

Коефіцієнт корисної дії цього комплексу визначається за рівнянням

$$\eta_e^{СЕУ} = \frac{М + Е}{Q_{пал}}$$

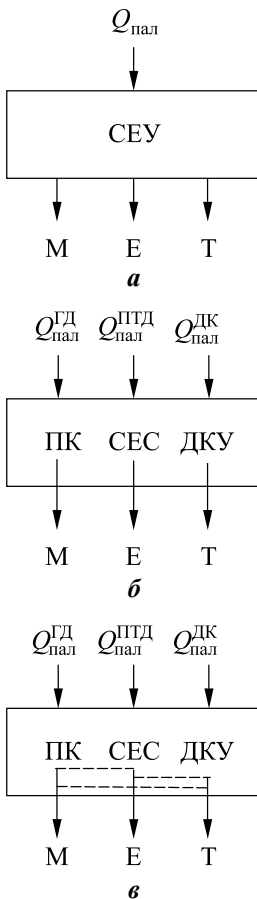


Рис. 1. Структурні схеми перетворення енергії в СЕУ:

а – СЕУ як підсистема судна; *б* – СЕУ як складний комплекс з автономними складовими частинами; *в* – СЕУ як комплекс з вертикальними та горизонтальними зв'язками у процесах перетворення енергії; СЕУ – суднова енергетична установка; ПК – пропульсивний комплекс; СЕС – суднова електростанція; ДКУ – допоміжна котельна установка; $Q_{пал}$ – кількість теплоти, що виділилася при згорянні палива; М, Е, Т – корисний ефект від згоряння палива (механічна, електрична та тепла енергія); індекси ГД, ПТД, ДК відносяться до головного двигуна, первинного теплового двигуна, що приводить електрогенератор, допоміжного котла

*) Вироблення потенціальної енергії стисненого повітря чи холоду здійснюється у допоміжних комплексах нижчих рівнів з використанням електричної та теплової енергії.

Коефіцієнт використання теплоти

$$\eta_{\text{в.т}}^{\text{СЕУ}} = \frac{M + E + T}{Q_{\text{пал}}},$$

де $Q_{\text{пал}}$ – кількість теплоти, що виділилася при згорянні палива.

СЕУ складається з окремих комплексів (рис. 1,б), які можуть бути автономними один відносно одного або мати горизонтальні зв'язки (рис. 1,в) у залежності від прийнятої схеми СЕУ (наприклад, з утилізаційним котлом на газоході головного двигуна чи з валогенератором).

В той же час судно має декілька експлуатаційних режимів, на яких обладнання СЕУ у складі комплексів працює по-різному, а може взагалі не використовуватись (наприклад, на стоянках пропульсивний комплекс (ПК) не працює, а суднова електростанція (СЕС) та допоміжна котельня установка (ДКУ) працюють). Крім того, кількість виробленої енергії різних видів на різних режимах не однакова.

Вести мову просто про ефективність роботи СЕУ взагалі немає сенсу. Треба розробити структурну схему СЕУ із включенням усіх елементів, де використовуються паливо та вторинні теплові потоки (наприклад, ОУ), і скласти таблицю режимів роботи обладнання СЕУ.

Розрахунки потоків енергії та ефективності використання енергії палива виконують для кожного режиму окремо.

Для транспортного судна СЕУ складається з пропульсивного комплексу, суднової електростанції та котельної установки, саме в яких хімічна енергія палива перетворюється у відповідні види енергії. На рис. 2 подана структурно-функціональна схема такої СЕУ.

Сукупність рушія, пристроїв для передачі потужності та упору, передачі, муфти та головних двигунів створює пропульсивну установку (пропульсивний комплекс) або головну енергетичну установку.

Судно рухається горизонтальною силою упору P_e , що створює рушій за рахунок потужності N_p , яка підводиться до нього від головного двигуна через елементи ПК.

Здолання сили опору корпусу судна R під час його руху у воді зі швидкістю V_s забезпечується буксирувальною потужністю N_R :

$$N_R = R V_s.$$

З урахуванням наведеного вище $N_R = N_p$.

Суднова електростанція призначена для вироблення електричної енергії електрогенераторами, що приводяться первинними тепловими двигунами. Найчастіше це двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), тоді комплекс називається дизель-генератором (ДГ). Електроенергія через головний розподільний щит (ГРЩ) розподіляється по споживачам.

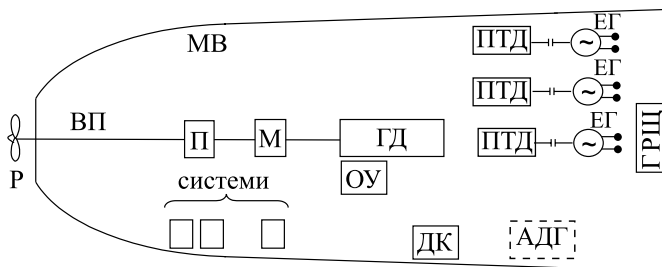


Рис. 2. Структурно-функціональна схема СЕУ самохідного транспортного судна:

МВ – машинне відділення, ГД – головний двигун, М – муфта, П – передача, ВП – валопровід, Р – рушій (водяний гвинт), ПТД – первинний тепловий двигун, ЕГ – електрогенератор, ДК – допоміжний котел, ОУ – опріснювальна установка, АДГ – аварійний дизель-генератор

Теплова енергія на судні виробляється у котлах допоміжних (ДК), утилізаційних (УК) чи комбінованих (КК).

Для забезпечення роботи елементів СЕУ з перетворення енергії палива потрібні системи (паливна, повітряні, газовідвідні, змащування, охолодження, стисненого повітря та ін.).

Таким чином, СЕУ складається з кількох комплексів різного ієрархічного рівня у вигляді головних та допоміжних установок та систем, що їх обслуговують.

5.3. Поток енергії в СЕУ

Розглянемо окремо перетворення енергії палива в пропульсивному комплексі, судновій електростанції та котельній установці. Розрахункові схеми цих процесів наведені на рис. 3 та 5.

У складі ПК головним обрано двигун внутрішнього згоряння як найекономічніший серед існуючих і внаслідок цього найпоширеніший у судновій енергетиці. У разі використання як головної паро-

вої турбіни чи газотурбінного двигуна складові витрат у рівнянні теплового балансу інші [1, 10].

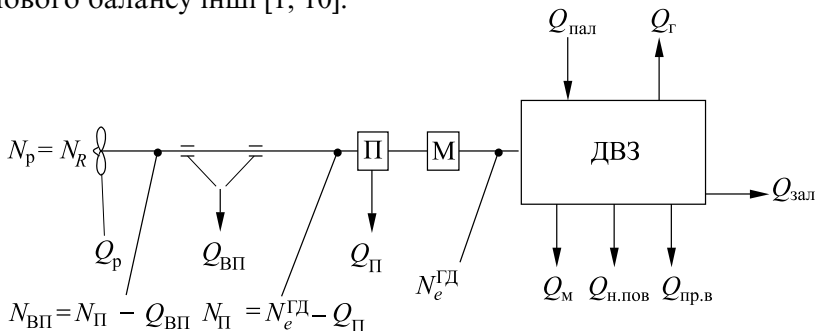


Рис. 3. Розрахункова схема процесу перетворення енергії в ПК

При спалюванні палива у двигуні виділяється теплота $Q_{\text{пал}}$, що забезпечує вироблення корисної потужності на фланці ГД – ефективної потужності $N_e^{\text{ГД}}$. При цьому існують втрати теплоти з продуктами згоряння $Q_{\text{Г}}$, з охолоджувальними середовищами $Q_{\text{м}}$, $Q_{\text{пр.в}}$, $Q_{\text{н.пов}}$ та ін.

Тепловий баланс ДВЗ записують у вигляді

$$Q_{\text{пал}} = N_e + Q_{\text{Г}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{пр.в}} + Q_{\text{н.пов}} + Q_{\text{зал}},$$

де $Q_{\text{пал}}$ – кількість теплоти, що виділилась при спалюванні палива, кВт,

$$Q_{\text{пал}} = g_e N_e Q_i^r = G_{\text{пал}} Q_i^r, \quad G_{\text{пал}} = g_e N_e,$$

g_e – питома витрата палива, кг/(кВт·год); N_e – корисна потужність ГД, кВт; Q_i^r – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг; $G_{\text{пал}}$ – секундні витрати палива, кг/с; $Q_{\text{Г}}$ – витрати теплоти з відпрацьованими (випускними) газами; $Q_{\text{н.пов}}$ – кількість теплоти, що відбирається від наддувного повітря; $Q_{\text{м}}$ – витрати теплоти з маслом у вузлах тертя; $Q_{\text{пр.в}}$ – витрати теплоти з охолоджуючою прісною водою; $Q_{\text{зал}}$ – кількість теплоти, розсіяваної до навколишнього середовища (залишковий член балансу).

Втрати теплоти різними середовищами визначаються наступними формулами згідно зі схемою, наведеною на рис. 4.

Теплота, що втрачається з відпрацьованими газами,

$$Q_{\text{Г}} = G_{\text{Г}} c_{p\text{Г}} T_{\text{Г}} - G_{\text{пов}} c_{p\text{пов}} T_{\text{пов}},$$

де G_{Γ} , $G_{\text{пов}}$ – кількість відпрацьованих газів та повітря двигуна,

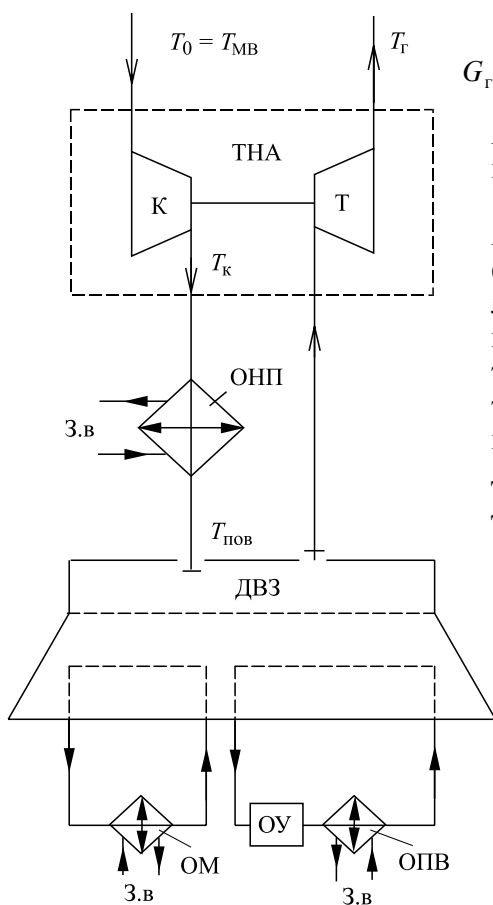


Рис. 4. Розрахункова схема ГД з основними системами:

МВ – машинне відділення, ТНА – турбонаддувний агрегат, К – компресор, Т – турбіна, ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння, ОНП – охолоджувач наддувного повітря, ОМ – охолоджувач масла, ОПВ – охолоджувач прісної води, ОУ – опріснювальна установка; T – температура середовищ, З.в – забортна вода

$$G_{\text{пов}} = \alpha_{\Sigma} L_0 g_e N_e,$$

$$G_{\Gamma} = G_{\text{пов}} + G_{\text{пал}} = g_e N_e (1 + \alpha_{\Sigma} L_0),$$

L_0 – теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива (для рідких палив $L_0 = 14,3$ кг повітря/кг палива); α_{Σ} – загальний коефіцієнт надлишку повітря; $c_{p\Gamma}$, $c_{p\text{пов}}$ – середні масові теплоємності продуктів згоряння і повітря; T_{Γ} , $T_{\text{пов}}$ – температури відпрацьованих газів у випускному газопроводі та повітря на вході в циліндр двигуна після охолоджувача наддувного повітря.

Теплота, що відбирається від наддувного повітря,

$$Q_{\text{н.пов}} = G_{\text{пов}} c_{p\text{пов}} (T_{\text{к}} - T_{\text{пов}}),$$

де $T_{\text{к}}$ – температура повітря після наддувного компресора,

$$T_{\text{к}} = T_0 + \Delta T;$$

T_0 – температура повітря у верхньому рівні машинного відділення; ΔT – підвищення температури в дійсному процесі стиснення повітря в компресорі ТНА,

$$\Delta T = T_0 \left(\pi_{\text{к}}^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{\text{к}}},$$

π_k – ступінь підвищення тиску повітря в компресорі наддувного агрегату ДВЗ; η_k – коефіцієнт корисної дії компресора ТНА.

Теплота, що втрачається з охолоджуючою прісною водою та маслом у вузлах тертя, відповідно:

$$Q_{\text{пр.в}} = G_{\text{пр.в}} c_{\text{пр.в}} \Delta T_{\text{пр.в}}, \quad Q_{\text{м}} = G_{\text{м}} c_{\text{м}} \Delta T_{\text{м}},$$

де $G_{\text{пр.в}}$, $G_{\text{м}}$ – витрати прісної води і масла через ОПВ та ОМ, кг/с; $c_{\text{пр.в}}$, $c_{\text{м}}$ – теплоємності води та масла, кДж/(кг·К); $\Delta T_{\text{пр.в}}$, $\Delta T_{\text{м}}$ – перепади температур прісної води та масла на вході та виході відповідного теплообмінного апарата, в обох випадках ΔT приймається 15...20 град.

Для визначення $Q_{\text{пр.в}}$ та $Q_{\text{м}}$ у разі відсутності результатів теплотехнічних випробувань конкретного двигуна використовують статистичні дані.

Втрати теплоти від розсіювання до навколишнього середовища є залишковим членом балансу і становлять 1,5...2,0 % від $Q_{\text{пал}}$.

Від ГД потужність передається через муфту, суднову передачу та валопровід, де теж існують втрати вже механічної енергії, що переходять в теплову, $Q_{\text{п}}$ та $Q_{\text{вп}}$. До рушія підводиться потужність

$$N_{\text{вп}} = N_e^{\text{ГД}} - Q_{\text{п}} - Q_{\text{вп}}.$$

Втрати енергії на рушії $Q_{\text{р}}$ визначаються величиною пропульсивного коефіцієнта η .

Потужність, яка перетворюється на упор, $N_{\text{р}} = N_{\text{R}}$, є тим самим корисним ефектом ПК, що має місце в результаті спалювання палива в головному двигуні:

$$N_{\text{R}} = N_e^{\text{ГД}} - Q_{\text{п}} - Q_{\text{вп}} - Q_{\text{р}}.$$

Інакше можна записати

$$N_{\text{R}} = N_e^{\text{ГД}} \eta_{\text{п}} \eta_{\text{вп}} \eta,$$

де $\eta_{\text{п}}$, $\eta_{\text{вп}}$, η – коефіцієнти корисної дії передачі, валопроводу, пропульсивний коефіцієнт.

Втрати енергії у муфтах ураховуються тільки при використанні муфт ковзання, для муфт усіх інших типів втратами енергії нехтуємо.

ККД пропульсивного комплексу

$$\eta_e^{\text{ПК}} = \frac{N_R}{Q_{\text{пал}}}.$$

На рис. 5 наведені розрахункові схеми процесів перетворення теплоти для допоміжних енергетичних установок.

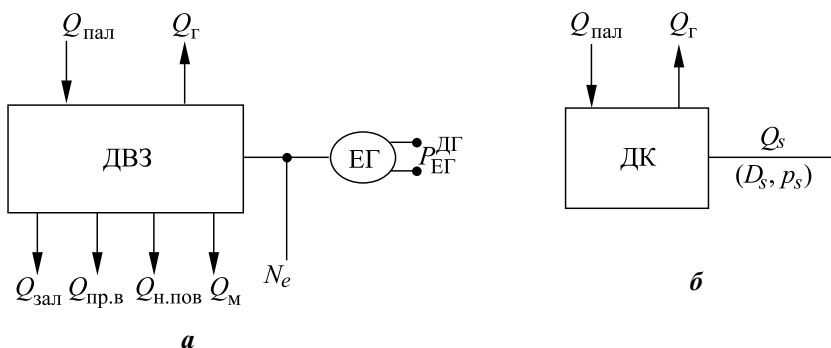


Рис. 5. Розрахункові схеми процесів перетворення теплоти для СЕС (**а**) та ДКУ (**б**)

Як первинний тепловий двигун можуть використовуватися ДВЗ, парові турбіни, газотурбінні двигуни. Для приводу електрогенератора (ЕГ) найчастіше використовується ДВЗ.

Розрахунки потоків теплоти, що виділилися при спалюванні палива у ДВЗ (див. рис. 5,**а**), проводяться аналогічно наведеним вище для головного двигуна. Перетворення механічної енергії в електричну $P_{\text{ЕГ}}$ здійснюється з витратами $Q_{\text{ЕГ}}$, що визначаються $\eta_{\text{ЕГ}}$, тобто

$$P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}} = N_e^{\text{ДГ}} \eta_{\text{ЕГ}}.$$

У допоміжному котлі (див. рис. 5,**б**) виробляється пара (у даному випадку насичена) у кількості D_s , кг/год, та тиском p_s , МПа.

Теплота, що виділилася при спалюванні палива у ДК,

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} Q_t^r = Q_s + Q_{\text{втр}}^{\text{ДК}},$$

де $G_{\text{пал}}$ – витрати палива в ДК, кг/с.

Кількість теплоти, що використовується для отримання наси-

ченої пари,

$$Q_s^{\text{ДК}} = D_s (i'' - i_{\text{ж.в}}),$$

де D_s – паропродуктивність, кг/год; i'' , $i_{\text{ж.в}}$ – ентальпії сухої насиченої пари та живильної води при тиску пари в котлі p_s , кДж/кг.

Коефіцієнт використання теплоти у ДК

$$\eta^{\text{ДК}} = \frac{Q_s^{\text{ДК}}}{Q_{\text{пал}}}.$$

Для кожного з наведених комплексів (ПК, СЕС, ДКУ) окремо на теплових діаграмах можуть бути наведені потоки витрат теплоти, однак для визначення ефективності роботи СЕУ на кожному з експлуатаційних режимів роботи судна розробляють таблицю з позначенням елементів указаних комплексів, що працюють на цих режимах. Наведемо скорочену таблицю (табл. 4) роботи обладнання СЕУ, схема якої подана на рис. 2.

Таблиця 4. Режими роботи елементів СЕУ

Обладнання	Режими				
	Ходовий	Стоянка з вантажними операціями	Стоянка без вантажних операцій	Аварійний	Примітки
ГД(1)	+1	–	–	–	
ДГ(3)	+2	+2	+1	–	1 ДГ – резерв
ДК(1)	+1	+1	+1	–	
ОУ(1)	+1	–	–	–	
АДГ(1)	–	–	–	+	

На рис. 6 та 7 наведені теплові діаграми потоків витрат теплоти в СЕУ на ходовому та стоянковому режимах без вантажних операцій згідно з таблицею режимів роботи СЕУ.

На ходовому режимі працюють 1 ГД, 2 ДГ, 1 ДК та ОУ.

Сучасні ОУ вакуумні, тобто забортна солоня вода, з якої виробляють дистилат, кипить при температурі менше 100 °С. Джерелом теплоти для випарювання є або пара від котлів (установки типу М), або гаряча прісна вода системи охолодження ДВЗ (установки типу Д).

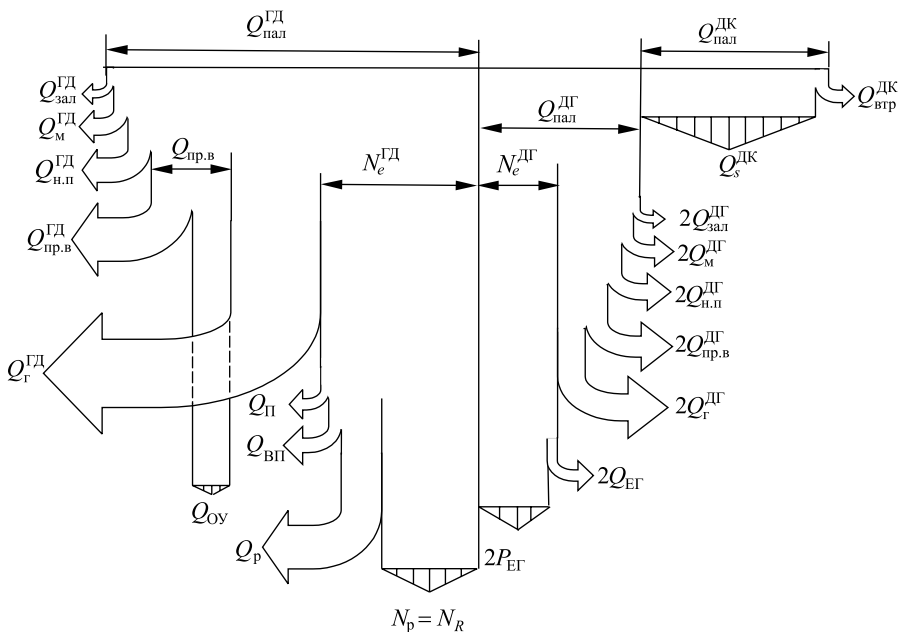


Рис. 6. Потоки витрат теплоти в СЕУ (теплова діаграма) на ходовому режимі роботи судна

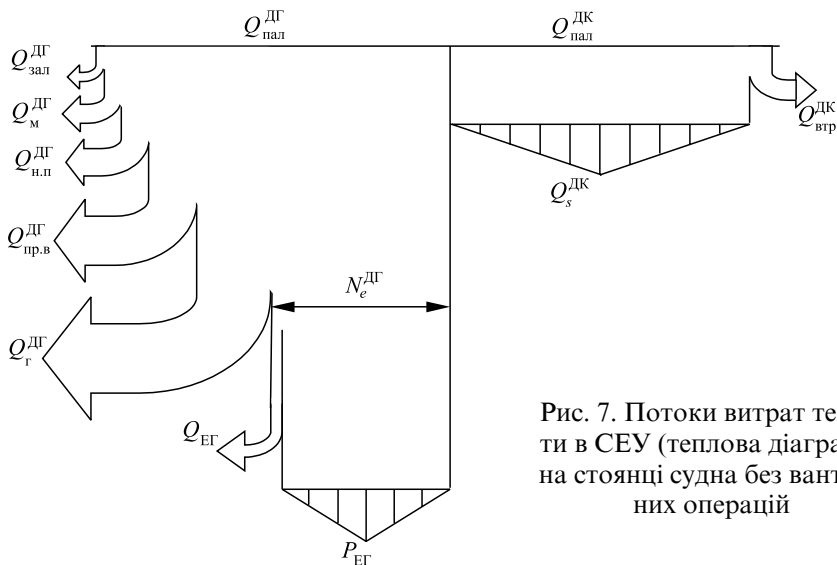


Рис. 7. Потоки витрат теплоти в СЕУ (теплова діаграма) на стоянці судна без вантажних операцій

Будемо вважати, що в складі СЕУ присутня опріснювальна установка типу Д. Як було сказано вище, кількість теплоти, що втрачається при охолодженні прісної води, $Q_{\text{пр.в}} = G_{\text{пр.в}} C_{\text{пр.в}} T_{\text{пр.в}}$.

Температура прісної води на виході з двигуна 85...75 °С. Забортну воду можна нагріти на 15...20 град менше, ніж прісну. Тобто за цією температурою можна визначити тиск у камері p_{sOY} , де кипить морська вода.

Кількість теплоти, яка витрачена на вироблення дистилату, розраховується за формулою

$$Q_{OY} = D_{OY} (i'' - i_{m.v}),$$

де D_{OY} – продуктивність ОУ, кг/с; i'' та $i_{m.v}$ – ентальпії насиченої пари та морської води (визначається прийнятою температурою підігріву води перед кипінням) при тиску p_{sOY} , кДж/кг.

Коефіцієнт використання теплоти в ОУ

$$\eta_{OY} = \frac{Q_{OY}}{Q_{\text{пр.в}}}.$$

Слід звернути увагу на те, що для вироблення прісної води (дистилату) в даному випадку паливо не потрібно, оскільки використовується вторинний тепловий потік низького потенціалу $Q_{\text{пр.в}}$. Це призводить до підвищення коефіцієнта використання теплоти в СЕУ на тому режимі, де працює ОУ.

Коефіцієнт використання теплоти в СЕУ на ходовому режимі

$$(\eta_{\text{вт}}^{\text{СЕУ}})_{\text{х.р}} = \frac{N_R + 2P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}} + Q_s + Q_{OY}}{Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} + 2Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} + Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}}.$$

Коефіцієнт корисної дії СЕУ на ходовому режимі

$$(\eta_e^{\text{СЕУ}})_{\text{х.р}} = \frac{N_R + 2P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}}{Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} + 2Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} + Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}}.$$

На стоянці без вантажних операцій працює 1 ДГ та 1 ДК.

Коефіцієнт використання теплоти в СЕУ на режимі стоянки без вантажних операцій

$$(\eta_{\text{в.т}}^{\text{СЕУ}})_{\text{ст.безВО}} = \frac{P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}} + Q_s}{Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} + Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}}.$$

Коефіцієнт корисної дії СЕУ на режимі стоянки без вантажних операцій

$$(\eta_e^{\text{СЕУ}})_{\text{ст. без ВО}} = \frac{P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}}{Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} + Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}}.$$

Зазначимо, що в розрахунках коефіцієнтів $\eta_{\text{в.т}}^{\text{СЕУ}}$ та $\eta_e^{\text{СЕУ}}$ на конкретних режимах не враховуються втрати електричної та теплової енергій при їх транспортуванні до споживачів по кабельних мережах та трубопроводах. Ці втрати становлять від 3...5 % від $P_{\text{ЕГ}}$ та Q_s . Їх урахування зменшує корисний ефект. При потребі ці втрати можуть бути наведені на теплових діаграмах.

У паротурбінних чи газотурбінних установках розподіл потоків теплоти в двигунах та елементах відрізняється від установок із ДВЗ, і теплові діаграми матимуть інший вигляд.

При складанні теплових діаграм втрати теплоти розташовують від найменших до найбільших за кількісною оцінкою. Це так звані вторинні низькопотенційні енергоресурси. Далі вирішується питання доцільності використання (утилізації) теплоти цих вторинних ресурсів – $Q_{\text{Г}}$, $Q_{\text{пр.в}}$, $Q_{\text{н.пов}}$.

На діючих суднах різного призначення схеми СЕУ різноманітні і враховують особливості призначення судна, умов його експлуатації та інше. До складу СЕУ включають утилізаційні котли на газах ГД чи ДГ, які використовують теплоту відпрацьованих газів $Q_{\text{Г}}$ для вироблення пари. Майже всі сучасні опріснювальні установки на суднах з дизельними енергетичними установками, а таких суден у світі близько 98 % від усього водного флоту, для отримання дистилату використовують теплоту прісної води $Q_{\text{пр.в}}$ системи охолодження двигунів.

Існують варіанти ускладнення складу СЕС за рахунок валогенераторів, коли електрогенератор має привод безпосередньо від вала головного двигуна або через ступінь передачі, а також за рахунок роботи утилізаційних турбогенераторів. Такі рішення відбиваються на структурній схемі СЕУ. Розрахунки потоків теплоти виконуються за наведеною вище методикою з урахуванням у подальшому позитивного ефекту від прийнятих до складу СЕУ елементів та зі змінами в теплових діаграмах розподілу та використання як теплової, так і механічної енергії.

Результатом утилізації вторинних енергоресурсів є підвищення коефіцієнта використання теплоти від згоряння палива, а в окремих випадках і підвищення ККД СЕУ на різних режимах експлуатації судна. Внаслідок цього зменшаться витрати на експлуатацію судна, тобто прибуток від судна буде вище.

5.4. Приклад розрахунків потоків теплоти та ефективності роботи СЕУ

На великому морозильному траулері встановлено одновальну двомашинну дизель-редукторну установку з відбором потужності на валогенератор та двома утилізаційними котлами на газходах головних двигунів. Дві опріснювальні установки типу Д забезпечують судно прісною водою.

У складі суднової електростанції три дизель-генератори. Також встановлено допоміжний котел.

Необхідно скласти теплові діаграми розподілу потоків енергій та розрахувати ефективність роботи СЕУ в ходовому режимі і на стоянці з вантажними операціями.

Склад обладнання СЕУ: два головні двигуни фірми "МАН – Бурмейстер і Вайн" моделі 6L32/40; валогенератор потужністю 800 кВт; чотири дизель-генератори фірми "МАН – Бурмейстер і Вайн" моделі 8L26/20 AL-2 з потужністю кожного електрогенератора 820 кВт; допоміжний котел КАВ 4/0,7; два утилізаційні котли марки КУП-40СИ; дві вакуумні опріснювальні установки, марки Д5М, у яких використовується теплота гарячої прісної води системи охолодження головних двигунів.

Порядок розрахунку

1. Розробити структурно-функціональну схему СЕУ.
2. Скласти таблицю режимів роботи СЕУ (табл. 5).

Складена таблиця може бути доповнена декількома режимами, наприклад, ходовий з малими швидкостями руху, зимовий чи літній режими роботи. Розглянемо спрощений варіант: вважаємо за ходовий режим траління влітку, тому ДК не працює.

3. Записати початкові дані елементів ПК та допоміжних установок (користуватися довідниками характеристик обладнання [1, 4, 19]). Дані, яких не вистачає для розрахунків, призначити самостійно за аналогами прототипів.

Таблиця 5. Режими роботи елементів СЕУ

Обладнання	Режим				Примітки
	Ходовий	Стоянка з вантажними операціями	Стоянка без вантажних операцій	Аварійний	
ГД (2)	+2	—	—	—	
ВГ (1)	+1	—	—	—	
УК (2)	+2	—	—	—	
ОУ (2)	+2	—	—	—	
ДГ (4)	+3	+2	+1	—	1 ДГ – резерв
ДК (1)	—	+1	+1	—	
АДГ (1)	—	—	—	+	

Головний двигун:

кількість	$i = 2$
ефективна потужність	$N_e^{\text{ГД}} = 2880 \text{ кВт}$
частота обертання	$n_{\text{ГД}} = 750 \text{ об/хв}$
питома витрата палива	$g_e = 0,195 \text{ кг/(кВт·год)}$
ступінь підвищення тиску повітря в компресорі наддувного агрегату ДВЗ	$\pi_k = 2,5$
коефіцієнт корисної дії наддувного компресора	$\eta_k = 0,80$
сумарний коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha_\Sigma = 2,0$
температура газів перед УК	$T_\Gamma = 653 \text{ К}$
температура повітря на вході в наддувний компресор	$T_{\text{пов}} = 318 \text{ К}$
нижча теплота згоряння палива	$Q_i^* = 42700 \text{ кДж/кг}$
коефіцієнт корисної дії суднової передачі	$\eta_{\text{П}} = 0,98$
коефіцієнт корисної дії суднового валопроводу	$\eta_{\text{ВП}} = 0,99$
пропульсивний коефіцієнт	$\eta = 0,7$
коефіцієнт корисної дії електрогенератора у складі валогенератора (ВГ)	$\eta_{\text{ВГ}} = 0,95$

Утилізаційний котел:

кількість	$i = 2$
марка котла	КУП-40 СИ
температура газів на вході в УК	$T_\Gamma = 653 \text{ К}$
температура газів на виході з УК	$T_{\text{від}}^{\text{УК}} = 513 \text{ К [1]}$
продуктивність насиченої пари	$D_s^{\text{УК}} = 360 \text{ кг/год}$

тиск пари	$p_s = 0,7 \text{ МПа}$
температура живильної води (прийнята)	$t_{\text{ж.в}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
Опріснювальна установка:	
кількість	$i = 2$
марка ОУ	Д5М
продуктивність	$D_{\text{ОУ}} = 10 \text{ т/добу}$
температура живильної заборотної води (прийнята)	$t_{\text{ж.в}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
Дизель-генератор:	
кількість	$i = 3$
ефективна потужність ДВЗ	$N_e^{\text{ДГ}} = 883 \text{ кВт}$
частота обертів	$n = 1000 \text{ об/хв}$
питома витрата палива	$g_e = 0,222 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{год)}$
ступінь підвищення тиску повітря в компресорі наддувального агрегату ДВЗ	$\pi_k = 2,7$
коефіцієнт корисної дії наддувального компресора	$\eta_k = 0,78$
сумарний коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha_\Sigma = 2,0$
температура відпрацьованих газів	$T_\Gamma = 673 \text{ К}$
температура повітря на вході в наддувний компресор	$T_{\text{пов}} = 323 \text{ К}$
нижча теплота згоряння палива	$Q_i^r = 42700 \text{ кДж/кг}$
коефіцієнт корисної дії електрогенератора	$\eta_{\text{ЕГ}} = 0,93$
Допоміжний котел:	
марка котла	КАВ 4/0,7
продуктивність насиченої пари	$D_s^{\text{ДК}} = 4 \text{ т/год}$
тиск пари	$p_s = 0,7 \text{ МПа}$
температура живильної води (прийнята)	$t_{\text{ж.в}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
витрати палива у котлі	$G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = 300 \text{ кг/год}$
нижча теплота згоряння палива	$Q_i^r = 41700 \text{ кДж/кг}$

4. Виконати розрахунки потоків теплоти в головному двигуні, визначити потужність $N_{\text{ВП}}$ (відповідно до прийнятої структурної схеми пропульсивної установки), що передається до гвинта і перетворюється на упор, а також розрахувати корисні ефекти від утилізації теплоти вторинних ресурсів низького потенціалу – відпрацьованих газів та гарячої води системи охолодження прісною водою^{*)}.

^{*)} У наведеному прикладі теплота наддувального повітря як вторинний енергоресурс не розглядається.

Розрахуємо потоки теплоти в одному *головному двигуні*. У наведених формулах верхні індекси "ГД" відповідних параметрів опущені. Результати подані з точністю до одиниці.

Теплота, що виділилась при спалюванні палива, кВт,

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = g_e N_e Q_i' = 0,195 \cdot 2880 \cdot 42700 / 3600 = 6661,2 \text{ кВт};$$

$$G_{\text{пал}} = g_e N_e = 0,195 \cdot 2880 / 3600 = 0,156 \text{ кг/с}.$$

Теплота, що втрачається з відпрацьованими газами,

$$Q_{\text{Г}}^{\text{ГД}} = G_{\text{Г}} c_{\text{рГ}} T_{\text{Г}} - G_{\text{пов}} c_{\text{рпов}} T_{\text{пов}} =$$

$$= 4,617 \cdot 1,145 \cdot 653 - 4,462 \cdot 1,01 \cdot 318 = 2019 \text{ кВт},$$

де $G_{\text{Г}}$, $G_{\text{пов}}$ – кількість відпрацьованих газів та повітря двигуна,

$$G_{\text{пов}} = \alpha_{\Sigma} L_0 g_e N_e = 2,0 \cdot 14,3 \cdot 0,195 \cdot 2880 / 3600 = 4,462 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{Г}} = G_{\text{пов}} + G_{\text{пал}} = g_e N_e (1 + \alpha_{\Sigma} L_0) =$$

$$= 0,195 \cdot 2880 (1 + 2,0 \cdot 14,3) / 3600 = 4,618 \text{ кг/с}.$$

Теплоємності відпрацьованих газів та повітря відповідно становлять [14]:

$$c_{\text{рГ}} = 1,145 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; \quad c_{\text{рпов}} = 1,01 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Теплота, що відбирається від наддувного повітря,

$$Q_{\text{н.пов}} = G_{\text{пов}} c_{\text{рпов}} (T_{\text{к}} - T_{\text{пов}}) = 4,462 \cdot 1,01 (469 - 318) = 680 \text{ кВт},$$

де $T_{\text{к}}$ – температура повітря після наддувного компресора,

$$T_{\text{к}} = T_{\text{пов}} + \Delta T = T_{\text{пов}} \left[1 + \left(\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{\text{к}}} \right] =$$

$$= 318 [1 + (2,5^{0,286} - 1) / 0,8] = 469 \text{ К};$$

ΔT – підвищення температури в дійсному процесі стиснення повітря в компресорі ТНА,

$$\Delta T = T_0 \left(\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_k},$$

де $\pi_k = 2,5$ – ступінь підвищення тиску повітря в компресорі наддувального агрегату ДВЗ; $\eta_k = 0,8$ – коефіцієнт корисної дії компресора ТНА.

Втрати теплоти від розсіювання до навколишнього середовища є залишковим членом балансу і становлять 1,5...2,0 % від $Q_{\text{пал}}$:

$$Q_{\text{зал}}^{\text{ГД}} = 0,015 Q_{\text{пал}} = 0,015 \cdot 6661 = 100 \text{ кВт.}$$

Втрати теплоти з охолоджуючою прісною водою та маслом у вузлах тертя відповідно становлять:

$$Q_{\text{пр.в}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пр.в}} c_{\text{пр.в}} \Delta T_{\text{пр.в}}; \quad Q_{\text{м}}^{\text{ГД}} = G_{\text{м}} c_{\text{м}} \Delta T_{\text{м}},$$

де $G_{\text{пр.в}}$, $G_{\text{м}}$ – витрати прісної води і масла через ОПВ та ОМ, кг/с; $c_{\text{пр.в}}$, $c_{\text{м}}$ – теплоємності води та масла, кДж/(кг·К); $\Delta T_{\text{пр.в}}$, $\Delta T_{\text{м}}$ – перепади температур прісної води та масла на вході та виході відповідного теплообмінного апарату, в обох випадках ΔT приймається 15...20 град.

Для визначення $Q_{\text{пр.в}}$ та $Q_{\text{м}}$ у разі відсутності результатів теплотехнічних іспитів конкретного двигуна використовують статистичні дані.

Згідно з [1, 10, 14] втрати теплоти з прісною водою становлять 8...14 %, з маслом – 3,5...7,0 % від кількості теплоти, що виділилася при спалюванні палива в теплових двигунах. У даному випадку для МОД візьмемо 10,5 % втрат теплоти з прісною водою і 4,5 % – з маслом. Тобто

$$Q_{\text{пр.в}} = 0,105 Q_{\text{пал}} = 0,105 \cdot 6661,2 = 700 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{м}} = 0,045 Q_{\text{пал}} = 0,045 \cdot 6661,2 = 300 \text{ кВт.}$$

Зробимо перевірку рівняння теплового балансу для головного двигуна:

$$Q_{\text{пал}} = N_e + Q_{\text{г}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{пр.в}} + Q_{\text{н.пов}} + Q_{\text{зал}},$$

$$6661 = 2880 + 2019 + 680 + 700 + 300 + 100.$$

Нев'язка балансу становить 0,27 %, допустимий небаланс – $\pm 0,5$ %.

У складі пропульсивного контуру є утилізаційний котел УК та опріснювальна установка ОУ, що працюють за рахунок тепла вторинних енергетичних потоків – відпрацьованих газів $Q_{\Gamma}^{\Gamma\Delta}$ та прісної води системи охолодження головного двигуна $Q_{\text{пр.в}}^{\Gamma\Delta}$.

Розрахуємо, скільки теплоти може бути утилізовано (використано в СЕУ) для отримання пари та прісної води без спалювання для цього палива.

Утилізаційний котел. Кількість теплоти, що може бути передана від газів живильній воді для утворення пари

$$Q_{\Gamma}^{\text{УК}} = Q_{\Gamma}^{\Gamma\Delta} c_{p\Gamma} (T_{\Gamma} - T_{\text{від}}^{\text{УК}}) = 4,618 \cdot 1,145(653 - 513) = 740 \text{ кВт.}$$

Кількість теплоти, що витрачено для одержання насиченої пари,

$$Q_s^{\text{УК}} = D_s^{\text{УК}} D_s (i'' - i_{\text{ж.в}}) = 360(2760,1 - 251,1)/3600 = 251 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт використання тепла в УК

$$\eta_{\text{УК}} = \frac{Q_s^{\text{УК}}}{Q_{\Gamma}^{\text{УК}}} = \frac{251}{740} = 0,34.$$

Ентальпію сухої насиченої пари i'' та живильної води $i_{\text{ж.в}}$ знаходимо за таблицями для водяної пари [17] при тиску $p_s = 0,7 \text{ МПа}$ та $t_{\text{ж.в}} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опріснювальна установка. З попередніх розрахунків відомо, що від прісної води системи охолодження ГД для отримання дистилату в ОУ надходить $Q_{\text{пр.в}} = 700 \text{ кВт}$. Перепад температур гарячої прісної води і заборотної води у випарнику прийнятий 20 град, заборотна вода кипітиме при $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$. За таблицями водяної пари [17] визначаємо відповідний тиск цієї вторинної пари і далі ентальпії сухої насиченої пари та морської води, з якої утворюється дистилат:

$$i'' = 2609 \text{ кДж/кг; } i_{\text{ж.в}} = 251,1 \text{ кДж/кг.}$$

Кількість теплоти, що може бути передана від гарячої прісної води для кипіння морської води і утворення вторинної пари,

$$Q_{\text{ОУ}} = D_{\text{ОУ}} (i'' - i_{\text{ж.в}}) = 10 \cdot 10^3 (2609 - 251,1)/24/3600 = 273 \text{ кВт.}$$

$$\text{Отже, } \eta_{\text{в.т}}^{\text{ОУ}} = \frac{Q_{\text{ОУ}}}{Q_{\text{пр.в}}^{\Gamma\Delta}} = \frac{273}{700} = 0,39.$$

Переходимо до елементів допоміжної енергетичної установки: дизель-генератора та допоміжного котла.

Дизель-генератор. Розрахунки потоків теплоти у первинному тепловому двигуні ДГ аналогічні розрахункам для головного двигуна.

Теплота, що виділилась при спалюванні палива, кВт,

$$Q_{\text{пал}} = g_e N_e Q_i^r = 0,222 \cdot 883 \cdot 42700 / 3600 = 2325 \text{ кВт};$$

$$G_{\text{пал}} = g_e N_e = 0,222 \cdot 883 / 3600 = 0,054 \text{ кг/с.}$$

Теплота, що втрачається з відпрацьованими газами,

$$Q_{\Gamma} = G_{\Gamma} c_{p\Gamma} T_{\Gamma} - G_{\text{пов}} c_{p\text{пов}} T_{\text{пов}} = 1,6 \cdot 1,151 \cdot 673 - 1,544 \cdot 1,01 \cdot 323 = 736 \text{ кВт},$$

де G_{Γ} , $G_{\text{пов}}$ – кількість відпрацьованих газів та повітря двигуна,

$$G_{\text{пов}} = \alpha_{\Sigma} L_0 g_e N_e = 2,0 \cdot 14,3 \cdot 0,222 \cdot 883 / 3600 = 1,557 \text{ кг/с};$$

$$\begin{aligned} G_{\Gamma} &= G_{\text{пов}} + G_{\text{пал}} = g_e N_e (1 + \alpha_{\Sigma} L_0) = \\ &= 0,222 \cdot 883 (1 + 2,0 \cdot 14,3) / 3600 = 1,61 \text{ кг/с}; \end{aligned}$$

теплоємності відпрацьованих газів та повітря відповідно становлять [14]:

$$c_{p\Gamma} = 1,151 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}; \quad c_{p\text{пов}} = 1,01 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}.$$

Теплота, що відбирається від наддувного повітря,

$$Q_{\text{н.пов}} = G_{\text{пов}} c_{p\text{пов}} (T_{\text{к}} - T_{\text{пов}}) = 1,557 \cdot 1,01 (459 - 318) = 222 \text{ кВт},$$

де $T_{\text{к}}$ – температура повітря після наддувного компресора,

$$\begin{aligned} T_{\text{к}} &= T_{\text{пов}} + \Delta T = T \left[1 + \left(\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{\text{к}}} \right] = \\ &= 323 [1 + (2,70^{0,286} - 1) / 0,78] = 459 \text{ К}; \end{aligned}$$

ΔT – підвищення температури в дійсному процесі стиснення повітря в компресорі ТНА,

$$\Delta T = T_0 \left(\pi_{\kappa}^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_{\kappa}};$$

$\pi_{\kappa} = 2,7$ – ступінь підвищення тиску повітря в компресорі наддувального агрегату ДВЗ, $\eta_{\kappa} = 0,78$ – коефіцієнт корисної дії компресора ТНА.

Втрати теплоти від розсіювання до навколишнього середовища є залишковим членом балансу і становлять 1,5...2,0 % від $Q_{\text{пал}}$:

$$Q_{\text{зал}} = 0,02 Q_{\text{зал}}^{\text{ДГ}} = 0,02 \cdot 2325,1 = 46 \text{ кВт.}$$

Теплота, що втрачається з охолоджуючою прісною водою та маслом у вузлах тертя, відповідно становить:

$$Q_{\text{пр.в}} = G_{\text{пр.в}} c_{\text{пр.в}} \Delta T_{\text{пр.в}}; \quad Q_{\text{м}}^{\text{ДГ}} = G_{\text{м}} c_{\text{м}} \Delta T_{\text{м}},$$

де $G_{\text{пр.в}}$, $G_{\text{м}}$ – витрати прісної води і масла через ОПВ та ОМ, кг/с; $c_{\text{пр.в}}$, $c_{\text{м}}$ – теплоємності води та масла, кДж/(кг·К); $\Delta T_{\text{пр.в}}$, $\Delta T_{\text{м}}$ – перепади температур прісної води та масла на вході та виході відповідного теплообмінного апарата, в обох випадках ΔT приймається 15...20 град.

Для визначення $Q_{\text{пр.в}}^{\text{ДГ}}$ та $Q_{\text{м}}^{\text{ДГ}}$ у разі відсутності результатів теплотехнічних іспитів конкретного двигуна використовують статистичні дані.

Згідно з [1, 10, 14] втрати теплоти з прісною водою становлять 8...14 %, з маслом – 3,5...7,0 % від кількості теплоти, що виділилася при спалюванні палива в теплових двигунах. У даному випадку для СОД візьмемо 12,8 % втрат теплоти з прісною водою і 6,4 % – з маслом. Тобто

$$Q_{\text{пр.в}} = 0,128 Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} = 0,128 \cdot 2325,1 = 299 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{м}} = 0,064 Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} = 0,064 \cdot 2325,1 = 149 \text{ кВт.}$$

Зробимо перевірку рівняння теплового балансу для ДВЗ, що приводить електрогенератор (верхні індекси "ДГ" опущені):

$$Q_{\text{пал}} = N_e + Q_{\text{Г}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{пр.в}} + Q_{\text{н.пов}} + Q_{\text{зал}},$$

$$2325 = 883 + 736 + 149 + 299 + 222 + 46.$$

Відхил балансу 0,43 %, допустимий небаланс $\pm 0,5$ %.

Допоміжний котел. Кількість теплоти, що виділилася при спалюванні палива у котлі,

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = G_{\text{пал}} Q_i' = 300 \cdot 41700/3600 = 3475 \text{ кВт.}$$

Кількість теплоти, що витрачено для отримання насиченої пари,

$$Q_s^{\text{ДК}} = D_s^{\text{ДК}} (i'' - i_{\text{ж.в}}) = 4000(2760,1 - 251,1)/3600 = 2788 \text{ кВт.}$$

Ентальпію сухої насиченої пари i'' та живильної води i знаходимо за таблицями для водяної пари [17] при тиску $p_s = 0,7 \text{ МПа}$ та $t_{\text{ж.в}} = 60^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт використання теплоти в ДК

$$\eta_{\text{ДК}} = \frac{Q_s^{\text{ДК}}}{Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}} = \frac{2788}{3475} = 0,802.$$

Отже, розраховані потоки теплоти в окремих елементах СЕУ. Визначення коефіцієнтів корисної дії та коефіцієнтів використання теплоти у даному прикладі є перевіркою правильності розрахунків і відповідності цих показників реальним значенням для прийнятого обладнання.

Необхідно враховувати, що це обладнання працює в складі СЕУ, має різні функціональні зв'язки між собою, на різних режимах роботи судна, як мова йшла вище, працюють різні за призначенням та кількістю види обладнання. Тому заключна частина розрахунків ставить питання визначення ефективності роботи СЕУ як судового комплексу на окремих режимах. Розглянемо два такі режими: ходовий та режим стоянки без вантажних операцій.

Ходовий режим. Згідно з табл. 5 на ходовому режимі працюють 2 ГД, 1 ВГ, 2 УК, 2 ОУ та 3 ДГ. Розрахункова схема наведена на рис. 8.

Від двох ГД потужність передається через муфти до судової передачі і далі розподіляється на два споживачі: електрогенератор та через валопровід на рушій, де теж існують втрати вже механічної енергії, що переходять в теплову, $Q_{\text{П}}$ та $Q_{\text{ВП}}$.

Для вироблення 800 кВт електроенергії до валогенератора треба підвести $N_{\text{ВГ}} = P_{\text{ВГ}}/\eta_{\text{ВГ}}\eta_{\text{м.п}} = 800/0,95 \cdot 0,99 = 850 \text{ кВт}$ ($\eta_{\text{м.п}} = 0,99$ – коефіцієнт корисної дії мультиплікаційної передачі). Відповідно втрати енергії у цих ланках $Q_{\text{м.п}} = 8,5 \text{ кВт}$ та $Q_{\text{ВГ}} = 42 \text{ кВт}$.

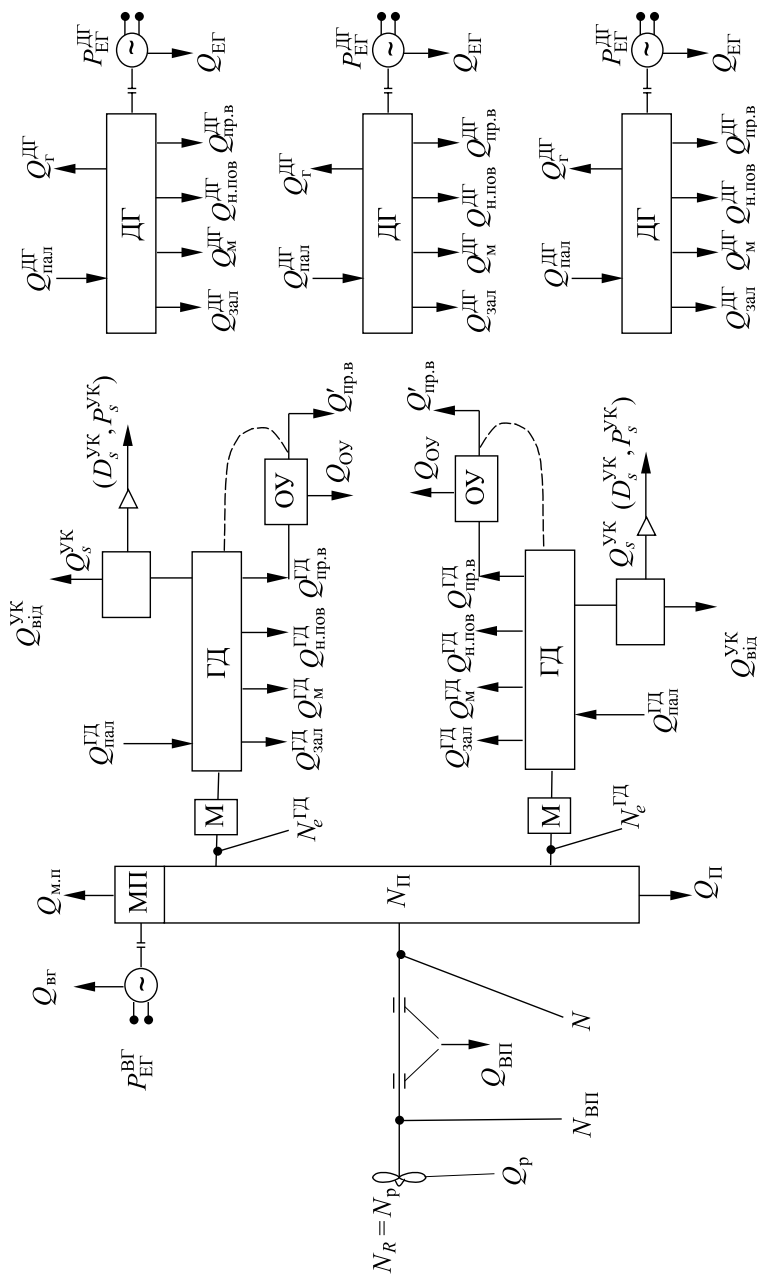


Рис. 8. Розрахункова схема для визначення розподілу потоків енергії в СЕУ на ходовому режимі роботи судна

Механічна енергія буде передаватися далі на рушій через передачу (редуктор) та валопровід.

Механічна енергія, що підводиться до передачі,

$$N_{\Pi} = 2N_e - N_{\text{ЕГ}} = 2 \cdot 2880 - 850 = 4910 \text{ кВт.}$$

З урахуванням втрат енергії в редукторному ступені ($\eta_{\Pi} = 0,98$)

$$Q_{\Pi} = 4909,4 \cdot 0,02 = 98 \text{ кВт}$$

на валопровід передається потужність

$$N = N_{\Pi} - Q_{\Pi} = 4910 - 98 = 4812 \text{ кВт.}$$

До рушія підводиться потужність $N_{\text{ВП}}$ (втрати потужності у підшипниках валопроводу $Q_{\text{ВП}} = 0,01N = 0,01 \cdot 4812 = 48,1 \text{ кВт}$)

$$N_{\text{ВП}} = N - Q_{\text{ВП}} = 4812 - 48 = 4764 \text{ кВт.}$$

Втрати енергії на рушії Q_p визначаються величиною пропульсивного коефіцієнта η . При $\eta = 0,7$ вони становлять

$$Q_p = 0,3 \cdot 4764 = 1429 \text{ кВт.}$$

Потужність, що перетворюється на упор, $N_p = N_R$ є тим самим корисним ефектом ПК, що має місце в результаті спалювання палива в головному двигуні:

$$N_R = N_{\text{ВП}} - Q_p = 4764 - 1429 = 3335 \text{ кВт.}$$

Інакше можна записати:

$$N_R = (2N_e^{\text{ГД}} - N_{\text{ЕГ}}^{\text{ВГ}}) \eta_{\Pi} \eta_{\text{ВП}} \eta,$$

де η_{Π} , $\eta_{\text{ВП}}$, η – коефіцієнти корисної дії передачі, валопроводу, пропульсивний коефіцієнт.

Втрати енергії у муфтах враховуються тільки при використанні муфт ковзання, для муфт усіх інших типів утратами енергії нехтуємо.

ККД пропульсивного комплексу визначимо за виразом

$$\eta_e^{\text{ПК}} = \frac{N_R + P_{\text{ЕГ}}^{\text{ВГ}}}{2Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}}} = \frac{3335 + 800}{2 \cdot 6661,2} = 0,310.$$

Використовуючи результати розрахунків потоків енергії в окремих елементах СЕУ, розробляють теплову діаграму розподілу теплової енергії, що виділилася при спалюванні його у названих вище елементах (рис. 9), під час роботи СЕУ на ходовому режимі.

Коефіцієнт використання теплоти в СЕУ на ходовому режимі

$$\begin{aligned} (\eta_{\text{в.т}}^{\text{СЕУ}})_{\text{х.р}} &= \frac{N_R + P_{\text{ЕГ}}^{\text{ВГ}} + 2Q_s^{\text{УК}} + 2Q_{\text{ОВ}} + 3P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}}{2Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} + 3Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}}} = \\ &= \frac{3335 + 800 + 2 \cdot 251 + 2 \cdot 273 + 3 \cdot 820}{2 \cdot 6661 + 3 \cdot 2325} = 0,341. \end{aligned}$$

Коефіцієнт корисної дії СЕУ на ходовому режимі

$$(\eta_e^{\text{СЕУ}})_{\text{х.р}} = \frac{N_R + P_{\text{ЕГ}}^{\text{ВГ}} + 3P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}}{2Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} + 3Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}}} = \frac{3335 + 800 + 3 \cdot 820}{2 \cdot 6661 + 3 \cdot 2325} = 0,325.$$

На стоянці з вантажними операціями працюють 2ДГ та 1ДК. Розрахункова схема наведена на рис. 10.

Для одного дизель-генератора та одного допоміжного котла розрахунки потоків теплоти наведені вище. На рис. 11 показані потоки витрат теплоти в СЕУ на стоянці судна з вантажними операціями згідно зі схемою, наведеною на рис. 10.

Коефіцієнт використання теплоти в СЕУ на режимі стоянки з вантажними операціями

$$(\eta_{\text{в.т}}^{\text{СЕУ}})_{\text{ст.зВО}} = \frac{2P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}} + Q_s^{\text{ДК}}}{2Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} + Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}} = \frac{2 \cdot 820 + 2788}{2 \cdot 2325 + 3475} = 0,545.$$

Коефіцієнт корисної дії СЕУ на режимі стоянки з вантажними операціями

$$(\eta_e^{\text{СЕУ}})_{\text{ст.зВО}} = \frac{2P_{\text{ЕГ}}^{\text{ДГ}}}{2Q_{\text{пал}}^{\text{ДГ}} + Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}}} = \frac{2 \cdot 820}{2 \cdot 2325 + 3475} = 0,2.$$

Таким чином, для великого морозильного траулера розраховані потоки теплоти в СЕУ для ходового режиму та режиму стоянки з вантажними операціями, аналіз яких показав, що можна утилізува-

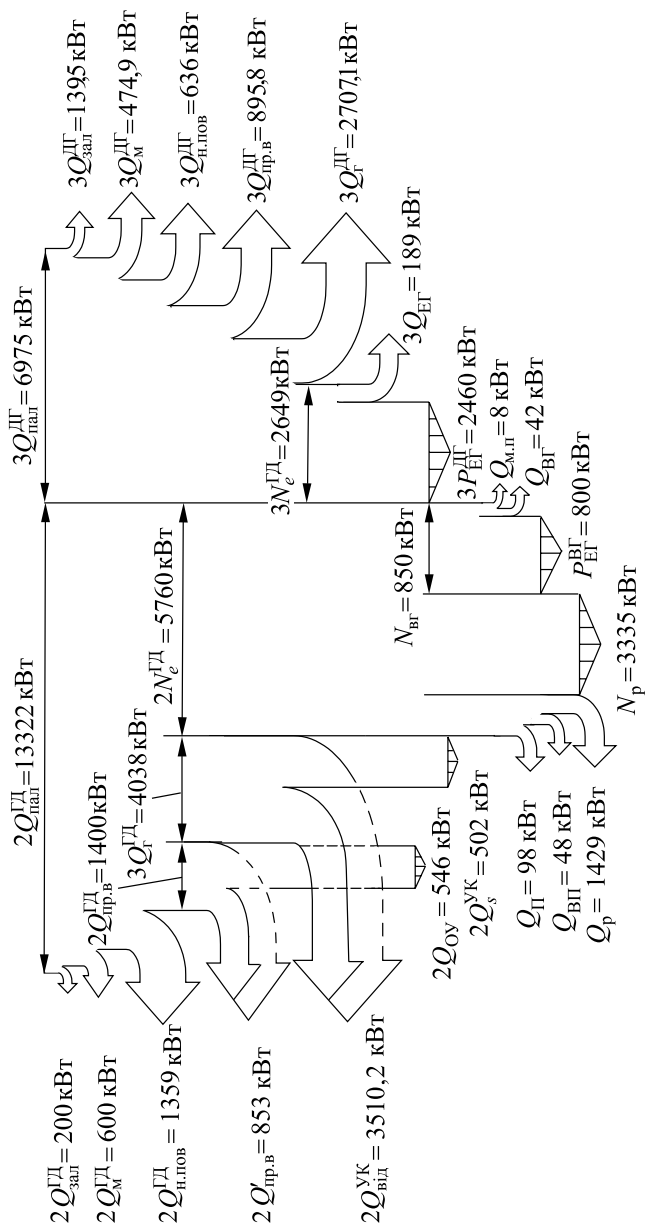


Рис. 9. Поток витрат теплоти в СЕУ (теплова діаграма) на ходовому режимі

ти теплоту вторинних енергетичних ресурсів для отримання пари на загальні судові потреби та прісної води (дистиляту) для поповнення її запасів. Визначена ефективність використання енергії палива, кількісна оцінка якої виражена коефіцієнтами корисної дії та коефіцієнтами використання тепла в СЕУ на двох режимах.

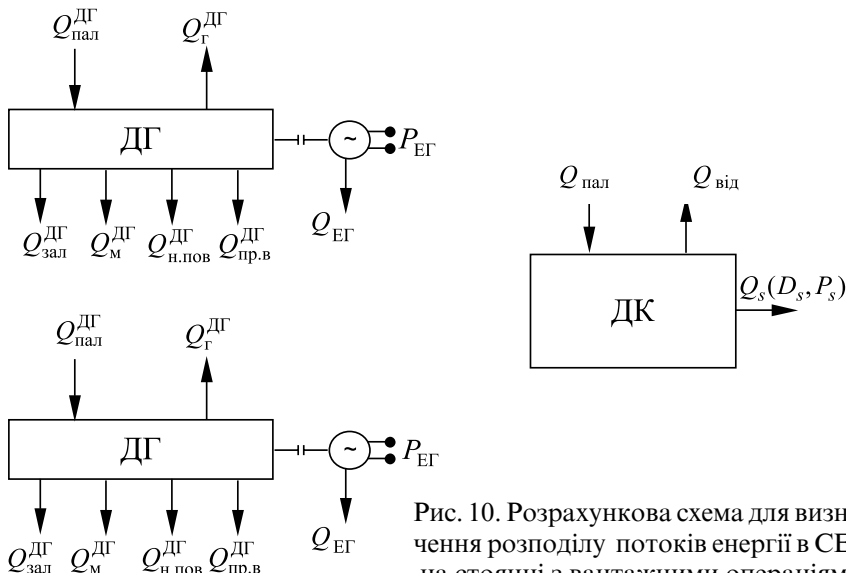


Рис. 10. Розрахункова схема для визначення розподілу потоків енергії в СЕУ на стоянці з вантажними операціями

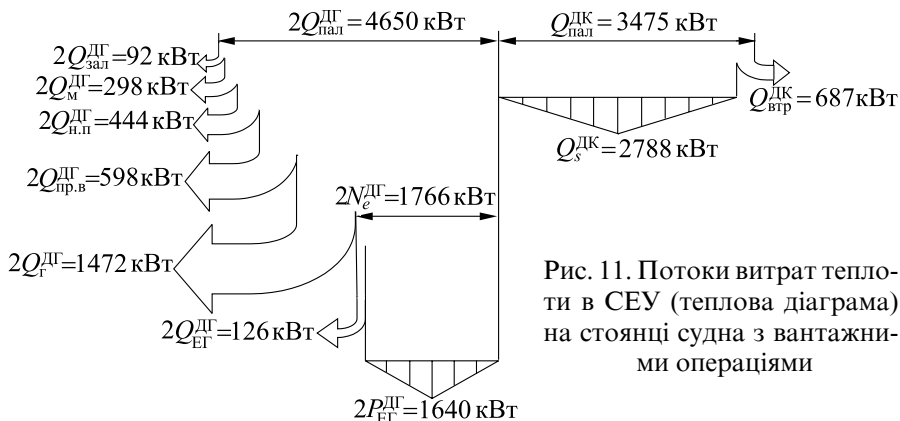


Рис. 11. Потоків витрат теплоти в СЕУ (теплова діаграма) на стоянці судна з вантажними операціями

ДОДАТОК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

К а ф е д р а
суднових енергетичних
установок

З А В Д А Н Н Я на виконання курсової роботи з дисципліни "Суднові енергетичні установки"

Тип судна _____

Виконавець: студент _____ групи _____

Зміст курсової роботи

Вступ

1. Стисла інформація про судно
2. Загальні відомості про енергетичну установку
3. Розташування приміщень енергетичної установки на судні
4. Основне комплектуюче устаткування суднової енергетичної установ-

ки:

- 4.1. Головний двигун
- 4.2. Головні суднові передачі, муфти, валопроводи та рушій
- 4.3. Суднова електростанція
- 4.4. Допоміжна та утилізаційна котельні установки
- 4.5. Опріснювальна установка
5. Структурна схема енергетичної установки
6. Режими роботи судна та суднової енергетичної установки
7. Розрахунок потоків енергії в СЕУ на основних режимах роботи

Керівник _____

Завдання видано " _____ " _____ 200 р.

Термін виконання " _____ " _____ 200 р.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. *Артемюв Г.А., Горбов В.М.* Суднові енергетичні установки: Навч. посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.
2. *Артемюв Г.А., Горбов В.М., Романовский Г.Ф.* Судовые установки с газотурбинными двигателями: Учеб. пособие. – Николаев: УГМТУ, 1997. – 233 с.
3. *Горбов В.М., Шаповалов Ю.А., Кирчев Г.Г.* Выбор показателей энергетической установки, характеристик СЭУ и судна на начальных стадиях проектирования судов транспортного флота: Учеб. пособие – Николаев: УГМТУ, 1997. – 140 с.
4. *Горбов В.М., Шаповалов Ю.О., Ратушняк І.О.* Головні двигуни сучасних транспортних суден: Навч. посібник. – Миколаїв : УДМТУ, 1998. – 72 с.
5. Збірник тестів з суднових енергетичних установок: Навч. посібник / *В.М. Горбов, Т.Г. Слаутіна, В.Ф. Івачов, О.В. Січкарюк.* – Миколаїв: УДМТУ, 2004. – 56 с.
6. *Кузнецов В.А.* Судовые ядерные энергетические установки. Конструкции, особенности эксплуатации: Учебник. – Л.: Судостроение, 1989. – 252 с.
7. *Курзон А.Г., Юдовин В.С.* Судовые комбинированные энергетические установки. – Л.: Судостроение, 1981. – 213 с.
8. *Лебедь Н.Г., Слаутина Т.Г.* Анализ системных связей СЭУ: Учеб. пособие. – Николаев: НКИ, 1992. – 48 с.
9. *Романовский Г.Ф., Горбов В.М., Шаповалов Ю.А.* Эколого-экономическая эффективность судовых энергетических установок: Учеб. пособие. – Николаев: НКИ, 1992. – 51 с.
10. Судовые энергетические установки / *Г.А. Артемюв, В.П. Волошин, А.Я. Шквар* и др. – Л.: Судостроение, 1986. – 476 с.

Допоміжна

11. *Горбов В.М.* Применение водотопливных эмульсий в судовой энергетике: Учеб. пособие. – Николаев: НКИ, 1991. – 54 с.
12. *Курзон А.Г., Маслов А.А.* Судовые турбинные установки. – Л.: Судостроение, 1991. – 192 с.
13. *Овсянников М.К., Петухов В.А.* Судовые автоматизированные установки: Учебник. – М.: Транспорт, 1989. – 256 с.
14. *Овсянников М.К., Петухов В.А.* Судовые дизельные установки: Справочник. – Л.: Судостроение, 1986. – 424 с.

15. Правила класифікації та побудови морських суден: Регістр судноплавства України. – К., 2002. – Т. 3 – 359 с.

16. *Ракицкий Б.В.* Судовые ядерные энергетические установки. – Л.: Судостроение, 1976. – 382 с.

17. *Ривкин С.Л., Александров А.А.* Термодинамические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1975. – 78 с.

18. Системы судовых энергетических установок: Учеб. пособие / *Г.А. Артемов, В.П. Волошин, А.Я. Шквар, В.П. Шостак.* – Л.: Судостроение, 1990. – 376 с.

19. Судовое вспомогательное энергетическое оборудование: Учебник / *Р.С. Андрющенко, В.Д. Шилов, Б.Г. Дементьев* и др. – Л.: Судостроение, 1991. – 392 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Загальні методичні рекомендації	5
2. Тематичний план дисципліни "Суднові енергетичні уста- новки"	6
3. Зміст дисципліни та рекомендації до її вивчення	7
4. Склад контрольних робіт та варіанти завдань	14
5. Курсова робота: склад, завдання, теоретичні положення, приклади розрахунків	23
5.1. Склад курсової роботи.....	23
5.2. Перетворення енергії в СЕУ	23
5.3. Потoki енергії в СЕУ	26
5.4. Приклад розрахунків потоків теплоти та ефективності роботи СЕУ	35
Додаток	49
Список літератури	50

**ГОРБОВ Віктор Михайлович
СЛАУТІНА Тамара Геннадіївна
СІЧКАРЮК Олександр Володимирович**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ
"СУДНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ"**
для студентів заочної форми навчання

Видавництво НУК, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5
Свідцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК№ 1150 від 12.12.2002р.

Редактор І.Ю. Цицюра
Комп'ютерна правка та верстка Т.М. Чередніченко
Коректор Н.О. Шайкіна

Підписано до друку 09.03.04. Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 3,1. Обл.-вид. арк. 3,3. Тираж 300 прим. Вид. № 39.
Зам. № 11. Ціна договірна.