

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань  
13 – "Механічна інженерія" зі спеціальності 135 – "Суднобудування"  
спеціалізація (освітня програма)  
"Суднові енергетичні установки та устаткування"**

**"Термодинамічні та гідрогазодинамічні процеси  
в суднових енергетичних установках"**

**300 год. / 10 кредитів ЕКТС  
(60 год. лекцій, 30 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)**

*Навчальний контент*

**Модуль 1.**

**Змістовний модуль 1. Термодинамічні властивості робочого тіла**

**Тема 1.** Вступ. Мета і задачі курсу. Основні визначення. Предмет і метод технічної термодинаміки. Технічна термодинаміка як основа суднової енергетики. Термодинамічна система. Рівноважний, стаціонарний та не рівноважний стан. Термодинамічний процес. Час релаксації в реальному процесі. Параметри стану однорідного робочого тіла. Рівняння стану ідеального газу.

**Тема 2.** Термодинамічні властивості робочих тіл. Термічні і калоричні параметри стану. Дослідження теплоємності газів. МКТ теплоємності речовин. Теплоємності  $c_p$  і  $c_v$ . Коефіцієнт Пуассона. Рівняння Майєра.

**Тема 3.** Суміші газів в ідеально-газовому стані. Співвідношення між масовими, об'ємними, мольними частками. Газова стала та умовна молярна маса суміші. Парціальний тиск, парціальний об'єм компонентів суміші. Парціальна та приведена густина компонентів та їх зв'язок з густиною суміші. Теплоємність газових сумішей.

**Тема 4.** І закон термодинаміки. Диференціальні рівняння та приклади їх використання. Тепло та робота як види передачі енергії. Закон збереження і перетворення енергії. Внутрішня енергія та зовнішня робота. Діаграми  $v-p$  та  $s-T$ , їх властивості. Ентальпія. Рівняння та формулювання 1-ого закону, приклади їх застосування.

**Тема 5.** Політропний процес (загальний випадок). Рівняння процесу. Розрахунок зміни внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії. Поняття політропного процесу. Методика дослідження. Виведення рівняння політропи. Співвідношення між параметрами  $p$ ,  $V$ ,  $T$ . Розрахунок зміни внутрішньої енергії ентальпії і ентропії.

**Тема 6.** Робота процесу, теплота процесу. Визначення показника політропи. Виведення формул роботи деформаційної та можливої. Розрахунок теплоти процесу (дослідження теплоємності політропного процесу). Способи визначення показника політропи. Сумісні діаграми. Групи політроп. Дослідження ізопроцесів. Сумісні діаграми  $p-v$  і  $T-S$  політропних процесів.

**Тема 7.** Загальні умови роботи теплових двигунів. Повні і неповні диференціали в термодинаміці. Джерела теплоти та умови роботи теплових двигунів і холодильних машин. Оборотні та необоротні кругові процеси (цикли) та їх ефективність.

**Тема 8.** Цикл Карно та його значення. Узагальнений цикл. Регенерація теплоти. Прямий (силовий) та зворотній (холодильний) цикли Карно. Їх ефективність. Узагальнений цикл Карно. Поняття про регенерацію теплоти.

**Тема 9.** Формулювання та диференціальні рівняння II-го Закону. Вивід диференціальних рівнянь для оборотних та необоротних циклів. Поняття ексергії теплоти і роботи. Рівняння Гюї-Стодоли. Корисна робота, максимальна корисна робота (ексергія). Ексергія теплоти і роботи. Рівняння Гюї-Стодоли.

**Тема 10.** Методи порівняння термодинамічної ефективності циклів Методи порівняння ККД оборотних і необоротних циклів. Середня інтегральна температура та еквівалентний цикл Карно. Приклади порівняння циклів за середньоінтегральними температурами підводу та відводу теплоти. Метод коефіцієнтів корисної дії в аналізі необоротних циклів. Ексергетичний метод аналізу теплосилових установок.

## **Змістовний модуль 2. Термодинамічні цикли газових двигунів. Термодинамічні цикли реального робочого тіла.**

**Тема 11.** Цикл з підводом теплоти при  $v=\text{const}$  Двотактні і чотиритактні двигуни. Індикаторна діаграма і теоретичний цикл. Метод дослідження. Послідовність розрахунку. Середній цикловий (індикаторний) тиск. Цикл ДВЗ із згорянням пального при сталому об'ємі. Цикл з підводом теплоти при  $p=\text{const}$  і з мішаним підводом теплоти. Цикл ДВЗ із згорянням пального при  $p=\text{const}$ . Цикл ДВЗ з мішаним згорянням палива. Приклади порівняння циклів. Деякі економічні показники роботи.

**Тема 12.** Дослідження роботи одноступеневого компресора Дійсна індикаторна діаграма і теоретичний цикл роботи одноступеневого компресора при ізотермічному, адіабатичному і політропному процесі стиснення. "Шкідливий" простір та його вплив на роботу компресора. Дослідження роботи багатоступеневого компресора. Економічні показники роботи. Багатоступеневе стиснення,  $v-p$  і  $S-T$  діаграми. Теплота охолодження компресора. Показники роботи реального компресора.

**Тема 13.** Загальні визначення з теорії течії газів та пари. Течія газів і пари. Перший закон термодинаміки для газового потоку. Основні припущення. Швидкість звуку. Число Маха. Сопло і дифузор. Основні співвідношення. Закон обертання впливу. Закон обертання впливу: випадки теплового, механічного, витратного і геометричного сопел. Особливості руху газів у вертикальних каналах. Течія газів з тертям. Розрахунок геометричних сопел. Швидкість потоку та масова витрата. Вплив на витікання внутрішніх опорів. Параметри потоку при повному адіабатичному його гальмуванні.

**Тема 14.** Основні цикли ГТУ. Регенерація теплоти. Принципова схема, цикл і дослідження циклів з підвищенням теплоти при  $p=\text{const}$ , при  $v=\text{const}$ . Регенерація теплоти та її ефективність. Порівняння циклів. Складні цикли ГТУ, які працюють по замкненому циклі. Особливості роботи АГТУ. Цикли з багатоступеневим стисненням повітря і розширенням робочого тіла. Межовий випадок.

**Тема 15.** Термодинамічні властивості реальних газів. Діаграми стану. Коефіцієнт стисливості. Діаграми поведінки реальних газів. Критичні параметри речовини. Рівняння стану реальних газів. Принцип відповідних станів (подібність термодинамічних властивостей речовин).

**Тема 16.** Дослідження термодинамічних процесів з водяною парою. Водяна пара. Основні визначення. Діаграми стану. Таблиці теплофізичних властивостей води і водяної пари. Розрахунок процесів виробництва перегрітої пари. Дослідження ізобарного процесу. Дослідження термодинамічних ізопроцесів з водяною парою в діаграмах  $v$ - $p$ ,  $S$ - $T$  та  $i$ - $S$ . Дослідження вологих сумішей (на прикладі вологого повітря). Абсолютна і відносна вологість. Точка роси. Вологовміст. Основні співвідношення для вологого повітря. Процеси обробки вологого повітря.

**Тема 17.** Цикл Карно та його значення. Цикл Карно. Можливості реалізації. Переваги і недоліки. Цикл Ренкіна та способи підвищення його ефективності. Цикл Ренкіна з насиченою парою. Цикл Ренкіна з перегрітою парою. Вплив параметрів пари на вході в турбіну і в конденсаторі. Цикл ПСУ з проміжним перегрівом пари. Реальні втрати в процесі розширення пари. Регенеративні цикли

**Тема 18.** Теплофікація. Бінарні цикли. Термодинамічні основи теплофікації. Бінарні цикли: вимоги до робочих тіл; схема і цикл ртутно-водяної бінарної установки. Атомні ПСУ. Особливості роботи атомних паросилових установок. Парогазові установки. Парогазові установки зі змішанням робочих тіл. Парогазові установки з роздільними потоками газу і пари. Цикли з МГД-генератором. Принцип дії МГД-генератора. Комбіновані ПСУ с МГД-генератором. Схема, цикл і к.к.д. установки розімкнутого і замкненого циклу. Перспективні методи перетворення теплоти в електричну енергію.

**Тема 19.** Способи зниження температури робочого тіла. Дроселювання реального і ідеального газів. Фізичні основи. Диференціальний та інтегральний дросель-ефект. Температура та криві інверсії. Дроселювання водяної пари. Адіабатне розширення з виробництвом роботи.

**Тема 20.** Зворотній цикл Карно. Повітряна холодильна установка. Зворотний оборотний цикл Карно та його ефективність. Схема і цикл повітряної холодильної машини. Парокомпресорна холодильна установка. Схема і цикл парокомпресорної холодильної машини. Пароелектрична холодильна установка. Абсорбційна холодильна установка. Схема і цикл пароелектричної холодильної машини. Абсорбційна холодильна машина. Тепловий насос. Каскадні схеми роботи холодильних установок. Тепловий насос та ефективність його роботи.

**Тема 21.** Охорона навколишнього середовища від роботи теплових установок. Види забруднень довкілля при роботі теплосилових установок. Засоби зниження шкідливих викидів. Методи боротьби за чистоту навколишнього середовища.

### **Змістовний модуль 3. Гідростатика. Газова динаміка. Теорія крила.**

**Тема 22.** Предмет гідрогазодинаміки, її місце і зв'язок із спеціальними дисциплінами. Рідина як суцільне середовище. Фізичні властивості рідин і газів. Гідростатика. Диференціальне рівняння рівноваги рідини. Основні закони гідростатики рідини. Відносний спокій рідини. Поверхні рівного тиску. Силова взаємодія нерухомої рідини з поверхнями та тілами.

**Тема 23.** Напружений стан рідини. Категорії діючих у рідині сил та їхні напруження. Тензор поверхневих напружень. Загальне рівняння руху рідини. Методи кінематики рідини. Основні поняття кінематики. Прискорення частинки рідини. Види течій рідини. Рівняння витрат для рідин та газів і його застосування в розрахунках течій. Теорема Коши-Гельмгольца про рух частки рідини. Кінематичний аналіз руху рідини.

**Тема 24.** Диференціальне рівняння руху нев'язкої рідини. Основна задача і загальна система рівнянь динаміки нев'язкої рідини. Умови однозначності рішення. Загальні рішення (інтеграли) Ейлера, Лагранжа і Бернуллі; їх аналіз та практичне застосування. Зовнішнє обтікання тіл. Коефіцієнт тиску. Сили опору форми і тертя та їх розрахунок. Парадокс Ейлера-Даламбера.

**Тема 25.** Загальні рівняння газової динаміки. Швидкість розповсюдження малих збурень у газах. Одномірні течії газу. Рівняння Бернуллі для течії газу. Характерні параметри течії газу. Числа  $M$ ,  $\alpha$ , та  $\Lambda$ . Сильні збурювання в газових потоках при їх гальмуванні. Ударна хвиля. Стрибок ущільнення. Зміна параметрів газу в стрибку. Ударна адіабата. Плоскі газові течії. Лінії (характеристики) і кути

Маха. Витікання газу через дозвукові (звужувальні) сопла та отвори. Надзвукове сопло Лаваля.

**Тема 26.** Динаміка в'язкої рідини. Дослідження Рейнольдса. Узагальнений закон Ньютона. Диференційне рівняння ламінарного руху рідини (Нав'є-Стокса) і його інтегрування (рівняння Бернуллі) для окремої струминки і для течії в цілому.

**Тема 27.** Турбулентний рух рідини. Параметри турбулентності. Диференційне рівняння турбулентного руху Рейнольдса. Тензор турбулентних напружень. Поняття про напівемпіричні теорії турбулентності. Експериментальна гідрогазодинаміка. Основи теорії подібності і моделювання гідрогазодинамічних явищ. Критерії подібності.

**Тема 28.** Закони опору тертя в гладких і шорстких трубах (теоретичні та експериментальні дослідження Нікурадзе). Розрахунок втрат тиску, обумовлених тертям. Місцеві втрати тиску. Розрахунок втрат. Течії в дифузорах та криволінійних каналах. Принципи гідравлічного розрахунку трубопровідних систем.

**Тема 29.** Примежовий шар. Характеристики примежового шару. Система рівнянь Прандтля. Метод Блазіуса рішення системи рівнянь для ламінарного примежового шару. Турбулентний примежовий шар (структура, рівняння). Принципи розрахунку турбулентного примежового шару.

**Тема 30.** Характеристики крила. Особливості течії в системі (решітці) профілів турбінного колеса. Сили, що діють на профіль у решітці. Теорема М.Є. Жуковського для решітки профілів.

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань  
13 – "Механічна інженерія" зі спеціальності 135 – "Суднобудування"  
спеціалізація (освітня програма)  
"Суднові енергетичні установки та устаткування"**

**"Термодинамічні та гідрогазодинамічні процеси  
в суднових енергетичних установках"**

**300 год. / 10 кредитів ЕКТС  
(60 год. лекцій, 30 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)**

*Теми лабораторних занять*

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		денна форма навчання
1	Визначення густини і коефіцієнта стисливості повітря методом витікання через отвір	2
2	Визначення питомої теплоємності газу при сталому тиску методом потоку	2
3	Дослідження процесів адіабатичного процесу витікання повітря через сопло, що звужується	4
4	Експериментально-теоретичне дослідження фазових переходів рідина-насичена пара	4
5	Дослідження ізохоричного процесу для води і водяної пари	4
6	Дослідження процесів підігріву, охолодження і осушення вологого повітря	4
7	Експериментальне вивчення законів гідростатики.	2
8	Вивчення основних характеристик течії в каналі довільної конфігурації.	4
9	Визначення гідродинамічних характеристик циліндра при зовнішньому обтіканні в'язкою рідиною.	4
<b>Разом:</b>		<b>30</b>

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань  
13 – "Механічна інженерія" зі спеціальності 135 – "Суднобудування"  
спеціалізація (освітня програма)  
"Суднові енергетичні установки та устаткування"**

**"Термодинамічні та гідрогазодинамічні процеси  
в суднових енергетичних установках"**

**300 год. / 10 кредитів ЕКТС  
(60 год. лекцій, 30 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)**

***Теми практичних занять***

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		денна форма навчання
1	Параметри стану. Рівняння стану. Суміші ідеальних газів. Розв'язання типових задач.	2
2	Теплоємність однорідного робочого тіла. Таблиці теплоємностей. Розв'язання типових задач. Теплоємність суміші. Розв'язання типових задач.	4
3	Перший закон термодинаміки. Розв'язання типових задач.	2
4	Практичні приклади побудови циклу газового двигуна з відомими значеннями показників політроп.	4
5	Розрахунок циклу з чотирьох процесів на конкретному прикладі. Перевірка результатів.	2
6	Реальний та ідеальний цикли. Вплив необоротності реальних процесів. Розв'язання типових задач.	2
7	Способи підвищення ККД циклу. Умови реалізації та ефективність застосування регенерації теплоти. Розрахунок засобів підвищення ККД циклів ДВЗ.	4
8	Реальні та ідеальні гази. Водяна пара. Діаграми стану водяної пари. Приклади використання діаграм стану.	4
9	Розрахунок процесів з водяною парою за допомогою діаграм стану.	3
10	Розрахунок основного циклу паросилових установок.	4
11	Вивчення засобів підвищення ККД циклу паросилової установки.	2
12	Розрахунок циклу парокомпресійної холодильної машини.	2
13	Гідростатика.	3
14	Газова динаміка.	4
15	Гідравлічний розрахунок трубопровідних систем.	3
<b>Разом:</b>		<b>45</b>

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань  
13 – "Механічна інженерія" зі спеціальності 135 – "Суднобудування"  
спеціалізація (освітня програма)  
"Суднові енергетичні установки та устаткування"**

**"Термодинамічні та гідрогазодинамічні процеси  
в суднових енергетичних установках"**

**300 год. / 10 кредитів ЕКТС  
(60 год. лекцій, 30 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)**

***Завдання для самостійної роботи***

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		Денна форма навчання
1	Розрахунок параметрів ідеально-газової суміші	16
2	Теплоємності компонентів і суміші	16
3	Зміна калоричних параметрів компонентів і суміші	16
4	Якісна побудова та аналіз процесів, що складають цикл	16
5	Розрахунок довільного циклу	16
6	Оптимізація циклу газового двигуна	16
7	Детальний розрахунок оптимального циклу	16
8	Графічна масштабна побудова оптимального циклу у $v$ - $p$ та $s$ - $T$ координатах	18
9	Втрати працездатності в оптимальному циклі	18
10	Регенерація теплоти в циклах теплових двигунів. Порівнювальний аналіз циклів.	17
<b>Разом:</b>		<b>165</b>



**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань  
13 – "Механічна інженерія" зі спеціальності 135 – "Суднобудування"  
спеціалізація (освітня програма)  
"Суднові енергетичні установки та устаткування"**

**"Термодинамічні та гідрогазодинамічні процеси  
в суднових енергетичних установках"**

**300 год. / 10 кредитів ЕКТС  
(60 год. лекцій, 30 год. лабораторних занять, 45 год. практичних занять)**

*Завдання для поточного та підсумкового контролю*

**Контрольні питання до 1-го модуля**

1. Які існують основні параметри стану робочого тіла та рівняння стану ідеальних газів?
2. Що таке термодинамічний процес: рівноважний, нерівноважний?
3. Які термодинамічні процеси називають зворотніми та незворотніми? Наведіть приклади.
4. Що таке робота процесу, теплота процесу? Їх графічне відображення на діаграмах.
5. З чого складається якісна різниця понять роботи і теплоти.
6. Яка з робіт більша: у зворотньому чи в незворотньому процесі і чому.
7. Формулювання та диференційні рівняння першого закону термодинаміки
8. Які існують принципи класифікації теплоємностей ідеальних газів?
9. Які з теплоємностей більші: ізохорні чи ізобарні і чому.
10. Записати аналітичні вирази питомої, об'ємної і молярної теплоємностей суміші ідеальних газів.
11. Як визначити кількість теплоти в термодинамічному процесі, якщо є табличні значення середніх теплоємностей?
12. Що таке політропний процес? Дати узагальнюючу  $p$ - $V$   $T$ - $S$  діаграми полі-тропних процесів.
13. В яких межах змінюється показник політропи.
14. Що входить до завдання аналізу термодинамічного процесу.
15. Які аналітичні вирази для визначення зміни калоричних параметрів є загальними для всіх термодинамічних процесів з ідеальним газом?
16. Що таке ізопроцеси? Дати їх загальну характеристику.
17. В яких політропних процесах і чому питома теплоємність ідеального газу буде негативною?
18. Чому дорівнює зміна внутрішньої енергії в круговому процесі.
19. Чому в адіабатному процесі розширення ідеального газу температура зменшується, а при стисненні підвищується?
20. Як змінюється температура в ізохорному процесі?

## Контрольні питання до 2-го модуля

21. Які існують формулювання та диференційні рівняння другого закону термодинаміки?
22. Які умови необхідні для здійснення безперервного перетворення теплоти в роботи.
23. У чому сутність принципу зростання ентропії ізольованої термодинамічної системи?
24. Яке значення має в термодинаміці цикл Карно?
25. Що називається термічним ККД теплового двигуна?
26. Чому термічний ККД не може дорівнювати 100%?
27. Що таке холодильний коефіцієнт і як він визначається.
28. Що називають ексергією джерела теплоти?
29. За яким виразом визначають втрату максимально можливої роботи через незворотність термодинамічних процесів?
30. Які існують методи зрівняння ефективності циклів теплових двигунів?
31. Яка існує методика розрахунку одноступінчастого та багаступінчастого компресора?
32. Методика розрахунку циклів теплових двигунів.
33. Дати приклад розрахунку циклу ДВЗ з підведенням теплоти при  $v = \text{const}$ .
34. Дати приклад розрахунку циклу ДВЗ з підведенням теплоти при  $p = \text{const}$ .
35. Дати приклад розрахунку циклу ДВЗ зі змішаним підведенням теплоти.
36. Перший закон термодинаміки для газового потоку.
37. Закон обертання впливу. Види сопел.
38. Дати приклад розрахунку циклу ГТУ.
39. В чому суть ускладнення циклів реальних ГТУ?
40. В чому є особливості роботи реактивних і ракетних двигунів?
  
41. Які існують відмінності у властивостей ідеальних та реальних газів? Дати приклади рівнянь стану реальних газів.
42.  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$  діаграми стану водяної пари.
43. Які існують особливості розрахунків процесів з водяною парою?
44. Вологе повітря, основні параметри стану. Як визначити відносну вологість за допомогою аспіраційного психрометра?
45. Цикл Карно на вологій парі. Особливості реалізації.
46. Які існують цикли паросилових установок? Дати їх характеристику.
47. Як впливають необоротності на ефективність циклу Ренкіна?
48. Як виконується регенерація теплоти в паросилових установках?
49. В чому є особливість теплофікаційних циклів?
50. Бінарні цикли. В чому їх термодинамічні переваги.
51. Особливості роботи АЕУ.

52. В чому особливості реалізації термодинамічних циклів комбінованих установок?
53. Складні термодинамічні цикли з МГД-генератором.
54. Що таке дроселювання реальних газів? Вивід рівняння диференціального дросель-ефекту.
55. Ідеальна холодильна установка за циклом Карно.
56. Повітряна холодильна установка.
57. Парокомпресійна холодильна установка.
58. Абсорбційна холодильна установка.
59. Тепловий насос. Що це таке?
60. Охорона навколишнього середовища від роботи теплосилових установок.

### **Контрольні питання до 3-го модуля**

61. У чому полягає загальна задача дисципліни "Гідрогазодинаміка"? Основні властивості та фізичні характеристики рідин і газів.
62. Які сили та їхні напруження розглядаються гідрогазодинамікою? Дайте фізичне тлумачення загального рівняння руху рідини.
63. Які напруження діють у нерухомій рідині?
64. У чому сутність основного закону гідростатики?
68. Як у загальному виді розраховують тиск у деякій точці нерухомої рідини?
69. Як у загальному виді розраховують силу гідростатичного тиску нерухомої рідини на будь-яку поверхню?
70. Як розрахувати силу, що діє на занурене в рідину тіло?
71. Сутність методів Ейлера і Лагранжа вивчення кінематики рідини.
72. Пояснити основні специфічні терміни кінематики: лінія струму, вихрова лінія, поверхня течії, струминка, струм та ін.
73. Прискорення частинки рідини за методом Ейлера. Фізичне його тлумачення.
74. Дати фізичне тлумачення рівняння суцільності руху рідини.
75. Поняття "витрата" рідини. Загальний спосіб її визначення для рідин і газів.
76. Пояснити сутність теореми Коши-Гельмгольца про рух частинки рідини. Види деформаційного руху частинки рідини.
77. Дати фізичне тлумачення диференційного рівняння руху нев'язкої рідини.
78. Основна задача динаміки нев'язкої рідини. Загальна система рівнянь для вирішення задач динаміки нев'язкої рідини.
79. Умови однозначності (початкові та граничні) рішення гідродинамічних задач.
80. Дати фізичне і геометричне тлумачення інтеграла Бернуллі. Схожість і відмінність інтегралів Ейлера і Бернуллі.
81. Застосування інтеграла Бернуллі в експериментальній практиці

вимірювання швидкості руху рідини.

82. Розповсюдження малих збурень у газовому середовищі. Швидкість звуку.

83. Критичні параметри і параметри гальмування газового потоку.

84. Рівняння Бернуллі для адіабатичної одномірної течії газу.

85. Числа (безрозмірні швидкості)  $M$ ,  $\alpha$ , та  $\Lambda$ . Діапазон їх значень і практичне використання.

86. Аналіз зміни параметрів газового потоку вздовж труби перемінного поперечного перерізу (рівняння Гюгоніо).

87. Що таке стрибок ущільнення? Умови його виникнення в газових потоках.

88. Дати порівняльний аналіз ударної адіабати Гюгоніо і звичайної адіабати Пуасона.

89. Що таке кут Маха і який його зв'язок з швидкістю газового потоку?

90. Надзвукове сопло Лаваля.

91. Пояснити парадокс Ейлера-Даламбера. Умови його існування.

92. Умови гідродинамічної подібності двох явищ. Дослідження Рейнольдса стосовно ламінарної та турбулентної структур потоку в трубах. Критичне число Рейнольдса.

93. Дати порівняльний аналіз розподілу швидкості в поперечному перерізі труби при ламінарній і турбулентній течіях.

94. Види гідравлічних втрат у трубопровідних системах та їх розрахунок. Вплив шорсткості труб на гідравлічні втрати тиску в них.

95. Задачі гідравлічного розрахунку трубопровідних систем.

96. Геометричні характеристики крил. Гідродинамічні сили, що діють на крило в пов'язаній і поточній системах координат. Дати пояснення сили опору тертя і сили опору форми.

97. Теорема М.Є. Жуковського про величину і напрямок дії під'ємної сили.

98. Коефіцієнти гідродинамічних сил і гідродинамічна якість крила.

99. Класифікація решіток профілів. Теорема М.Є. Жуковського для решітки профілів.

100. Теорія Прандтля про примежовий шар.