МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Суднові енергетичні системи та комплекси»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

щодо вивчення дисципліни «Суднові турбінні установки» для студентів заочної форми навчання

Спеціальність: 271 «Морський та внутрішній водний транспорт»

Спеціалізація: 271.02 «Управління судновими технічними системами і комплексами»

Одеса-2026

Програма, методичні вказівки по вивченню дисципліни «Суднові турбінні установки» і контрольні завдання по виконанню самостійної роботи на практичних заняттях з цієї дисципліни складені старшим викладачем кафедри «Суднові енергетичні системи та комплекси» Клінаєвим Юрієм Васильовичем згідно з навчальним планом для студентів заочної форми навчання.

Програма, методичні вказівки і контрольні завдання для студентів заочної форми навчання схвалені на засіданні кафедри СЕСК ОНМУ (протокол № 25 від 01.06.2026р.).

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Згідно з кваліфікаційною характеристикою Спеціальність: 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» і Міжнародної Конвенції з підготовки та дипломуванню моряків і несенню вахт ПДНВ 78/95 (док. 2, част. А, гл. 111) метою та завданням викладання дисципліни «Суднові турбінні установки» є:

Мета:

- надати студентам необхідні теоретичні знання про склад суднових турбінних установок, принципи їх роботи та перспективи розвитку;
- закріплення технічних навиків безаварійної технічної експлуатації суднових турбінних установок відповідно з діючою проектно-конструкторською документацією експлуатації та ремонту;
- дати студентам необхідні теоретичні знання з проектування суднових турбінних установок.

Завдання:

Навчити студентів аналізувати:

- конструкції турбоустановок, пояснювати конструктивні зміни, виконувати графічне зображення турбін;
- основні несправності суднових турбоагрегатів, причини їх появи та наслідки під час експлуатації;
- ефективність роботи і вплив різних показників на параметри роботи суднових турбінних установок.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- схеми основних суднових парових та газотурбінних установок і турбоагрегатів, принципи їхньої дії;
- конструктивний устрій суднових парових і газових турбін і лопаткових компресорів, а також систем, що забезпечують їхню роботу;
- термінологію і назви вузлів і елементів. вхідних до складу суднових турбоустановок і турбоагрегатів;
- основні правила технічного використання і технічного обслуговування суднових турбоагрегатів;
- основні несправності та засоби їх усунення в період технічної експлуатації суднових турбоагрегатів.

вміти:

- виконувати основні операції при технічному використанні і технічному обслуговуванні суднових турбінних агрегатів;
- виконувати теплові розрахунки багатоступінчатих парових і газових турбін по індивідуальному завданню.

Навчальна робота з вивчення дисципліни передбачає самостійну роботу над літературою, обзорні лекції, виконання лабораторних робіт і контрольної роботи на практичному занятті, а також РГЗ.

2. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок енергетичного балансу ГТН суднового ДВС: - розрахунок вхідного пристрою компресора; - розрахунок робочого колеса компресора; - розрахунок безлопаточного дифузору; - розрахунок лопаточного дифузору; - розрахунок вихідного пристрою компресора.	3
2.	Тепловий розрахунок одноступеневої газової турбіни. Особливості експлуатації агрегатів ГТН суднових ДВС. Конструкція ГТН фірми «Броун-Бовері» VTR-630. Розрахунок утилізаційного котла.	3
	Разом:	6

4. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Загальна будова суднових турбоагрегатів.	1
2.	Конструкція корпусів і роторів турбомашин.	0,5
3.	Конструкція діафрагм та ущільнень турбомашин.	0,5
4.	Конструкція опорних і упорних підшипників.	0,5
5.	Конструкція проточної частини турбін.	0,5
6.	Конструкція газотурбінних двигунів.	0,5
7.	Конструкція систем, що обслуговують ПТУ та ГТУ.	0,5
8.	Основи технічної експлуатації турбін.	2
	Разом:	6

3. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Парові та газотурбінні установки. Основні елементи. Ефективність роботи.	6
2.	Принцип дії ступені турбомашин	7
3.	Конструкція суднових турбоагрегатів	9
4.	Основні закономірності течії стисливої рідини.	5
5.	Перетворення енергії в соплах.	5
6.	Перетворення енергії в робочих каналах.	6

7.	Втрати в ступенях турбін.	6
8.	Процес у багатоступінчастих турбінах.	6
9.	Основні задачі технічної експлуатації. Технічне використання. і обслуговування.	12
10	Системи суднових турбінних агрегатів. Основні несправності. Регулювання потужності турбін.	6
	Разом:	68

5. Індивідуальні завдання

1. Контрольна робота за темою:

- «Варіант 1-тепловий розрахунок одноступінчастої парової турбіни»;
- «Варіант 2-розрахунок параметрів циклу ГТУ»;
- «Варіант 3- тепловий розрахунок газової турбіни».

Контрольна робота виконується студентами самостійно згідно з методичними вказівками за індивідуальним завданням по одному з трьох варіантів.

6. Рекомендована література

1. Клінаєв Ю.В. Конспект лекцій з дисципліни «Суднові турбінні установки» - Одеса: ОНМУ, 2023.

2. Клінаєв Ю.В., Козловський С.В. «Суднові турбінні установки та їх експлуатація.» Методичні вказівки до виконання РГЗ/- Одеса: ОНМУ, 2022, 32 с.

3. Клінаєв Ю.В., Сторчак О.О. «Суднові турбінні установки та їх експлуатація» Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт /- Одеса: ОНМУ, 2021, 74 с.

4. Артемов Г.А., Горбов В.М. «Суднові енергетичні установки» Навчальний посібник - Миколаїв: УДМТУ, 2002. - 356 с.

2. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. «Сучасні газотурбінні агрегати.» - Миколаїв, :НУК, 2005. - 344 с.

7. Загальні методичні рекомендації

Приступаючи до вивчення дисципліни "Суднові турбінні установки" студенту слід усвідомити, що турбіна і компресор являють собою машини, за допомогою яких здійснюються корисні перетворення енергії, а ці перетворення в турбомашинах повинні протікати з найменшими втратами.

Тому для проектування економічних турбомашин та ефективної їх експлуатації необхідно в першу чергу глибоко вивчити і зрозуміти фізичну сутність процесів, що відбуваються в проточній частині цих машин.

Дисципліна "Суднові турбінні установки та їх експлуатація" вивчається студентами-заочниками шляхом самостійної роботи з навчальною літературою, виконуючи контрольну роботу і курсовий проект.

У період сесії студентам читається оглядовий курс лекцій і ними виконуються лабораторні роботи та самостійна контрольна робота на практичному занятті.

Для підготовки до виконання контрольної роботи на практичному занятті рекомендується заздалегідь виконати розрахунки по одному з варіантів контрольних завдань, наведених у даному методичному керівництві. У процесі вивчення матеріалів з дисципліни студент може отримати консультацію викладача.

Дисципліну рекомендується вивчати в послідовності згідно з розподілом програмного матеріалу по розділах і темах. Досліджуваний матеріал рекомендується конспектувати, вносячи в конспект основні положення досліджуваного розділу і супроводжуючи їх необхідними ескізами і графіками.

Для полегшення вивчення дисципліни до кожного розділу надані методичні вказівки, наведені сторінки рекомендованої літератури та питання для самоперевірки. Курсовий проект виконується за індивідуальним завданням, що видається на кафедрі СЕУ і ТЕ, і оформляється відповідно до вимог, які визначені в методичних вказівках на виконання цього проекту. До іспиту з дисципліни студент допускається після отримання заліку з контрольної роботи, лабораторного практикуму і після захисту курсового проекту.

8. Програма та методичні вказівки за розділами навчальної дисципліни

Розділ 1. Теорія і конструкція турбомашин.

Тема 1. Парові та газотурбінні установки. Основні елементи. Ефективність роботи.

Схеми і склад простих ПТУ і ГТУ. Вплив основних параметрів на ефективність цих установок. Основні типи ступенів турбін і принцип їхньої дії. Схеми конструктивного устрою турбомашин і їхніх основних елементів.

Суднові парові та газотурбінні установки. Основні елементи і їхнє призначення. Ефективність роботи і вплив на неї основних параметрів.

Тема 2. Принцип дії ступені турбомашин.

Принцип дії ступенів турбомашин. Активний і реактивний принципи дії. Типи ступенів і принцип їхньої дії. Принцип дії багатоступінчастих турбомашин.

Тема 3. Конструкція суднових турбоагрегатів.

Конструкція суднових турбоагрегатів і турбомашин. Лабораторні роботи з вивчення конструктивного елементів турбомашин.

Процеси перетворення енергії і втрати в соплових і робочих каналах турбомашини, робочий процес у багатоступінчатій турбіні.

Тема 4. Основні закономірності течії стисливої рідини.

Основні закономірності течії стисливої рідини. Повні параметри. Швидкість витікання. Критичні швидкість і параметри. Залежність швидкості потоку від зміни площі поперечного перерізу каналу. Витрата при витіканні.

Тема 5. Перетворення енергії в соплах

Перетворення енергії в соплах. Процес витікання теоретичний і дійсний. Облік утрат. Косий зріз сопла. Процес у соплах на IS-діаграмі.

Методичні вказівки

Вивчаючи тему 1 необхідно усвідомити призначення елементів турбоустановок і зрозуміти фізичну суть процесів які в них відбуваються. Звернути увагу на відмінності в структурах ПГУ і ГТУ та на відмінності термодинамічних властивостей застосовуваних у них робочих тіл. Слід розібратися, як впливають визначальні параметри на економічність турбоустановок.

При вивченні теми 2 потрібно зрозуміти особливості активного і реактивного принципу перетворення енергії в елементах проточної частини ступенів турбомашини (турбіни і компресора).

Тема 3 вивчається при виконанні лабораторних робіт. При вивченні конструктивного пристрою елементів турбомашин слід звернути увагу на призначення та умови їх роботи. Детально ознайомитися з особливостями будови і призначенням діафрагм, ущільнень, опорних та упорних підшипників турбомашин. Призначення, матеріали та способи виготовлення основних елементів парових і газових турбін.

Для успішного освоєння матеріалу за темами 4-5 необхідне знання розділів термодинаміки, пов'язаних з процесами розширення, стиснення, витікання пару. Потрібно так само набути навичок в розрахунках за допомогою I - S-діаграми, у визначенні за допомогою трикутників швидкостей кутів і швидкості виходу потоку з сопел і робочих каналів.

Необхідно так само усвідомити умови, при яких турбінна ступінь буде мати найбільшу ефективність.

Розділ 2. Процес у робочому каналі та технічна експлуатація.

Тема 6. Перетворення енергії в робочих каналах.

Перетворення енергії в робочих каналах. Вхідний і вихідний трикутники швидкостей. Процес у робочому каналі. Облік втрат. Силовий вплив потоку робочого тіла на робочі лопатки (формула Ейлера). Процес у ступені на IS-діаграмі. Визначення розмірів сопел і робочих лопаток.

Тема 7. Втрати в ступенях турбін.

Втрати в ступенях турбіни. Втрати внутрішні і зовнішні. Втрати окружні і камерні.

Тема 8. Процес у багатоступінчатих турбінах.

Процес у багатоступінчатих турбінах. Особливості умов роботи проміжної ступені. Окружний і внутрішній ККД.

Використання вихідної енергії. Характеристика ступені. Вплив основних параметрів на ККД ступені. Внутрішній, зовнішній і ефективний ККД турбоагрегату.

Тема 9. Основні задачі технічної експлуатації.

Технічне використання і обслуговування. Основи технічної експлуатації турбоагрегатів. Технічне використання, технічне обслуговування суднових турбоагрегатів.

Тема 10. Системи суднових турбінних агрегатів. Основні несправності. Регулювання потужності турбін.

Основні задачі технічної експлуатації. Технічне використання турбоагрегатів. Технічне обслуговування суднових турбоагрегатів Основні несправності і неполадки суднових турбоагрегатів і способи їх усунення.

Способи регулювання потужності турбіни. Дросельне, соплове і змішане регулювання потужності.

Робота турбіни без окремих ступенів. Робота турбіни без робочих лопаток: регулювальної ступені, проміжної й останньої ступені. Робота турбіни без діафрагми однієї ступені.

Методичні вказівки

Для кращого засвоєння матеріалу по темі 6 - 8 рекомендується в міру її опрацювання виконувати відповідні розділи РГЗ.

Для вивчення теми 9 в рекомендованій літературі матеріалу досить багато. Однак специфіка цього розділу вимагає для його грунтовного вивчення практичного знайомства з експлуатацією суднових турбоустановок.

Вивчаючи тему 10 необхідно докладно ознайомитися з особливостями будови і призначенням систем, що обслуговують роботу турбомашин.

Визначити особливості різних способів регулювання потужності турбін, основні несправності і неполадки суднових турбоагрегатів і способи їх усунення.

РГЗ «Приблизний розрахунок турбонагнітача суднового дизеля» виконується згідно з методичними вказівками до виконання розрахунково- графічної роботи.

Питання для самоперевірки:

1. З яких основних елементів складається ПТУ і ГТУ?
2. Яке призначення основних елементів ПТУ і ГТУ?
3. Які фактори впливають на економічність ПТУ і ГТУ і яким чином?
4. Які перетворення енергії відбуваються в турбіні?
5. Які типи ступенів застосовують в суднових турбінах?
6. З яких елементів складається ступень турбіни?
7. Як змінюються тиск і швидкість робочого тіла в проточній частині активної ступені?
8. Чим відрізняється принцип дії реактивної ступені від принципу дії активної ступені?
9. Як змінюється тиск і швидкість робочого тіла в проточній частині багатоступеневих турбін і компресорів?
10. З яких основних елементів складається паротурбінна установка і яке їх призначення?
11. З яких основних елементів складається газотурбінна установка і яке їх призначення?
12. З яких основних частин складається паротурбінний агрегат і яке їх призначення?

13. Конструктивна відмінність активних і реактивних турбін.
14. Призначення корпусів і роторів турбіни і їх конструкція.
15. Призначення опорних і упорних підшипників? Їх конструкція?
16. Як встановлюються діафрагми в корпусах турбін? Їх конструкція?
17. Призначення і принцип роботи ущільнень.
18. Як влаштований газотурбінний двигун? Які типи ГТД застосовуються на морських суднах?
19. Визначити теоретичну і дійсну швидкості витікання пару із сопла за умови: тиск і температура перед соплом P_0 = 1,0 МПа, t_0 = 250 °С, тиск за соплом P_1 = 0,6 МПа, швидкість пару на вході в сопло: а) C_0 = О м/с; б) C_0 = 200 м/с.
20. За наведеними вище даними визначте критичну швидкість пару.
21. За вихідними даними п. 19 визначте витрату через суживающееся сопло за умови, що площа його вихідного перерізу дорівнює F_C = 0,05м^2, а тиск за соплом: а) P_1 = 0,8 МПа; б) P_1 = 0,4 МПа.
22. Визначте за даними п. 1 стан пару на виході з сопла, прийнявши швидкісний коефіцієнт сопла рівним φ_C = 0,95.
23. Яка форма сопла необхідна для розширення потоку, якщо відношення тисків а) P_1/P_0 - менше $P_{КР}$; б) P_1/P_0 - більше $P_{КР}$?
24. Як впливає косий зріз сопла на процес розширення пару?
25. Якими геометричними параметрами характеризується решітка профілів лопаток?
26. Призначення лопаточного і дротяного бандажа.
27. Конструктивна схема осьового компресора.
28. Види осьових компресорів.
29. Призначення та конструкції камер згоряння ГТУ.
30. Призначення, конструкція та вимоги до регенераторів ГТД.
31. Призначення та конструкція повітроохолоджувачів ГТД.
32. Призначення та конструкція корпусів та роторів ГТД.
33. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів системи прогрівання турбін.
34. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів системи продування турбін.
35. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів системи ущільнення і відсмоктування пари від зовнішніх ущільнень турбін.
36. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів гравітаційної системи змащення ГТЗА
37. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів циркуляційної системи змащення ГТД
38. Призначення, принцип дії системи водяного і повітряного охолодження та системи запуску ГТУ.
39. Обслуговування паротурбінного агрегату
40. Підготовка паротурбінного агрегату до дії.
41. Прогрівання турбін.
42. Пуск і обслуговування турбоагрегату під час роботи.
43. Управління при маневруванні. Зупинка турбіни та виведення з дії.
45. Догляд за турбінної установкою під час її бездіяльності.

9. Методичні вказівки по виконанню самостійної контрольної роботи

Самостійна контрольна робота з дисципліни «Суднові турбінні установки» виконуються на практичних заняттях відповідно індивідуальним завданням по одному з трьох варіантів.

Варіант 1 передбачає тепловий розрахунок одноступінчастої парової турбіни.

Варіант 2 - розрахунок параметрів циклу ГТУ.

Варіант 3 - тепловий розрахунок газової турбіни.

Виконання контрольних робіт є ефективним способом закріплення теоретичних знань по курсу.

Для успішного виконання контрольної роботи студент повинен вивчити наступні теоретичні положення курсу: окружний і внутрішній ККД ступені, фактори, які впливають на їх значення, побудова процесу на IS-діаграмі, розширення пара в косому зрізі сопла, залежність форми сопла від ставлення тиску після і до сопла, визначення геометричних розмірів решіток, повторити розділи термодинаміки, які пов'язані з закономірностями адіабатного процесу ідеального газу.

Робота повинна виконуватися з обов'язковим дотриманням правил ЕСКД на стандартних аркушах 210х297мм з нумерацією сторінок. Графіки та малюнки повинні мати номер і написи. У розрахунку повинні бути наведені значення всіх вхідних у формули величин.

Розрахунки робляться, як це прийнято в інженерній практиці, в табличній формі за методикою, викладеною в таблицях 1 - 4 (варіант I); таблицях 5 - 6 (варіант 2) і таблиці 7 (варіант 3).

Варіант 1. Тепловий розрахунок одноступеневої парової турбіни

Таблиця 1

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Чисельне значення
1.Потужність турбіни	N_e	кВт	*Задано*	120
2.Тиск пара перед соплами турбіни	P_o	МПа	*Задано*	1,30
3.Температура пара перед соплами турбіни	t_o	°С	*Задано*	290
4.Тиск пара за турбіною	P_2	МПа	*Задано*	0,23
5. Наявний теплоперепад на турбіну	H_{at}	кДж/кг	*по IS-діаграмі*	367
6.Теоретична швидкість витікання пара із сопел	C_{1t}	м/с	$C_{1t} = \sqrt{2H_{at}}10^{-3}$	856
7.Дійсна швидкість витікання пара із сопел	C_1	м/с	$C_1 = \varphi C_{1t}$	771
8. Швидкісний коефіцієнт сопел	φ	м/с	*Приймають:* $\varphi = 0{,}90 \div 0{,}95$	0,9
9.Кут виходу потоку із сопел	α	град	*Приймають:* $\alpha = 10 \div 12^0$	10
10. Швидкісний коефіцієнт робочих лопаток	ψ	-	*Приймають:* $\psi = 0{,}90 \div 0{,}95$	0,9
11.Втрата в соплах	q_c	кДж/кг	$q_c = (1 - \varphi^2)\, h_a$	69,7
12.Питомий об’єм пара на виході із сопел	v_1	м^3/кг	*по IS-діаграмі*	0,192
13.Частота обертання ротора	n	об/хв	*Приймають:* $n = 10000 \div 15000$ *об/хв*	10000
14.Ефективний ККД турбіни	η_e	-	$\eta_e = (0{,}5 \div 0{,}6)$ *см.п.1 Указаний*	0,5
15.Витрата пара через турбіну	G	кг/с	$G = N_e / h_a\, \eta_e$	0,65
16.Висота сопел	L_C	м	*Приймають:* $L_C = 0{,}01 \div 0{,}02$ *м*	0,01
17.Висота робочих лопаток	$L_Л$	м	$L_Л = L_C + \Delta L$ $\Delta L = 0{,}002 \div 0{,}003$*м*	0,012

Визначення оптимальної характеристики ступені

Таблиця 2

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Чисельне значення
1.Характеристика ступені	v	-	*Приймається в межах від 0,1 до 0,6 з кроком 0,1*	0,3
2.Окружний ККД	η_u	-	$\eta_u = 2\varphi^2 \frac{u}{C_1}\left(Cosa_1 - \frac{u}{C_1}\right)\left(1+\psi\frac{Cos\beta_2}{Cos\beta_1}\right)$ Для активної ступені $\beta_2 = \beta_1$	0,66
3.Окружна швидкість на середньому діаметрі	u	м/с	$u = v\,C_{1t}$	256,8
4.Середній діаметр ступені	D	м	$D = \frac{60u}{\pi \cdot n}$	0,49
5.Ступінь парціальності	ε	-	$\varepsilon = \frac{G v_1}{\pi D L_C C_1 Sina_1}$	0,05
6. Потужність втрат на тертя та вентиляцію	N_{TB}	кВт	$N_{TB} = \left[D^2 + 0{,}4(1-\varepsilon)D(100L_л)^{1{,}5}\right]\left(\frac{u}{100}\right)^3 \frac{1}{v_2}$	42,7
7. Коефіцієнт втрат на тертя та вентиляцію	ξ_{TB}	-	$\xi_{TB} = \frac{N_{TB}}{Gh_a}$	0,17
8.Внутрішній ККД	η_i	-	$\eta_i = \eta_u - \xi_{TB}$	0,118

За даними таблиці 2 на міліметровому папері будують графіки залежностей

$\eta_u = F(v)$ и $\eta_i = f(v)$

за якими за найбільшим значенням η_i визначається оптимальне значення характеристики ступені v_{onT}.

Тепловий розрахунок одноступеневої парової турбіни активного типу

Таблиця 3

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Чисельне значення
1.Оптимальне значення характеристики ступені	v_{onT}	-	*по графіку* $\eta_i = \varphi(v)$	0,3
2. Відносна швидкість та кут входу в робочий канал	W_1	м/с	*із вхідного трикутника швидкостей*	520
	β_1	град.		14,9
3. Відносна та абсолютна швидкості виходу потоку з робочих каналів	W_2	м/с	$W_2 = \psi W_1$ *із вихідного трикутника швидкостей*	468
	C_2	м/с		228,1
4.Втрати: – на робочих лопатках	$q_л$	кДж/кг	$q_л = (1 - \varphi^2)(0{,}5\ W_1^2)\ 10^{-3}$	25,5
– с вихідною швидкістю	q_a	кДж/кг	$q_a = (0{,}5\ C_2^2)\ 10^{-3}$	26,02
5.Окружний ККД:		-	$\eta_u = \frac{2u(C_{2u} \pm C_{1u})}{C_0^2}$	
– по трикутниках швидкостей	η_u	-	*при* $\alpha_2 > 90°$ "+" *при* $\alpha_2 < 90°$ "-"	0,49
– по втратам	η_u	-	$\eta_u = \frac{h_a - (q_c + q_л + q_a)}{h_a}$ *Різниця значень окружного ККД* $\Delta\eta = \eta_u - \eta_u$ *не повинна перевищувати величини* $\pm 0{,}02$	0,66
6. Втрати на тертя та вентиляцію	N_{TB}	кВт	$N_{TB} = \left[D^2 + 0{,}4(1-\varepsilon)D(100L_л)^{1,5}\right]\left(\frac{u}{100}\right)^3 \frac{1}{\nu_2}$	42,7

7. Коефіцієнт втрати на тертя та вентиляцію	ξ_{TB}	-	$\xi_{TB} = \frac{N_{TB}}{Gh_a}$	0,17
8.Внутрішній ККД турбіни	η_i	-	$\eta_i = \eta_u - \xi_{TB}$	0,118
9.Ефективний ККД турбіни	η_e	-	$\eta_e = \eta_i \, \eta_м$ *де:* $\eta_м$*=0,9…0,93*	0,106
10.Уточнена витрата пара	G	кг/с	$G = N_e / h_a \, \eta_e$	3,08

Визначення розмірів проточної частини турбіни активного типу

Таблиця 4

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Чисельне значення
1.Відношення тисків	m	-	$m = \frac{P_2}{P_0}$	
2. Кут виходу потоку із косого зрізу сопла	a'_1	град.	*Див. Вказівки, п.4 формулу (3)*	
3. Кут відхилення потоку в косому зрізі сопла	θ	град.	$\theta = a'_1 - a_1$	
4.Тип сопла	-	-	*Див. Вказівки, п.5*	
5.Число сопел	z	шт.	*Див. Вказівки, п.6*	
6.Висота сопла	L_C	м	$L_C = \frac{G\nu_1}{\pi D C_1 Sin a_1}$	

7.Перетин одного сопла – мінімальне	f_{min}	м^2	$f_{\min} = \dfrac{G}{z \cdot 0{,}648 \cdot 10^3 \sqrt{p_0 / v_0}}$	
– максимальне	f_{max}	м^2	$f_{\max} = \dfrac{G v_1}{2C_1}$	
8.Ширина одного сопла – мінімальна	b_{min}	м	$b_{min} = f_{min} / L_C$	
– максимальна	b_{max}	м	$b_{max} = f_{max} / L_C$	
9. Довжина розбіжної частини сопла	l	м	$l = \dfrac{b_{\max} - b_{\min}}{2tg(0{,}5\gamma)}$ де: $\gamma = (6 \div 16)^o$	
10.Висота робочих лопаток	$L_л$	м	$L_л = \dfrac{G v_2}{\pi D w_2 Sin\beta_2}$	

Вказівки до теплового розрахунку парової турбіни

1. Ефективний ККД попередньо приймається в межах η_e = (0,5 ÷ 0,6), а потім уточнюється наприкінці теплового розрахунку. Якщо отримане значення η_e відрізняється від прийнятого у п.13 таблиці 1, то уточнюється значення витрати пара (см. п.10 табл. 3).

2. Окружний ККД визначається за формулою (1):

$$\eta_u = 2\varphi^2 \frac{u}{c_1}\left(\cos\alpha_1 - \frac{u}{c_1}\right)\cdot\left(1+\psi\frac{\cos\beta_2}{\cos\beta_1}\right) \qquad (1.)$$

- для активного ступеня приймають $\beta_2 = \beta_1$.

3. Втрата потужності на тертя та вентиляцію може бути оцінена за формулою (2)

$$N_{TB} = \left[D^2 + 0{,}4(1-\varepsilon)D(100L_л)^{1,5}\right]\cdot\left(\frac{u}{100}\right)^3\frac{1}{\nu_2} \qquad (2.)$$

4. Якщо відношення тисків $m > m_{кр}$, то визначення кутів виходу потоку з косого зрізу сопла виконується за формулою:

$$\alpha_1^{'} = arcSin\cdot\left(\frac{C_{KP}\nu_C}{C_1\nu_{KP}}Sina_1\right), \quad \text{де} \quad C_{кр} = \sqrt{2ha_{кр}}10^3 \qquad (3.)$$

$h_{акр}$ і $\nu_{кр}$ визначаються за IS-діаграмою от p_0 до $p_{кр} = p_0\, m_{кр}$;
$m_{кр} = 0{,}546$ - для перегрітої пари; $m_{кр} = 0{,}577$ - для насиченої пари.

5. Якщо $\theta > (3...5)^0$, то застосовуються розбіжні сопла.

6. Кількість сопел Z приймається таким, щоб ширина сопла була не меншою $b_{min} > 0{,}005м$.

7. У пояснювальній записці до виконаної роботи необхідно привести зображення процесу на IS-діаграмі, цикл у TS-діаграмі та ескізи проточної частини із зазначенням розмірів висоти сопел та робочих лопаток, а також кутів α_1, β_1, β_2, α_2.

Варіант № 2. Визначення показників ГТУ простого циклу

Таблиця 5

Найменування параметрів		Позна-чення	Розмір-ність	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Чисельне значення
1.	Витрата палива	G_T	кг/ч	Задана	
2.	Марка палива чи теплотворність	$Q_н^р$	$\frac{кДж}{кг}$	Задана	
3.	Температура газу перед турбіною	t_3	°С	Задана	
4.	Температура повітря перед компресором	t_1	°С	Задана	
5.	Внутрішній ККД турбіни	η_T	-	Задан	
6.	Внутрішній ККД компресора	η_k	-	Задан	
7.	Коефіцієнт втрати напору	ν	-	Задан	
8.	Механічний ККД турбіни	$\eta_{мT}$	-	Задан	
9.	Механічний ККД компресора	$\eta_{мk}$	-	Задан	
10.	ККД камери згоряння	η_{kc}	-	Задан	
11.	Ступінь підвищення температури	τ	-	$\tau = \frac{T_3}{T_1} = \frac{t_3 + 273}{t_1 + 273}$	
12.	Оптимальний за ККД ступінь підвищення тиску	ε_η	-	по формулі (1)	
13.	Дійсна температура повітря в кінці його стиснення	T_2	К	$T_2 = T_1 + T_1 \cdot \left(\varepsilon_\eta^{\ m} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\eta_k}$	
14.	Дійсна робота, витрачена на стиск 1кг повітря	$L_к$	$\frac{кДж}{кг}$	по формулі (2)	
15.	Коефіцієнт надлишку повітря у камері згоряння	α	-	по формулі (3)	
16.	Ступінь розширення газу в турбіні	δ	-	$\delta = \frac{\varepsilon_\eta}{\nu}$	

Продовження таблиці 5

Найменування параметрів		Позначення	Розмірність	Розрахункова формула чи спосіб визначення	Чисельне значення
17.	Дійсна температура газу наприкінці його розширення	T_4	К	$T_4 = T_3 - T_3\left(1 - \frac{1}{\delta^{m_1}}\right)$	
18.	Дійсна робота 1кг газа в турбіні	L_T	$\frac{кДж}{кг}$	$L_T = \frac{R_г \cdot T_3 \cdot \eta_T}{m_1}\left(1 - \frac{1}{\delta^{m_1}}\right)$	
19.	Внутрішній ККД ГТУ	η_i	-	$\eta_i = \frac{L_T - L_k}{C_{pг} \cdot t_3 - C_{pв} \cdot t_2}$	
20.	Ефективний ККД ГТУ	η_e	-	$\eta_e = \eta_i\, \eta_{мT}\, \eta_{мk}\, \eta_{kc}$	
21.	Відношення потужностей турбіни та компресора	λ	-	$\lambda = \tau\, \eta_T\, \eta_k\, \varepsilon_\eta^{-m}$	
22.	Питома витрата палива	b_e	$\frac{кг}{кВт \cdot ч}$	$b_e = \frac{3600}{Q_н^p \cdot \eta_e}$	
23.	Витрата газу на турбіну	Gr	кг/с	$G_r = \frac{G_T \cdot Q_н^p \cdot \eta_{кс}}{3600 \cdot C_{pг} \cdot (T_3 - T_4)}$	
24.	Ефективна потужність ГТУ	N_e	кВт	$N_e = G_r\, c_{pг}\, (t_3 - t_4)\, \eta_e$	

Характеристика рідких палив

Таблиця 6

Марка палива	Елементарний склад, %						Тепло-творність МДж/кг
	C^P	H^P	O^P	S^P	A^P	W^P	
Мазут 40:							
малосірчастий	86	10,67	0,69	0,65	0,15	2	39,8
сірчастий	84,6	10,6	0,69	10,96	0,15	2	39,4
високосірчастий	83,3	10,49	0,69	3,4	0,15	2	39,2
Мазут флотський:							
Ф-12	85,5	12,07	0,49	0,79	0,15	1	40,9
Ф-5	84,4	12,26	0,3	1,98	0,1	1	40,9
Паливо моторне	85,1	12,5	0,49	0,39	0,05	1,5	41,4
Паливо дизельне	86,3	13,3	0,1	0,3	0,01	0	42,7

Вказівки до розрахунку параметрів циклу ГТУ

1. Оптимальний за ККД ступінь підвищення тиску визначається із формули (1):

$$\varepsilon_\eta = \left\{ \frac{\tau\eta_T}{1-\tau(1-\eta_T)} - \sqrt{\left[\frac{\tau\eta_T}{1-\tau(1-\eta_T)}\right]^2 - \frac{\tau\eta_T}{1-\tau(1-\eta_T)}\left[1+(\tau-1)\eta_к\right]} \right\}^{\frac{1}{m}}, \qquad (1)$$

де: $m = \frac{к-1}{к}$; к=1,4 – показник адіабати для повітря.

2. Дійсна робота, витрачена на стиск 1кг повітря:

$$L_k = \frac{1}{m} R_B T_1 (\varepsilon_\eta{}^m - 1) \frac{1}{\eta_k} \frac{G_B}{G_r}, \qquad (2)$$

де: R_B = 0,2871 кДж/(кг·К) – газова постійна для повітря;

$\frac{G_B}{G_r}$ =1,01…1,02 – відношення вагових витрат повітря та газу.

3. Коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{Q_H^P \eta_{кс} - \left(C_{ртг}\right)_{273}^{T_3} t_3}{L_0\left[\left(C_{ртг}\right)_{273}^{T_3} t_3 - \left(C_{ртв}\right)_{273}^{T_2} t_2\right]}, \qquad (3)$$

Середня теплоємність продуктів згоряння визначається за формулою:

$$\left(C_{ртг}\right)_{273}^{T_3} = 0{,}9718 + \frac{0{,}0414}{\alpha} + \left(\frac{0{,}0536}{\alpha} + 0{,}0927\right)\frac{T_3}{1000}, \qquad (4)$$

Тут необхідно спочатку поставити в першому наближенні значення коефіцієнта надлишку повітря α = (4…6), обчислити $C_{ртг}$ ы по формулі (4) уточнити значення α. При необхідності розрахунок повторюють у другому наближенні, приймаючи значення α, отримане з формули (4).

Відхилення між прийнятим та отриманим значенням α не повинно перевищувати ± 5%.

Середня теплоємність повітря визначається за формулою:

$$\left(C_{ртв}\right)_{273}^{T_2} = 0{,}9718 + 0{,}0927\frac{T_2}{1000},$$

Q_H^P - визначається за даними таблиці (2) залежно від заданого сорту палива,

L_0 - теоретична кількість повітря, необхідне для згоряння 1кг палива, кг/кг.

$$L_0 = 0{,}115\ (C^P + 0{,}375\ S^P) + 0{,}345\ H^P - 0{,}0431\ O^P,$$

Значення C^P, S^P, H^P і O^P визначаються за таблицею 2.

4. Значення показника m_1 визначаються по формулі:

$$m_1 = \frac{k_1 - 1}{k_1}, \text{ де } k_1 = \frac{1}{1 - R_г / C_{рг}};$$

- газова постійна продуктів згоряння $R_г$ = 0,2776 ÷ 0,2845 кДж/кг залежно від коефіцієнта надлишку повітря α;

- теплоємність газа: $C_{рг}$ = 0,9102+ $\frac{0{,}1187}{\alpha}$ + 0,1187 $\frac{T_3 + T_4}{1000}$.

Визначення $C_{рг}$ і T_4 провадиться методом послідовних наближень. Для першого наближення можна прийняти $C_{рг}$ = 1,13кДж/кг.

5. Теплоємність повітря в інтервалі температур від 273К до T_2 визначаються по формулі:

$$\left(C_{рв}\right)_{273}^{T_2} = 0{,}9480 + 0{,}0835 \cdot \frac{T_1 + T_2}{1000}.$$

Варіант № 3. Тепловий розрахунок одноступеневої газової турбіни

Таблиця 7

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Спосіб визначення або розрахункова формула	Чисел. значення
1. Параметри газа перед соплами турбіни: - тиск	P_0	МПа	Задано	
- температура	T_0	К	Задана	
2. Тиск газа за турбіною	P_2	МПа	Задано	
3. Витрата газа через турбіну	G	кг/с	Задан	
4. Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	Задан	
5. Теплоємність газу в процесі розширення в турбіні	$C_{pг}$	$\frac{кДж}{кг \cdot К}$	приймається у першому наближенні $C_{Pг} = 1{,}13$ *кДж /(кг К)*	
6. Температура газу наприкінці ізоентропійного розширення	T_{2o}	К	$T_{2o} = T_o \left(\frac{P_o}{P_2}\right)^{-m_г}$ $m_г = R / C_{pг}$ $R = 0{,}2884$ *кДж /(кг К)*	
7. Теплоємність газу в процесі розширення в турбіні (перевірка)	$C_{pг}$	$\frac{кДж}{кг \cdot К}$	см. п. 1, ф. (1)	
8. Наявний теплоперепад на турбіну	H_a	$\frac{кДж}{кг}$	$H_a = C_{pг} \cdot T_o \cdot \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_o}\right)^{m_г}\right]$	
9. Ступінь реакції на середньому діаметрі	ρ	-	*приймається,* $\rho = 0{,}2 \div 0{,}3$	
10. Кут виходу потоку із сопел	α_1	град	*приймається,* $\alpha_1 = 12^0 \div 15^0$	
11. Ізоентропійна характеристика	v_{u3}	-	$v_{u3} = 0{,}95 \frac{\varphi \cdot Cos\alpha_1}{2\sqrt{1-\rho}}$, де: $\varphi = 0{,}95 \div 0{,}97$	
12. Ізоентропійна швидкість	C_{u3}	м/с	$C_{u3} = \sqrt{2 \cdot H_a \cdot 10^3}$	
13. Окружна швидкість на середньому діаметрі	u	м/с	$u = v_{u3} \cdot C_{u3}$	
14. Швидкість виходу потоку із сопел	C_1	м/с	$C_1 = \varphi \cdot C_{u3} \sqrt{1-\rho}$	

Продовження табл. 7

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Спосіб визначення або розрахункова формула	Чисел. значення
15. Температура газу за соплами	T_c	К	$T_c = T_o - \frac{C_1^2}{2 \cdot C_{pг}} \cdot 10^{-3}$	
16. Тиск газа за соплами	P_c	МПа	$P_c = P_o \left[1 - \frac{H_a (1-\rho)}{T_c \cdot C_{pг}} \right]^{\frac{1}{m_г}}$	
17. Питомий об'єм газу за соплами	v_c	$м^3 / кг$	$v_c = \frac{R \cdot T_c}{P_c} \cdot 10^{-3}$	
18. Відносний діаметр	λ	-	*приймається* $\lambda \geq 6$	
19. Середній діаметр ступені	D	м	$D = \frac{G \cdot v_c \cdot \lambda}{\pi \cdot C_1 \cdot Sin\alpha_1}$	
20. Висота сопла	L_c	м	$L_c = D / \lambda$	
21. Частота обертання ротора	n	$\frac{об}{мин}$	$n = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot D}$; $n < 30000$ *об / мин*	
22. Відносна швидкість газу при вході до робочого каналу	w_1	м/с	із вхідного трикутника швидкостей	
23. Кут входу потоку у робочий канал у відносному русі	β_1	град.	із вхідного трикутника швидкостей	
24. Відносна швидкість виходу потоку із робочих каналів	w_2	м/с	$w_2 = \psi \sqrt{w_1^2 + 2 \cdot \rho \cdot H_a \cdot 10^3}$ $\psi = 0{,}95 - 0{,}97$ - швидкісний коэф. робочих лопаток	
25. Температура газу при виході з робочих каналів	$T_л$	К	$T_л = T_o - \frac{w_2^2 - w_1^2}{2 \cdot C_{pг}} 10^{-3}$	
26. Питомий об'єм газа при виході з робочих каналів	$v_л$	$м^3 / кг$	$v_л = \frac{R \cdot T_л}{P_2} 10^{-3}$	
27. Висота робочих лопаток	$L_л$	м	$L_л = L_c + \Delta L$ де величина перекриша – ΔL = 0,003÷0,005м	
28. Кут виходу газу з робочих каналів у відносному русі	β_2	град	$\beta_2 = arcSin\left(\frac{L_c v_c c_1}{L_л v_л w_2} Sin\alpha_1 \right)$	

Продовження табл. 7

Найменування параметрів	Позначення	Розмірність	Спосіб визначення або розрахункова формула	Чисел. значення
29. Абсолютна швидкість газу при виході з ступені	C_2	м/с	з вихідного трикут-ка швидкостей	
30. Кут виходу газа із ступені	α_2	град	з вихідного трикутника швидкостей	
31. Втрата в соплах	q_c	$\frac{кДж}{кг}$	$q_c = (1-\varphi^2)(1-\rho)H_a$	
32. Втрата в робочих каналах	$q_л$	$\frac{кДж}{кг}$	$q_л = \frac{1-\psi^2}{\psi^2} \cdot \frac{w_2^2}{2} 10^{-3}$	
33. Втрата з вихідною швидкістю	q_a	$\frac{кДж}{кг}$	$q_a = \frac{C_2^2}{2} 10^{-3}$	
34. Окружний ККД ступені	η_u	-	$\eta_u = \frac{H_a - (q_c + q_л + q_a)}{H_a}$	
35. Коефіцієнт втрат на тертя диска о газ	$\xi_{тр}$	-	$\xi_{тр} = \frac{0,6 \cdot \lambda \cdot 10^{-3}}{Sin\alpha_1}$	
36. Відносна величина радіального зазору робочого вінця	$\bar{\delta}_p$	-	$\bar{\delta}_p = \delta_p / L_л$ *приймають* $\delta_P = 0,005 \div 0,015$	
37. Коефіцієнт втрати від витоків газу через радіальні зазори робочого колеса	$\xi_{ут}$	-	$\xi_{ут} = (1- \eta_\tau)\, \eta_u$ див. п. 2 вказівок	
38. Втрати на тертя диска та витоки	$q_{тр}$	$\frac{кДж}{кг}$	$q_{тр} = (\xi_{тр} + \xi_{ут}) \cdot H_a$	
39. Температура газу за ступенем	T_2	К	$T_2 = T_л + \frac{q_{тр}}{c_{рг}}$	
40Повна температура газу за ступенем	T_{2n}	К	$T_{2n} = T_2 + \frac{c_2^2}{c_{рг}} 10^{-3}$	
41. Повний тиск газу за ступенем	P_{2n}	МПа	$P_{2n} = P_2 \left(\frac{T_{2n}}{T_2} \right)^{m_г}$	
42. Внутрішній ККД ступені	η_i	-	$\eta_i = \eta_u - \xi_{ут} - \xi_{тр}$	
43. Внутрішня потужність турбіни	N_i	кВт	$N_i = GH_a\eta_i$	

Вказівки до виконання теплового розрахунку газової турбіни

1. Теплоємність газу в процесі розширення визначається за формулою:

$$C_{pг} = 0{,}9102 + \frac{0{,}1187}{\alpha} + 0{,}1187\frac{T_o + T_{2o}}{1000}.$$

Якщо отримане значення $C_{pг}$ відрізняється від прийнятого більш ніж на $\pm 5\%$, то слід прийняти нове значення $C_{pг}$, отримане в п.7, і повторити розрахунок у другому наближенні, починаючи з п.5.

2. Для безбандажних лопаток без ущільнення радіального зазору коефіцієнт втрати може бути визначений за такими виразами:

$$\eta_\tau = 1 - \overline{f}_\delta^{1,2} \cdot (2{,}08 + 17{,}3 \cdot \rho_в^2),$$

де: $\overline{f_\delta} = \overline{\delta_p} \cdot \left(1 + \frac{1}{\lambda}\right)$ - відносна площа зазору,

$\rho_в = 1 - (1 - \rho) \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda + 1}\right)^2$ - ступінь реактивності у вершини лопатки.

3. У пояснювальній записці слід навести ескіз вхідного та вихідного трикутників швидкостей у масштабі 1:100 (1см = 100м/с).

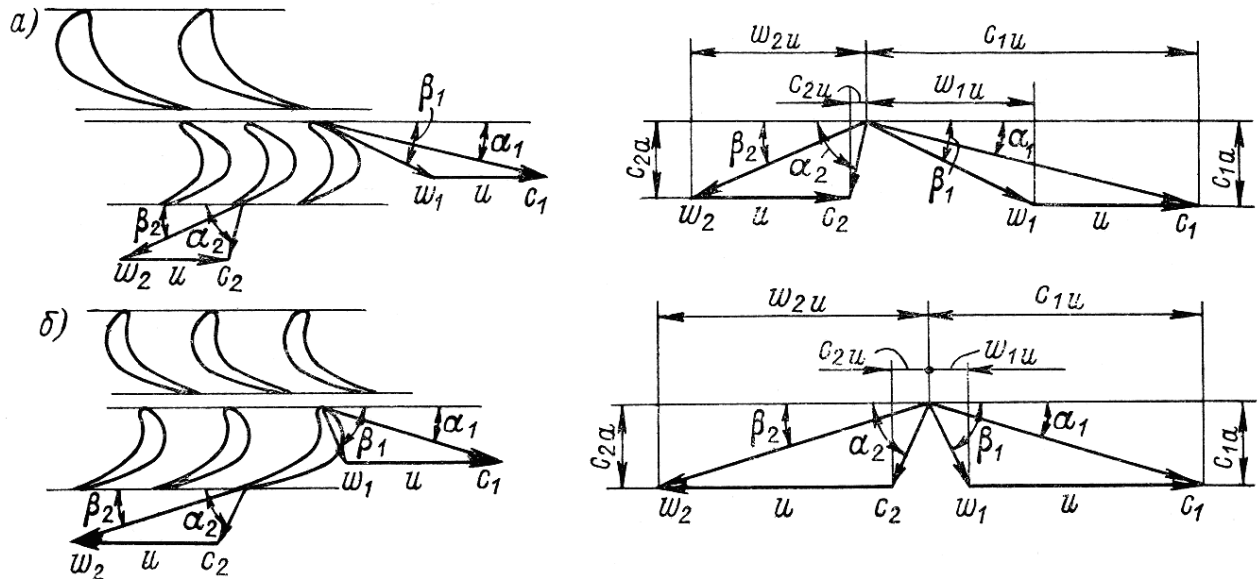


Рис. 1 Трикутники швидкостей:
а) — активної ступені; ***б)*** — реактивної ступені

ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

Варіант 1. Тепловий розрахунок одноступеневої парової турбіни

Таблиця 4

Найменування величин	Позначення	Розмірність	№№ завдань								
			00	01	02	03	04	05	06	07	08
1.Потужність турбіни	N_e	кВт	120	125	130	135	140	145	150	155	160
2.Тиск пара перед соплами турбіни	P_o	МПа	1,30	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7
3.Температура пара перед соплами турбіни	t_o	°С	290	270	275	280	285	290	295	300	310
4.Тиск пара за турбіною	P_2	МПа	0,23	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26

Продовження таблиці 4

Найменування величин	Позначення	Розмірність	№№ завдань									
			09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.Потужність турбіни	N_e	кВт	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210
2.Тиск пара перед соплами турбіни	P_o	МПа	1,75	1,8	1,85	1,9	1,95	2,0	2,1	2,15	2,2	2,25
3.Температура пара перед соплами турбіни	t_o	°С	290	270	275	280	285	290	295	300	310	310
4.Тиск пара за турбіною	P_2	МПа	0,23	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,25

ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

Варіант 2. Розрахунок параметрів циклу ГТУ

Таблиця 5

Найменування величин		Позначення	Розмірність	№ завдань								
				00	01	02	03	04	05	06	07	08
1.	Годинна витрата палива	G_T	*кг/ч*	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200
2.	Теплота згоряння палива	$Q_н^р$	$\frac{кДж}{кг}$	38000	38200	38400	38600	38800	39000	39200	39400	39600
3.	Температура газів перед турбіною	$t_З$	°С	650	670	690	710	730	750	770	790	810
4.	Початкова температура повітря	t_1	°С	10	12	14	16	18	20	22	24	26
5.	Відносний внутрішній ККД турбіни	η_T	-	0.83	0,832	0,834	0,836	0,838	0,840	0,842	0,844	0,846
6.	Адіабатний ККД компресора	$\eta_к$	-	0.840	0,842	0,844	0,846	0,848	0,850	0,852	0,854	0,856
7.	Коефіцієнт втрати напору у газоходах	ν	-	1.030	1,032	1,034	1,036	1,038	1,040	1,042	1,044	1,046
8.	Механічний ККД турбіни	$\eta_{мт}$	-	0.978	0,980	0,982	0,984	0,986	0,988	0,990	0,992	0,994
9.	Механічний ККД компресора	$\eta_{мк}$	-	0.980	0,982	0,984	0,986	0,988	0,990	0,992	0,994	0,996
10.	ККД камери згоряння	$\eta_{кс}$	-	0.930	0,932	0,934	0,936	0,938	0,940	0,942	0,944	0,946

Продовження таблиці 5

Найменування величин		Позначення	Розмірність	№ завдань									
				09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1.	Годинна витрата палива	G_T	*кг/ч*	1200	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900
2.	Теплота згоряння палива	$Q_н^р$	$\frac{кДж}{кг}$	39600	38100	38300	38500	38700	38900	39100	39300	39500	39700
3.	Температура газів перед турбіною	t_3	°С	910	900	890	880	870	860	850	840	830	820
4.	Початкова температура повітря	t_1	°С	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13
5.	Відносний внутрішній ККД турбіни	η_T	-	0.884	0,882	0,880	0,878	0,876	0,874	0,872	0,870	0,868	0,866
6.	Адіабатний ККД компресора	$\eta_к$	-	0.872	0,874	0,876	0,878	0,880	0,882	0,884	0,886	0,888	0,890
7.	Коефіцієнт втрати напору у газоходах	ν	-	1.038	1,040	1,042	1,044	1,046	1,048	1,050	1,052	1,054	1,056
8.	Механічний ККД турбіни	$\eta_{мт}$	-	0.980	0,982	0,984	0,986	0,988	0,990	0,992	0,994	0,996	0,998
9.	Механічний ККД компресора	$\eta_{мк}$	-	0.976	0,978	0,980	0,982	0,984	0,986	0,988	0,990	0,992	0,994
10.	ККД камери згоряння	$\eta_{кс}$	-	0.932	0,934	0,936	0,938	0,940	0,942	0,944	0,946	0,948	0,950

ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНУ РОБОТУ

Варіант 3. Тепловий розрахунок одноступінчастої газової турбіни

Таблиця 6

Найменування величин	Позначення	Розмірність	№№ завдань								
			00	01	02	03	04	05	06	07	08
1. Тиск газу перед турбіною	P_o	*мПа*	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41
2. Температура газу перед турбіною	t_o	$^\circ C$	920	900	880	860	840	820	800	780	760
3. Тиск газу за турбіною	P_2	*мПа*	0,1020	0,1025	0,1030	0,1035	0,1040	0,1045	0,1050	0,1055	0,1060
4. Витрата газу через турбіну	G	*кг/с*	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5. Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	2,40	2,45	2,50	2,55	2,60	2,65	2,70	2,75	2,80

Продовження таблиці 6

Найменування величин	Позначення	Розмірність	№№ завдань								
			09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. Тиск газу перед турбіною	P_o	*мПа*	0,43	0,45	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,69	0,71
2. Температура газу перед турбіною	t_o	$^\circ C$	740	720	700	680	660	640	620	600	580	560
3. Тиск газу за турбіною	P_2	*мПа*	0,1065	0,1070	0,1075	0,1080	0,1075	0,1070	0,1065	0,1060	0,1055	0,1050
4. Витрата газу через турбіну	G	*кг/с*	11	10	9	8	7	6	5	6	7	8
5. Коефіцієнт надлишку повітря	α	-	2,85	2,90	2,95	3,00	3,05	3,10	3,15	3,20	3,30	3,40