

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

ЗАТВЕРДЖЕНО

вченою радою
Національного аерокосмічного
університету ім. М. С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Ректор університету

професор



М. В. Нечипорук

«22» січня

2020 р., протокол № 6

**ПРОГРАМА
ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ**

для конкурсного відбору вступників до аспірантури
для здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності

142 – Енергетичне машинобудування

Харків
2020

Вступ

Вступне випробування для конкурсного відбору вступників до аспірантури для здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 142 – *Енергетичне машинобудування* відбувається відповідно до Правил прийому до аспірантури та докторантури Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» у формі індивідуального письмового іспиту, який приймає екзаменаційна комісія, склад якої затверджується наказом ректора Університету.

До іспиту входять питання за темами:

- Теорія двигунів та енергетичних установок
- Конструкція двигунів та енергетичних установок
- Системи та агрегати двигунів та енергетичних установок

Перелік питань за темами наведений у програмі.

Критерії оцінювання знань

1. Результати іспиту визначаються за 5 – бальною шкалою.
2. Екзаменаційний білет складається з трьох питань.
3. Мінімальна кількість балів з вступного випробування, з якими вступник допускається до участі у конкурсі складає 3 бала.

1. ТЕОРІЯ ДВИГУНІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

1.1. Теорія теплових двигунів та енергоустановок непрямого перетворення енергії

1.1.1. Теорія повітряно-реактивних двигунів (ПРД)

1.1.1.1 Силові установки з ПРД та їх параметри

Силова установка з ПРД та ГТУ, їх основні абсолютні параметри. Класифікація ГТД і області їх використання. Ефективна і внутрішня тяга силової установки. Зовнішній опір СУ. Еквівалентна потужність ТГД. Основні питомі параметри силових установок з ПРД. Схеми ГТД. Газогенераторна частина. Ступінь двоконтурності. Температура змішування потоків в ТРДД зі змішуванням потоків. Теплові діаграми ГТД. Ефективна та вільна роботи. Поняття приєднаної маси повітря гвинтом чи вентилятором. Ефект приєднаної маси ККД та енергетичний баланс силових установок з ПРД.

1.1.1.2 Характеристики елементів ПРД

Призначення, класифікація, основні параметри вхідних пристроїв і вимоги до них. Дозвукові вхідні пристрої. Надзвукові вхідні пристрої внутрішнього стиснення. Надзвукові вхідні пристрої зовнішнього стиснення. Характеристики вхідних пристроїв. Помпаж і «зуд» надзвукових вхідних пристроїв зовнішнього стиснення. Регулювання надзвукових вхідних пристроїв. Характеристики компресора : загальний вигляд, розузгодження режимів роботи ступенів на нерозрахункових режимах роботи компресора, регулювання компресора. Пилозахисні пристрої. Призначення, класифікація і вимоги до камер згоряння. Основні параметри камер згоряння. Основні закономірності процесу горіння. Організація робочого процесу в основних камерах згоряння ПРД. Особливості організації робочого процесу в форсажних камерах. Експлуатаційні характеристики основних і форсажних камер згоряння . Вібраційне горіння палива і способи його попередження. Характеристики турбін: характеристики ступеня газової турбіни, особливості характеристик багатоступеневих турбін; регулювання турбін. Призначення, класифікація, основні параметри і вимоги до вихідних пристроїв. Сопла для докритичних і надкритичних перепадів тиску. Характеристики та регулювання вихідних пристроїв

1.1.1.3 Термодинамічний аналіз циклу ПРД

Вираз корисної (ефективної) роботи циклу ТРД через параметри робочого процесу. Зв'язок ефективної і вільної роботи з питомою тягою двигуна. Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги і питомих витрат палива від ступеня підігріву повітря. Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги і питомих витрат палива від ступеня підвищення тиску. Оптимальний та економічний ступень підвищення тиску. Залежність корисної роботи циклу, питомої тяги і питомих витрат палива від ККД процесів стиснення і розширення. Залежності питомої потужності і питомих витрат палива ТВаД і ТГД від параметрів робочого процесу. Оптимальний розподіл роботи циклу ТГД між гвинтом і реакцією. Ціль та способи форсування ГТД. Теплова діаграма ТРДФ. Залежності питомої тяги і питомих витрат палива ТРДФ від параметрів робочого процесу. Вибір параметрів циклу у проектуванні ТРД і ТРДФ. Параметри робочого процесу та питомі параметри ТРДД. Робота циклу ТРДД без змішування потоків і її оптимальний розподіл між контурами. Призначення , схеми, організація робочого процесу і характеристики камер змішування ТРДД. Оптимальний розподіл роботи циклу між контурами ТРДД і ТРДДФ зі змішуванням потоків. Вплив параметрів робочого процесу на питомі параметри ТРДД і ТРДДФ

1.1.1.4 Програми управління та спільна робота елементів силової та газотурбінної установок

Система рівнянь, що описують спільну роботу елементів одновального ТРД. Задачі управління (регулювання) ТРД і ТРДФ і поняття про програми (закони) управління (регулювання) двигуна. Спільна робота компресора, камери згоряння і турбіни одновального ТРД і ТРДФ.

Спільна робота турбіни і реактивного сопла одновального ТРД і ТРДФ. Коефіцієнти стійкості та запасу стійкої роботи компресору. ЛСР при умові $\pi_T^* = \text{const}$ (однопараметричні програми управління). ЛСР при програмі управління $T_T^* = \text{const}$ і $n = \text{const}$ (двопараметрична програма управління). Особливості спільної роботи газових турбін і сопла двовальних ТРД і ТРДФ. Особливості спільної роботи компресора, камери згоряння і турбіни двовальних ТРД і ТРДФ. Спільна робота надзвукового вхідного пристрою і компресора. Особливості управління і спільної роботи елементів ТРДД без змішування потоків. Особливості управління і спільної роботи елементів ТРДД зі змішуванням потоків. Особливості управління (регулювання) ТРДДФ. Особливості управління (регулювання) і спільної роботи елементів ТГД. Особливості управління (регулювання) і спільної роботи елементів ТВаД.

1.1.1.5 Характеристики силових установок з ПРД

Номенклатура основних режимів роботи ПРД, характеристики силових установок з ПРД та методи їх одержання. Швидкісні характеристики силових установок з ТРД, ТРДФ. Особливості швидкісних характеристик силових установок з ТРДД і ТРДДФ. Швидкісні характеристики силових установок з ПРД. Модель стандартної атмосфери. Висотні характеристики силових установок з ГТД. Вплив числа Рейнольдса на висотні характеристики. Обмеження на висотно-швидкісних характеристиках ТРД. Діапазон висот та швидкостей ЛА і області обмежень режимів роботи силової установки. Дросельні характеристики силових установок з ТРД і ТРДФ. Вплив програм управління (регулювання) на дросельні характеристики ТРД і ТРДФ. Особливості дросельних характеристик силових установок з ТРДД і ТРДДФ. Дросельні характеристики силових установок з ТГД і ТВаД. Подібність режимів роботи ГТД. Приведення результатів випробувань ПРД до стандартних атмосферних умов. Вплив атмосферних умов на основні данні ПРД. Кліматичні характеристики ГТД

1.1.1.6 Несталі режими роботи ПРД

Умови спільної роботи елементів ПРД в несталих процесах. Прийомистість і скид газу ТРД. Включення і виключення форсованого режиму. Запуск ТРД. Особливості перехідних процесів двохвальних ТРД і ТРДД. Особливості перехідних процесів ТВаД і ТГД.

1.1.1.7 Екологічні аспекти ПРД

Вплив двигунів на навколишнє середовище. Шум авіаційних двигунів. Головні фізичні поняття і норми на припустимий рівень шуму. Зовнішні і внутрішні джерела шуму у двигунах. Засоби зниження шуму двигунів. Токсичність продуктів згоряння.

1.1.1.8 Інтеграція літака з силовою установкою

Літакові силові установки з ПРД, ефективні характеристики і маса. Проблеми комплексного вибору параметрів літака та його силової установки. Вибір головних параметрів для проектування двигуна. Формування газоповітряного тракту ГТД. Методи узгодження компресорів і турбін ГТД.

1.1.2. Теорія ракетних двигунів (РД)

1.1.2.1. Загальні питання

Типи ракетних двигунів (РД). Класифікація РД. Ракетні двигуни на хімічних паливах: РРД, РДТП, ГРД. Області застосування різних типів РД.

Рівняння тяги РД. Головні складові тяги камери, місце їхнього прикладання. ККД РД (термічний, тяговий, загальний). Характеристичні параметри РД: і питомий імпульс, характеристична швидкість, коефіцієнт тяги сопла, питома маса. Оцінка втрат у камері РД. Намір тяги і питомого імпульсу камери РД.

Течії в соплах РД. Загальні відомості про устрій та оцінку досконалості сопел. Режими недорозширення та перерозширення. Тяга камери при відриві потоку від стінок сопла. Аналіз та оцінка втрат у соплах. Методи профілювання сопел.

Висотна і дросельна характеристики РД.

Головні відомості щодо рідких, твердих та гібридних ракетних палив та їх фізико-хімічні характеристики. Енергетичні характеристики палив.

Термодинамічний розрахунок процесів у РД. Розрахунок термохімічних властивостей палив. Розрахунок згоряння і витікання газів. Особливості термодинамічних розрахунків при наявності конденсованої фази. Вплив коефіцієнту надлишку окислювача, тиску у камері згоряння, ступеня розширення та інших чинників на питомий імпульс.

Процеси горіння, запалення і загасання. Механізми горіння у РРД. Горіння твердих ракетних палив (ТРП).

Основи теорії теплообміну в РД.

1.1.2.2. Рідинно-ракетні двигуни

Теоретичні основи вибору схеми та параметрів РРД. Витіснювальні схеми РРД, галузі застосування. Турбонасосні схеми без допалювання та з допалюванням, галузі застосування.

Процеси у камері згоряння та їх розрахунок. Головні вимоги до організації процесів сумішоутворення. Теорія і розрахунок струминних і відцентрових рідинних форсунок. Турбулентне перемішування газів при їхньому прямуванні до камери згоряння. Вибір і визначення головних параметрів камери згоряння. Особливості процесів у газогенераторах. Особливості і схеми теплозахисту стінок камери РРД. Охолоджувальні властивості компонентів палив. Фізичні основи і методи розрахунку охолодження.

1.1.2.3. Ракетні двигуни твердого палива

Особливості робочого процесу в РДТП. Швидкість горіння ТРП як головний розрахунковий параметр. Головні відомості щодо фізико-хімічних законів горіння балістичних та сумішних ТРП. Залежність швидкості горіння ТРП від тиску та початкової температури. Поняття про стаціонарну і нестаціонарну швидкості горіння ТРП. Горіння ТРП в умовах обдуву поверхні, що горить, газовим потоком. Типи зарядів ТРП та їх розрахунок. Щільність заряджання камери згоряння, головні обмеження.

Основи газодинамічного розрахунку РДТП. Диференціальні рівняння руху продуктів згоряння. Розрахунок течій газів при різноманітних формах зарядів ТРП. Процес запалення головного заряду ТРП. Вибір типу та маси заряду запального пристрою.

Відхилення параметрів РДТП від номінального розміру і засоби зменшення розкиду балістичних параметрів.

Регулювання тяги РДТП, передстартове та в умовах польоту. Види пристроїв для зміни напрямку вектора тяги та їх порівняльні оцінки. Засоби відсічки тяги. РДТП з багатократним вмиканням.

1.1.3. Теорія енергетичних установок непрямого перетворення енергії

1.1.3.1. Енергетичні установки з паротурбогенераторами

Паротурбогенератори і особливості їх робочого процесу. Працездатність ступеня турбіни. Схеми паротурбінних ЕУ. Вибір робочого тіла. Розрахунок параметрів. Обмеження за кавітацією і урахування переохолодження. Ув'язка параметрів турбінного контуру з теплообмінним контуром ЕУ.

Характеристики паротурбінної установки. Особливості запуску в бортових умовах. Енергомасові характеристики і ККД установки. Конструкція паротурбінної ЕУ і її елементів.

Особливості використання паротурбінних ЕУ у складі ядерних, сонячних та інших систем електроживлення для бортових ЕУ.

1.1.3.2. Енергоустановки з газотурбогенераторами

Робочий процес ступеня газової турбіни і компресора. Основні термодинамічні співвідношення. Осьові і радіальні турбомашини. Профілювання проточної частини і трикутники

швидкостей.

Схеми газотурбінних ЕУ з сонячними, ядерними, радіоізотопними джерелами тепла. Вплив параметрів робочого процесу на властиві параметри установки; Оптимізація параметрів.

Узгодження спільної роботи газотурбокомпресора, його характеристики. Умови забезпечення надійності установки. Енергомасові характеристики і ККД установки. Конструкція газотурбінної ЕУ і її елементів.

Модульні схеми ядерних і сонячних ЕУ з газотурбогенераторами.

1.1.3.3. Парогазові енергетичні установки.

Робочі процеси. Основні термодинамічні співвідношення. Схеми.

1.2 Теорія електроракетних двигунів

1.2.1. Загальні питання

Основні програми космічних польотів із застосуванням ЕРД. Необхідні сумарні імпульси для виконання типових задач польоту.

Уява про механізми прискорення робочого тіла в ЕРД.

1.2.2. ЕРД з газодинамічним прискоренням робочого тіла

Електронагрівні двигуни. Схеми і особливості робочих процесів. Область застосування.

Плазмові двигуни з газодинамічним прискоренням робочого тіла. Схеми і принципи дії. Особливості робочих процесів, енергетичний баланс двигуна.

1.2.3. Двигуни з електростатичним прискоренням іонів

Процеси прискорення іонів електричним полем. Іонооптичні системи з електричним і магнітним фокусуванням струму часток. Методи розрахунку іонно-оптичних систем і параметрів струмів іонів. Нейтралізація іонного струму. Порожністі катоди. Робочі процеси у порожнистих катодах.

Двигуни з замкнутим дрейфом електронів і продовженою зоною прискорення. Схеми і основи робочого процесу. Характеристики рушіїв.

Двигуни з замкнутим дрейфом електронів і анодним шаром. Характерні особливості процесів.

Іонні двигуни. Схеми і принципи дії поверхневих і просторових джерел іонів. Основні процеси у джерелах іонів та іонно-оптичній системі.

Енергетичний баланс двигунів. Розрахунок параметрів і характеристик двигунів.

Області застосування ЕРД з електростатичним прискоренням.

1.2.4. Двигуни з електромагнітним прискоренням плазми

Схеми і принципи дії плазмових двигунів з електромагнітним прискоренням плазми. Особливості робочих процесів в коаксіальних плазмових рушіях з власним магнітним полем. Розрахунок параметрів і характеристик коаксіальних ЕРД.

Торцеві великопотужні двигуни. Схеми і особливості робочих процесів. Розрахунок параметрів і інтегральних характеристик.

Імпульсні плазмові двигуни з електромагнітним прискоренням, схеми і принципи дії. Моделі прискорення робочого тіла. Розрахунок параметрів і характеристик двигунів.

Області застосування різних типів ЕРД з електромагнітним прискоренням плазми.

1.2.5. Генератори і прискорювачі плазми

Технічні і технологічні особливості джерел плазми різноманітного призначення на базі ЕРД, щодо розрахунку генераторів плазми і прискорювачів різноманітного призначення. Розрахунок параметрів і характеристик генераторів і прискорювачів плазми різних схем. Оптимізація параметрів. Конструкція генераторів і прискорювачів.

1.3. Теорія енергетичних установок прямого перетворення енергії

1.3.1. Загальні питання

Поняття про енергетичну установку. Класифікація схеми і основні характеристики окремих частин енергоустановки. Системи прямого перетворення енергії в електричну: фотоелектричні, термоелектричні, термоемісійні, електрохімічні, термоелектрохімічні, магніто газодинамічні, тощо. Структурні схеми ЕУ.

Робочі тіла ЕУ Основні види робочих тіл, вимоги щодо робочих тіл.

1.3.2. Джерела енергії для ЕУ прямого перетворення

Можливі типи джерел енергії, особливості їх застосування в бортових ЕУ.

Сонячне випромінювання, його характеристики в навколосемному і міжпланетному просторі. Бортові приймачі енергії випромінювання. Концентратори сонячної енергії, основні види і їх характеристики.

Ядерні реактори бортових ЕУ. Основи ядерної фізики. Фізика ядерних реакторів. Основи нейтронно-фізичного і теплового розрахунку реактора. Керування реактором. Особливості тягових ядерних реакторів ядерних реакторних двигунів. Ядерно-лазерні ЕУ.

Радіоізотопні джерела енергії Види радіоізотопних палив. Характеристики радіоізотопних теплових блоків. Регулювання та особливості експлуатації.

Хімічні джерела енергії. Види і характеристики систем і робочих компонентів. Системи зберігання і подавання. Балонні, криогенні і зв'язані системи зберігання і їх характеристики.

1.3.3. Загальне проектування енергетичної установки

Загальні проблеми при проектуванні енергосилових (ЕСУ), енергетичних і рушійних установок. Системний аналіз ЕСУ. Компонувальні схеми установки з різними джерелами енергії, перетворювачами і двигунами. Вплив задачі польоту і типу КЛА на вибір схеми і рівень потужності ЕУ і тяги ЕРД.

1.3.4. Перетворювачі сонячної та теплової енергії в електричну

1.3.4.1. Фотоелектричні перетворювачі (ФП) та сонячні батареї (СБ) на їх основі

Особливості і області використання. Основні структурні схеми бортових ЕУ з СБ і хімічними джерелами струму. Регулювання сонячних систем енергозабезпечення (СЕЗ).

1.3.3.2. Енергетичні установки з термоелектричними генераторами

Фізико-енергетичні основи термоелектрики. Основні процеси у термоелектричних перетворювачах і вплив рівня температури на вибір термоелектричних матеріалів.

Вибір параметрів ЕУ з термогенератором. Конструкція ЕУ з термоелектричними генераторами і їх елементів. Використання термоелектричних ЕУ з радіоізотопними і ядерними джерелами тепла.

1.3.3.3. Енергетичні установки з термоемісійними перетворювачами (ТЕП)

Особливості процесів на електродах. Режими роботи ТЕП. Електричні характеристики ТЕП. Вплив параметрів робочого процесу, конструкції і технології на ККД перетворювача.

Реактори-генератори з ТЕП. Вибір параметрів ЕУ з ТЕП. Конструкції установок і їх елементів.

1.3.3.4. Енергетичні установки з термоелектрохімічними перетворювачами (ТЕХП).

Процеси переносу іонів в твердих і загущених електролітах. Термодинаміка електрохімічного перетворення. Процеси на газодифузійних електродах. Схеми і характеристики ТЕХП. Ядерні, сонячні, радіоізотопні ЕУ з ТЕХП, особливості конструкції і технології.

1.3.3.5. Автономні енергоустановки наземного використання

Відновлювані і невідновлювані джерела енергії. Властивості та особливості сонячного випромінювання на поверхні Землі. Можливі споживачі електроенергії від наземних автономних ЕУ. Графіки енергоспоживання.

Приймачі сонячного випромінювання для наземних ЕУ, концентратори сонячної енергії. Безпосереднє використання сонячної теплової енергії. Теплові колектори і установки на їх основі.

Автономні ЕУ на основі ФП (ФЕУ). Принципові й конструкційні схеми. Особливості розрахунку і використання ФЕУ.

1.3.4. Електрохімічні генератори і накопичувачі енергії

1.3.4.1. Електрохімічні генератори

Елементи електрохімічної кінетики. Проходження струму крізь електроліт. Види поляризації: омична, активаційна і концентраційна. Термодинамічний, електричний і струмовий ККД генератора. Узгодження характеристик ЕХГ із споживачами енергії. Конструкція ЕУ з ЕХГ.

1.3.4.2. Електрохімічні акумулятори та батареї.

Класифікація хімічних джерел струму (ХДС). Характеристики ХДС: ЕРС, напруга, внутрішній опір ХДС, тощо. Схеми заміщення ХДС. Аналітичний вираз зарядних і розрядних характеристик. Вплив температури на характеристики ХДС. Вплив тиску газів на характеристики герметичних акумуляторів. Енергія, потужність і коефіцієнти віддачі акумуляторів. Напрацювання, строк служби, строк придатності і збереженість АК і АБ. Методи заряду і розряду АК і АБ. Спільна робота АБ і СБ у бортових ЕУ. Регулювання АБ у бортовій системі електроживлення.

2. КОНСТРУКЦІЯ ДВИГУНІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

2.1. Повітряно-реактивні двигуни

2.1.1. Головні вузли, навантаження і силові системи ПРД

Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД. Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів. Конструкції опор роторів ГТД. Сили інерції, які діють на вузли ГТД. Статичне та динамічне балансування роторів. Силові системи роторів і статорів. Трансмисії ГТД, конструкція з'єднувальних муфт. Джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ.

Компресори ГТД. Призначення, умови роботи та вимоги до компресорів АД та ЕУ. Класифікація компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Осьові та відцентрові компресори. Конструктивні схеми осьових компресорів. Вимоги до конструкції компресора та шляхи їх реалізації. Типи роторів осьових компресорів, їх порівняльна оцінка. Конструкція робочих лопаток компресора та вузлів їх кріплення. Навантаження, що діють на ротор компресора. Статори компресорів. Зазори між ротором і статором. Ущільнення проточної частини компресорів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Конструкційні матеріали осьових компресорів. Відцентрові компресори, їх недоліки та переваги. Класифікація відцентрових компресорів. Конструкція елементів відцентрових компресорів. Конструкційні матеріали для відцентрових компресорів.

Турбіни ГТД. Призначення, умови роботи та вимоги до турбін АД і ЕУ. Класифікація газових турбін. Параметри, які характеризують досконалість конструкції вузла турбіни. Робочі лопатки турбін, засоби їх сполучення з диском. Диски турбін, їх сполучення між собою та з валом. Розрахунок осьової сили, яка діє на ротор турбіни. Статори газових турбін. Соплові апарати, умови роботи, силові схеми та засоби кріплення до корпусів. Корпуси газових турбін. Охолодження деталей турбін. Визначення температури лопаток та дисків турбіни. Зазори проміж ротором і статором. Контактні та витратні ущільнення. Розрахунок витрати повітря скрізь лабіринтне ущільнення. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.

Конструкція і проектування основних і форсажних камер згоряння ПРД. Призначення та особливості конструкції дифузоров, жарових труб та фронтових пристроїв. Стабілізація зони горіння. Охолодження елементів камер згоряння. Організація змішування продуктів згоряння із вторинним повітрям. Запуск камер згоряння, запальні пристрої. Головні навантаження на елементи камер згоряння. Конструкційні матеріали для елементів камер згоряння.

Вихідні та реверсивні пристрої. Вихідні пристрої ГТД, призначення, умови роботи, вимоги до вихідних пристроїв. Вихідні патрубки. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла. Сили, які діють на елементи реактивного сопла. Теплоізоляція та охолодження сопел. Реверсивні та девіаторні пристрої. Силова установка як джерело шуму та вібрації. Конструктивні методи зменшення рівня шуму. Проблема інфрачервоного випромінювання двигунів та засоби для її вирішення.

Особливості роботи та конструкції підшипників роторів ГТД. Конструкції опор підшипників. Газові та мастильні ущільнення. Підбір підшипників кочення, їх посадка у корпусі та на валі. Пружні та демпферні опори роторів. Розрахунок контактного та лабіринтового ущільнення. Мащення та охолодження підшипників. Розрахунки теплового стану підшипників.

2.1.2. Міцність головних деталей

Розрахунок на міцність ротора барабанного типу. Розрахунок вузла з'єднання ротора відцентрового компресора з валом. Розрахунок на міцність вала турбіни та фланцевого сполучення.

Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових та газових сил. Розвантаження пера робочої лопатки від згинаючих моментів газових сил моментами від відцентрових сил. Особливості розрахунку лопаток з бандажними полицями, нерівномірно нагрітих лопаток.

Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток компресорів та турбін.

Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини та дисків відцентрових компресорів. Визначення запасу міцності диска за еквівалентними напруженнями та руйнуючої частоті обертання. Аналіз термонапруженого стану диска на прикладі диска постійної товщини.

Міцність оболонок. Виведення рівняння Лапласа для розрахунку на міцність тонкостінних оболонок. Розрахунки на міцність та жорсткість корпусів камер згоряння. Можливі несправності камер згоряння та конструктивні міри щодо забезпечення їх надійної роботи.

2.1.3. Коливання елементів

Коливання лопаток. Види та форми коливань. Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін. Визначення частоти першої форми власних коливань моделі лопатки (плоскої пластини) за методом Релея. Вплив форми лопатки та умов її роботи на частоту вільних коливань. Визначення частот кількох форм коливань реальної лопатки за методом скінчених елементів. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань лопаток. Джерела змінних сил, що примушують лопатку коливатися. Визначення резонансних режимів. Побудова та аналіз частотної діаграми для робочої лопатки компресора або турбіни. Методи демпфування коливань лопаток. Автоколивання лопаток. Особливості коливань лопаток відцентрових компресорів. Динамічні напруження та запаси втомливої міцності лопаток.

Коливання дисків. Загальні поняття про коливання круглих пластин та дисків. Види і форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань дисків. Критичні частоти обертання дисків. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін.

Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок. Розрахунок власних частот коливань. Фактори, які впливають на частоти коливань тонкостінних оболонок.

Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття "жорсткого" та

"гнучкого" вала. Визначення частот власних поперечних коливань не обертового валу з одним диском. Поняття про види прецесії валів. Фактори що впливають на критичні оберти роторів. Вплив сил що розтягують або спирають вал. Вплив обертового моменту. Гіроскопічний момент та його вплив на критичні оберти. Визначення критичних обертів роторів з урахуванням гіроскопічного моменту. Визначення власних частот поперечних коливань валів, що несуть низку дисків (багатодискового ротору). Вимушені коливання обертових роторів, їх причини. Визначення критичних частот обертання ротора за допомогою частотної діаграми.

2.1.4. Редуктори та повітряні гвинти

Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація і кінематичні схеми редукторів. Конструкція редукторів. Розрахунки зубчастих передач та валів на міцність. Вимірювачі кружних моментів. Мащення деталей редуктора.

Профілювання та характеристики повітряних гвинтів. Режими роботи гвинта. Сили та моменти, які діють на лопаті гвинтів. Призначення та основні характеристики гвинтів змінного кроку. Конструкція втулок прямої та зворотної дії. Механізація втулок ГЗК.

2.2. Ракетні двигуни

2.2.1. Рідинні реактивні двигуни

Конструкція і намір камери і газогенераторов РРД. Визначення головних розмірів камери і способи профілювання сопла. Силкові схеми камер і газогенераторів. Секційні камери. Конструктивні особливості вузла оболонки. Силкові і температурні навантаження. Схеми зв'язування оболонки. Конструктивні і технологічні особливості різноманітних схем зв'язування. Конструкція поясів завіси. Застосовувані матеріали. Конструкція голівки: силкові схеми, особливості проектування. Застосовувані матеріали. Намір на тривкість елементів камери і газогенератора. Аналіз навантажень. Методи розрахунку на міцність оболонки камер згорання, що знаходяться за межею пружності.

2.2.2. Ракетні двигуни на твердому паливі

Класифікація, компоновальні схеми РДТП. Головні оцінки параметрів РДТП та вимоги щодо них. Конструкція РДТП із вкладним і скріпленням зарядом. Вибір робочого тиску в камері згорання. Конструкція паливних зарядів ТРП і визначення головних параметрів. Засоби виготовлення заряду. Визначення напруг у заряді ТРП. Конструкція та проектування корпусів РДТП. Особливості конструкції корпусів РДТП зі склопластику. Методи розрахунку корпусу РДТП на тривкість і несучу спроможність. Конструкція соплових блоків. Визначення розмірів конічного й профілюваного сопла. Конструкція багатосоплових блоків керованих і некерованих ракет. Термоізоляція камери згорання. Система запалення двигуна. Розрахунок навішування запалювача. Конструкція пристроїв керування вектором тяги двигуна: поворотне та хитне сопло, дефлектори, насадки, висувні щитки, вдув газу, впорскування рідини. Вузли відсічки, обнулення та реверсу тяги.

2.3. Електроактивні двигуни

Конструкційні схеми різних типів ЕРД. Аналіз типових вузлів двигунів і систем їх живлення робочим тілом, систем зберігання. Розрахунок на міцність елементів ЕРД. Температурні напруження, запаси міцності. Спрощення при розрахунках ЕРД на міцність. Центрування нагрітих деталей. Матеріали. Конструкція електродних вузлів, іонно-оптичних систем, газорозрядних камер, вузлів подачі робочого тіла та метало-керамічних вузлів. Поняття про довгі і короткі оболонки. Рівняння рівноваги циліндричної оболонки. Вільні та оперті оболонки. Сталий і змінний градієнт температури. Міцність іонно-оптичної системи, конічних оболонки, катодних та анодних вузлів. Елементи теплового захисту відведення тепла

2.4. Джерела і перетворювачі енергії

Особливості конструкції реакторів на теплових, швидких нейтронах, рідиннометалічному і газовому теплоносіях, теплових трубах. Конструкція електрогенеруючих каналів реакторів-генераторів.

Конструкція радіоізотопних теплових блоків. Температурні напруження в ТВЕЛах реакторів і радіоізотопних ампулах. Розрахунок міцності оболонки методом сумування ушкоджень.

Сонячні концентратори енергії, конструкційні схеми, системи розкриття, конструкції вузлів і деталей. Розрахунок на міцність плівкових концентраторів.

Конструкція сонячних батарей, фотоелектричних перетворювачів і їх систем. Каркасні і рулонні СБ. Механізми розкриття панелей і повороту СБ. Основні навантаження і розрахунки на міцність каркасних та стільникових панелей і систем розкриття. Термічні напруження в блоках ФП.

Конструкційні схеми електрохімічних генераторів, паливних елементів, батарей хімічних акумуляторів. Розрахунок на міцність корпусів, електродів, мембран, балонів системи зберігання компонентів і інших елементів ЕХГ, ХДС, АБ.

Машинні перетворювачі. Конструкційні схеми турбогенераторів. Гідростатичні і газостатичні підшипники. Розрахунок на міцність і коливання крилець турбін, дисків. Розрахунок критичної швидкості валів. Демпфування коливань.

Конструкційні схеми і конструкція термодіємних перетворювачів. Розрахунок деформації катоду. Температурні напруження.

Теплообмінні апарати. Конструкційні схеми, конструкція теплообмінників, теплових труб, холодильників-випромінювачів. Міцність і стійкість трубок теплообмінних апаратів. Температурні напруження при запуску.

Агрегати ЕУ і ЕСУ. Конструкція насосів і регуляторів. Основні проблеми міцності, надійності агрегатів.

3. СИСТЕМИ ТА АГРЕГАТИ ДВИГУНІВ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Автоматичне керування ПРД. Структурні схеми та програми керування різних типів ПРД. Критерії якості САК ПРД. Багатоконтурні та багатовимірні САК, узгодження роботи контурів в багатоконтурних САК ПРД. ПРД як об'єкт керування. Моделювання динаміки САК ПРД та їх елементів.

Допоміжні системи ПРД: протипомпажна, паливопостачання, мащення, суфлювання, охолодження, наддуву ущільнень, запуску, протиобліднювання, пожежегасіння. Забезпечення висотності системи паливопостачання.

Агрегати систем ПРД: баки, насоси, фільтри, теплообмінники, клапани, форсунки.

Динаміка та регулювання ПРД. Взаємозв'язок процесів у двигуні і динамічні характеристики двигуна. Особливості процесів в елементах двигуна при запуску. Перехідні процеси при вимиканні.

Пневмогідросхеми різноманітних типів ПРД. Запуск і вимикання ПРД. Схемні і конструктивні засоби забезпечення надійного запуску та вимикання ПРД.

Системи постачання компонентів. Витіснювальні системи постачання палива (НСПП). Конструкція та проектування ВСПП. Насосні системи постачання палива (НСПП). Елементи, що входять у НСПП. Класифікація і головні елементи в ТНА. Засоби запуску ТНА. Вузли ТНА. Конструкція та проектування турбін ТНА. Конструкція та проектування насосів ТНА. Редуктори ТНА, кінематичні схеми та елементи. Засоби охолодження деталей редукторів. Підшипники роторів ТНА. Критичні частоти обертання роторів*

Конструкція та проектування агрегатів автоматики та регулювання ПРД. Схеми, конструкція, проектування паливних клапанів, регуляторів, пневмоклапанів, вентилів, редукторів і регуляторів сталості тиску.

ЛИТЕРАТУРА (ПРД та РД)

1. Теория воздушно-реактивных двигателей [Текст] / В. М. Акимов, В. И. Бакулев, Г. М. Горбунов [и др.]; под ред. С. М. Шляхтенко. – М. : Машиностроение, 1975. – 568 с.
2. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей [Текст] / В. П. Деменчонок, Л. Н. Дружинин, А. Л. Пархомов [и др.]; под ред. С. М. Шляхтенко, В. А. Сосунова. – М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. Холщевников, К. В. Теория и расчет лопаточных машин [Текст] / К. В. Холщевников. – М. : Машиностроение, 1970г. – 614 с.
4. Сосунов, В. А. Неустановившиеся режимы работы в авиационных ГТД [Текст] / В. А. Сосунов, Ю. А. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1975. – 216 с.
5. Курзинер, Р. И. Реактивные двигатели для больших сверхзвуковых скоростей полета [Текст] / Р. И. Курзинер. – М. : Машиностроение, 1977. – 213 с.
6. Югов, О. К. Согласование характеристик самолета и двигателя [Текст] / О. К. Югов, О. Д. Селиванов. – М. : Машиностроение, 1975. – 204 с.
7. Васильев, А. П. Основы теории и расчета ЖРД [Текст] / А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев ; под ред. В. М. Кудрявцева. – М. : Выс. школа, 1983. – 703 с.
8. Алемасов, В. Е. Теория ракетных двигателей [Текст] / В. Е. Алемасов, А. Ф. Дрегалин, А. П. Тишин. – М: Машиностроение, 1980. – 533 с.
9. Ерохин, Б. Т. Теоретические основы проектирования РДТТ [Текст] / Б. Т. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1982. – 206 с.
10. Шишков, А. А. Газодинамика пороховых ракетных двигателей [Текст] / А. А. Шишков. – М. : Машиностроение, 1974. – 156 с.
11. Головков, Л. Г. Гибридные ракетные двигатели [Текст] / Л. Г. Головков. - М. : Воениздат, 1976. – 168 с.
12. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчёт деталей [Текст] / Г. С. Скубачевский // 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1981. – 550 с.
13. Бондарюк, М. М. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели [Текст] / М. М. Бондарюк, С. М. Ильяшенко. – М. : Оборонгиз, 1958. – 392 с.
14. Жирицкий, Г. С. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов [Текст] / Г. С. Жирицкий, В. И. Локай, М. К. МаксUTOва. – М. : Машиностроение, 1971. – 620 с.
15. Поликовский, В. И. Силовые установки летательных аппаратов с воздушно-реактивными двигателями : [Текст] учеб. пособие / В. И. Поликовский, Д. Н. Сурнов. – М. : Машиностроение, 1965. – 261 с.
16. Пономарев, Б. А. Двухконтурные турбореактивные двигатели [Текст] / Б. А. Пономарев. – М. : Воениздат, 1973. – 133 с.
17. Раздолин, М. В. Агрегаты воздушно-реактивных двигателей [Текст] / М. В. Раздолин, Д. Н. Сурнов. – М. : Машиностроение, 1973. – 352 с.
18. Хронин, Д. В. Колебания в двигателях летательных аппаратов [Текст] / Д. В. Хронин. – М. : Машиностроение, 1980. – 296 с.
19. Гахун, Г. Г. Конструкция и расчет на прочность жидкостных ракетных двигателей. Ч. 1 [Текст] / Г. Г. Гахун. -М. : МАИ, 1972.
20. Добровольский, М. В. Жидкостные ракетные двигатели [Текст] / М. В. Добровольский. – М. : Машиностроение, 1968. – 398 с.
21. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей : [Текст] учебник / А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1975. – 703 с.
22. Ракетные двигатели [Текст] / Т. М. Мелькумов, Н. И. Мелик-Пашаев, П. Г. Чистяков [и др.]. – М. : Машиностроение, 1976. – 400 с.
23. Феодосьев, В. И. Прочность теплонапряженных узлов жидкостных ракетных двигателей. [Текст] / В. И. Феодосьев. – М. : Оборонгиз, 1963. – 212 с.
24. Ерохин, Б. Т. Теоретические основы проектирования РДТТ [Текст] / Б. Т. Ерохин. – М. :

Машиностроение, 1982. – 206 с.

25. Конструкция и обработка РДТТ [Текст] / Л. М. Веницкий, В. Т. Волков, С. В. Волковицкий [и др.] ; под ред. А. М. Веницкого. – М. : Машиностроение, 1980. – 230 с.

26. Фахрутдинов, И. Х. Ракетные двигатели твердого топлива [Текст] / И. Х. Фахрутдинов. – М. : Машиностроение, 1981. – 223 с.

27. Шапиро, Я. М. Основы проектирования ракет на твердом топливе [Текст] / Я. М. Шапиро, Г. Ю. Мазинг, Н. Е. Прудников. – М. : Воениздат, 1968. – 351 с.

ЛІТЕРАТУРА (ЕРД та ЕУ)

1. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов [Текст] / Л. А. Квасников, Л. А. Латышев, Д. Д. Севрук [и др.]. – М. : Машиностроение, 1984. – 385 с.

2. Куландин, А. А. Энергетические системы космических летательных аппаратов [Текст] / А. А. Куландин, С.В. Тимашев. – М. : Машиностроение, 1979. – 319 с.

3. Гуров, А. Ф. Конструкция и проектирование двигательных установок [Текст] / А. Ф. Гуров, Д. Д. Севрук, Д. Н. Сурнов. – М. : Машиностроение, 1980. – 320 с.

4. Раушенбах, Г. Справочник по проектированию солнечных батарей [Текст] : пер. с англ. / Г. Раушенбах. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.

5. Лидоренко, Н. С. Электрохимические генераторы [Текст] / Н.С. Лидоренко, Г.Ф. Мучник. – М. : Энергоиздат, 1982. – 447 с.

6. Котырло, Г. К. Расчет и конструирование термоэлектрических генераторов и тепловых насосов [Текст] / Г.К. Котырло, Ю.Н. Лобунец. – К. : Наук. думка, 1980. – 327 с.

7. Ушаков, Б. А. Основы термоэмиссионного преобразования энергии [Текст] / Б. А. Ушаков, В. Д. Никитин, И. Я. Емельянов. – М. : Атомиздат, 1974. – 287 с.

8. Гришин, С. Д. Электрические ракетные двигатели [Текст] / С. Д. Гришин, Л. В. Лесков, Н. П. Козлов. – М. : Машиностроение, 1975. – 270 с.

9. Морозов, А. И. Физические основы космических электрореактивных двигателей [Текст] / А. И. Морозов. – М. : Атомиздат, 1978. – 325 с.

10. Скурихин, В. И. Математическое моделирование [Текст] / В. И. Скурихин, В. В. Шифрин, В. В. Дубровский. – К. : Техніка, 1983. – 270 с.

11. Польшин, Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок [Текст] / Л. С. Польшин. – М. : Энергия, 1978. – 416 с.

12. Стационарные плазменные двигатели [Текст] / Н. В. Белан, В. П. Ким, А.И. Оранский [и др.]. – Х. : Харк. авіац. ін-т, 1989. – 316 с.

13. Гришин, С. Д. Проектирование космических аппаратов с двигателями малой тяги [Текст] / С. Д. Гришин, Ю. Л. Захаров, В. К. Оделевский. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.

14. Основы теории, конструкции и эксплуатации космических ЯЭУ [Текст] / А. А. Куландин, С. В. Тимашев, В. Д. Атамасов [и др.]. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

15. Романов, В. В. Химические источники тока [Текст] / В. В. Романов, Ю. М. Хашев. – М. : Сов. радио, 1978. – 264 с.

16. Теньковцев, В. В. Основы теории и эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов [Текст] / В. В. Теньковцев, В. И. Центер. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 86 с.

17. Бортвые энергосистемы космических аппаратов на основе солнечных и химических батарей [Текст] : учебн. Пособие. Ч. 1 и 2. / Н. В. Белан, К. В. Безручко, В. Б. Елисеев [и др.]. – Х. : Харк. авіац. ін-т, 1992. – 451 с.

18. Применение тепловых труб в бортовых энергосистемах летательных аппаратов [Текст] : учебн. пособие / Н. В. Белан, К. В. Безручко, В. Б. Елисеев [и др.]. – Х. : Харк. авіац. ін-т, 1984. – 151 с.

19. Тимашев, С. В. Оптимизация энергетических систем орбитальных пилотируемых станций [Текст] / С. В. Тимашев, М. А. Кузьмин, Ю. Н. Чилин. – М. : Машиностроение, 1986. – 233 с.

20. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии [Текст] / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.

21. Ронх, И. Л. Нанесение защитных покрытий в вакууме [Текст] / И. Л. Ронх, Л. П. Колтунова, С. П. Федосов. – М. : Машиностроение, 1976. – 367 с.

22. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой : Физическое распыление одноэлементных твердых тел [Текст] : пер. с англ / под ред. Р. Бериша. – М. : Мир, 1984. – 336 с.

23. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой : Распыление сплавов и соединений, распыление под действием электронов и нейтронов, рельеф поверхности [Текст] : пер. с англ / под ред. Р. Бериша. – М. : Мир, 1986. – 488 с.

24. Солнечные батареи автоматических космических аппаратов (компоновка на КА, конструкция узлов, проектировочные расчеты) [Текст] : учеб. пособие для технических вузов и специальностей аэрокосмического профиля / К. В. Безручко, В. Ф. Гайдуков, С. В. Губин [и др.]. – Х. : Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 276 с.

25. Системы электропитания аппаратов [Текст] / П. П. Соустин, В. И. Иванчура, А. И. Чернышов [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1994. – 318 с.

26. Солнечные энергосистемы космических аппаратов. Физическое и математическое моделирование [Текст] / К. В. Безручко, Н. В. Белан, Д. Г. Белов [и др.]. ; под ред. акад. НАН Украины С. Н. Конюхова. – Х. : Гос. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000. – 515 с.

27. Энергетические установки космических аппаратов [Текст] / С. А. Подшивалов, Э. И. Иванов, Л. И. Муратов [и др.]. ; под общ. ред. Д. Д. Невяровского и В. С. Викторова. – М. : Энергоиздат, 1981. – 223 с.

28. Накопители энергии [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д. А. Бут, Б. Л. Алиевский, С. Р. Мизюрин, П. В. Васюкевич ; под ред. Д. А. Бута. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.

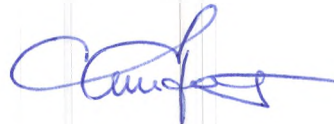
29. Авдонин, А. С. Расчет на прочность космических аппаратов [Текст] / А. С. Авдонин. – М. : Машиностроение, 1985. – 440 с.

30. Дональд, Б. Конструирование космических силовых установок [Текст] / Б. Дональд, С. Маккей. – М. : Мир, 1966. – 348 с.

Програму розглянуто і узгоджено на сумісному засіданні кафедри конструкції авіаційних двигунів, теорії авіаційних двигунів, космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії

Протокол № 6 від 13 01 2020 р.

Завідувач кафедри конструкції
авіаційних двигунів,
д.т.н., професор



С. В. Спіфанов

Завідувач кафедри теорії
авіаційних двигунів,
д.т.н., професор



Л. Г. Бойко

Завідувач кафедри космічної
техніки та нетрадиційних джерел
енергії,
к.т.н., доцент



С. В. Сінченко