

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Керівник проектної групи


(підпис)

П. О. Фомичов
(ініціали та прізвище)

« _____ » _____ 2020 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА *ВИБІРКОВОЇ* НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

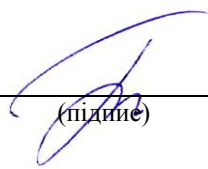
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань	<i>13 «Механічна інженерія»</i> (шифр і найменування галузі знань)
Спеціальність	<i>131 «Прикладна механіка»</i> (код та найменування спеціальності)
Освітня програма	<i>Динаміка і міцність машин</i> (найменування спеціальності)
Форма навчання	<i>денна</i>
Рівень вищої освіти	<i>перший (бакалаврський)</i>

Харків 2020 рік

Робоча програма Динаміка і міцність авіаційних двигунів
(назва дисципліни)
для студентів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
освітньою програмою Динаміка і міцність машин

« 1 » червня 2020 р, 7 с.

Розробник: Гусєв Юрій Олексійович, к.т.н., професор
(прізвище та ініціали, посада, наукова ступінь та вчене звання)  (підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
конструкції авіаційних двигунів
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 28 » серпня 2020 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор
(наукова ступінь та вчене звання)  (підпис) С. В. Єніфанов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)	
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: 13 <i>Механічна інженерія</i> (шифр і назва)	<i>Вибіркова</i>	
Модулів – 1	Спеціальність: 131 <i>Прикладна механіка</i> 134 <i>Авіаційна та ракетно-космічна техніка</i> (шифр і назва)	Навчальний рік <i>2020 / 2021</i>	
Змістових модулів – 2		Семестр	
Індивідуальне завдання			
(назва)			
Загальна кількість годин – денна – 64*/120		7-й	
		<i>група</i>	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 3,5	Освітня програма: <i>Динаміка і міцність машин</i> <i>Випробування та сертифікація літальних апаратів</i> Рівень вищої освіти: <i>перший (бакалаврський)</i>	148, 148в	
		Лекції * 32 год.	
		Практичні, семінарські * 16 год.	
		Лабораторні * 16 год.	
		Самостійна робота 56 год.	
		Вид контролю <i>залік</i>	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – 64/56.

* Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: формування у студентів початкових уявлень про моделі міцностної надійності елементів АД на підставі попередньо вивчених теоретичних курсів «Теоретичної механіки», «Механіки матеріалів та конструкцій».

Завдання: вивчаються конструкції різних вузлів та окремих деталей авіаційних двигунів, здійснюється їх порівняльна критична оцінка, виконуються експериментальні дослідження з питань динаміки та міцності елементів конструкції двигунів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

Загальні компетентності: *Здатність виявляти наукову сутність проблем у професійній сфері, знаходити адекватні шляхи щодо їх розв'язання. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. Здатність досліджувати проблеми з використанням системного аналізу, синтезу, комп'ютерного моделювання та методів оптимізації. Здатність генерувати нові ідеї (креативність), виявляти, ставити та вирішувати проблеми, знаходити оптимальні шляхи щодо їх вирішення. Здатність аналізувати, верифікувати, оцінювати повноту інформації в ході професійної діяльності, за необхідності доповнювати й синтезувати відсутню інформацію й працювати в умовах невизначеності. Здатність вести професійну, у тому числі науково-дослідну діяльність, у міжнародному середовищі. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, а також комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення завдань в сфері прикладної механіки. Здатність визначати ефективність рішень в сфері прикладної механіки з використання аналітичних методів і методів моделювання. Здатність продемонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів розрахунків в сфері прикладної механіки. Логічна аргументація. Вдосконалювати методи та технічні засоби розрахунків міцності машин з використанням інформаційних технологій.*

Програмні результати навчання: *Знання і розуміння сучасних методів ведення науково-дослідних робіт, фізико-математичних методів, що застосовуються в інженерній і дослідницькій практиці, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми. Знання і розуміння основних понять міцності, математичного та комп'ютерного моделювання, сучасних методів обробки та оцінювання точності вимірювального експерименту. Знання сучасних методів і програмного забезпечення побудови адекватних теоретичних моделей і способів їх обґрунтування. Спроможність аналізувати складні інженерні задачі, процеси і системи відповідно до спеціалізації; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; уміння інтерпретувати результати таких досліджень. Знання і вміння використовувати на практиці структурно-алгоритмічних методів підвищення точності вимірювань та вірогідності контролю, в тому числі при використанні комп'ютеризованих систем. Знання основ професійно-орієнтованих дисциплін спеціальності, розрахункових методів і засобів розрахунку міцності машин. Уміння ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу приладів і систем та їх модулів. Уміння використовувати інформацію про технічні характеристики, конструктивні особливості, призначення та умови експлуатації устаткування та обладнання при вирішенні задач з розрахунку міцності та їх застосування. Знати та уміти застосовувати засоби сучасних інформаційних технологій для вирішення задач в сфері прикладної механіки. Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації за галузями. Демонструвати знання закономірностей випадкових явищ, їх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язання задач статичної обробки експериментальних даних і побудови прогнозних моделей. Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислювальних функцій.*

Застосовувати базові знання методів чисельного диференціювання та інтегрування функцій, розв'язання звичайних диференціальних та інтегральних рівнянь, особливості чисельних методів та можливостей їх адаптації до інженерних задач. Застосовувати методи та технічні засоби розрахунків міцності машин з використанням інформаційних технологій.

Міждисциплінарні зв'язки: термодинаміка та теплообмін, деталі машин та основи конструювання, механіка матеріалів та конструкцій.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль № 1

ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Класифікація авіаційних двигунів. Основні параметри. Області використання.

ТЕМА 2. Термодинамічний цикл Брайтона. Залежність питомої роботи від параметрів польоту, температури газу перед турбіною та ступеня підвищення тиску. Покоління ГТД. Формула для визначення тяги. Питома тяга та питома витрата палива. Зміна температури та тиску у характерних перерізах проточної частини.

ТЕМА 3. 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. Трансмісії ГТД, конструкція з'єднувальних муфт. Джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ.

ТЕМА 4. Визначення навантажень та аналіз міцності валів. Аналіз характерних режимів роботи та зміни осьових та радіальних сил, крутного моменту, гіроскопічного моменту. Визначення критичного режиму польоту для аналізу міцності вала та відповідних навантажень. Побудова розрахункової схеми вала.

ТЕМА 5. 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 виготовлення деталей компресорів.

ТЕМА 6. Призначення, умови роботи та вимоги до турбін АД і ЕУ. 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. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.

ТЕМА 7. Призначення, умови роботи та вимоги до камер згоряння АД і ЕУ. Особливості робочого процесу у камерах згоряння. Призначення, умови роботи, конструктивне оформлення та навантаження на основні елементи КЗ: корпуси, дифузори, жарові труби, фронтний пристрій, форсунки, запальвальний пристрій, газозбірник. Особливості форсажних камер. Вібраційне горіння та його вплив на міцність КЗ.

Модульний контроль

Змістовий модуль № 2

ТЕМА 8. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил. Сумарні напруження, коефіцієнт запасу міцності. Розвантаження пера робочої лопатки від згинаючих моментів газових сил моментами від відцентрових сил. Ко-

ефіцієнт розвантаження. Особливості розрахунку лопаток з бандажними полицями, нерівномірно нагрітих лопаток.

ТЕМА 9. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Зведення розрахункових рівнянь диску до системи звичайних диференціальних рівнянь. Граничні умови для суцільного диска та диска із центральним отвором. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини та дисків відцентрових компресорів. Аналіз термонапруженого стану диска на прикладі диска постійної товщини. Визначення запасу міцності диска за еквівалентними напруженнями та за руйнуючою частотою обертання.

ТЕМА 10. Види та форми коливань лопаток. 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.

ТЕМА 11. Коливання дисків. Форми коливань. Сумісні коливання лопаток із дисками.

ТЕМА 12. Коливання роторів. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала. Визначення частот власних поперечних коливань необертового вала з одним диском. Поняття про види прецесії валів. Фактори, що впливають на критичні частоти обертання роторів: вплив розтягуючи сил, вплив обертового моменту, вплив гіроскопічного моменту. Опори роторів. Критична частота обертання ротора з пружно-демпферною опорою. Конструкція опор та їх елементів.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с.р.
1	2	3	4	5	7
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Класифікація авіаційних двигунів. Основні параметри. Області використання.	8	2	2	-	4
ТЕМА 2. Термодинамічний цикл Брайтона.	7	2	1	-	4
ТЕМА 3. Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна.	7	2	-	2	3
ТЕМА 4. Визначення навантажень та аналіз міцності валів.	6	2	2	-	2
ТЕМА 5. Призначення, умови роботи та вимоги до компресорів АД та ЕУ.	6	2	-	2	2
ТЕМА 6. Призначення, умови роботи та вимоги до турбін АД і ЕУ. Робочі лопатки турбін, засоби їх сполучення з диском.	8	2	2	2	2
ТЕМА 7. Призначення, умови роботи та вимоги до камер згоряння АД і ЕУ.	5	1	-	2	2
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	48	14	7	8	19
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 8. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	10	4	2	-	4

ТЕМА 9. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	10	4	2	-	4
ТЕМА 10. Види та форми коливань лопаток. Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін.	15	5	2	4	4
ТЕМА 11. Коливання дисків. Форми коливань. Сумісні коливання лопаток із дисками.	7	2	1	2	2
ТЕМА 12. Коливання роторів. Критична частота обертання невагомого вала з одним диском.	11	2	2	2	5
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 2	54	18	9	8	19
Індивідуальне завдання Розрахункова робота: «Аналіз міцності робочої лопатки та диска»	18				18
Контрольний захід					
Усього годин	120	32	16	16	56

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні типи ГТД	2
2	Аналіз напруженого стану пера робочої лопатки компресора	6
3	Аналіз напруженого стану диска	4
4	Аналіз згинальних коливань моделі лопатки	2
5	Аналіз коливань диска	2
Разом		16

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Силові системи і трансмісії акційних ГТД	4
2	Конструкція компресорів авіаційних ГТД	4
3	Конструкція газових турбін авіаційних ГТД	4
4	Конструкція камер згоряння авіаційних ГТД	4
Разом		16

7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна з використання додаткових літературних джерел та Інтернету	10
2	Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна. З використання додаткових літературних джерел та Інтернету	18
3	Розрахунок на міцність лопаток та дисків компресорів і турбін за допомогою МКЭ.	18
4	Аналіз коливань лопаток компресорів і турбін за допомогою МКЭ	10
Разом		64

8. Індивідуальні завдання

1. Розрахунково-графічна робота на тему: «Аналіз міцності робочої лопатки».

9. Методи навчання

Вивчення теоретичного матеріалу по курсу «Динаміка та міцність АД», вивчення конструкції ГТД та розрахунків на міцність деталей ГТД. Навчання проводиться в аудиторній формі (лекції, лабораторні та практичні заняття) та у формі самостійної роботи.

10. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, фінальний контроль у вигляді заліка.

11. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

11.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...2	4	0...8
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	6...10	4	24...40
Модульний контроль	36...52	1	36...52
Усього за модуль 1			60...100

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліка складається з двох питань. Максимальна кількість балів за відповідь на кожне питання – 50 балів.

11.2 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та захистити індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Мати уяву про вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД різних типів; порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, барабанів, замків, валів, оболонок); режими роботи двигуна, мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна та про вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, барабанів, замків, валів, оболонок); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; мати уяву про вплив конструкційних і експлуата-

ційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна; вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре»). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань; обмеження діапазону використання літального апарата, які дає двигун; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, барабанів, замків, валів, оболонок); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна; вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

13. Рекомендована література

Базова

1. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет деталей / Г. С. Скубачевский. - М. : Машиностроение, 1981.- 552 с.
2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей ; под ред. Д. В. Хромина. - М. : Машиностроение, 1989. - 368 с.
3. Штода, А. В. Конструкция авиационных двигателей / А. В. Штода. – М. : Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1968. – 387 с.
4. Биргер, И. А., Соппротивление материалов : учеб. пособие. / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов, Ю. С. Шошин. - М. : Наука, 1986. – 560 с.
5. Шошин, Ю. С. Основные технические данные маршевых авиационных газотурбинных двигателей СССР, Украины, России : учеб. пособие / Ю. С. Шошин. – Х. : 2002 – 69 с.
6. Шошин, Ю. С. Компрессоры авиационных газотурбинных двигателей : учеб. пособие / Ю.С. Шошин. – Х. 2002 – 26 с.
7. Шошин, Ю. С. Турбины авиационных газотурбинных двигателей : учеб. пособие / Ю. С. Шошин. – Х. 2003 – 37 с.
8. Кравченко, И. Ф. Конструкция и рабочий процесс камер сгорания авиационных газотурбинных двигателей : учеб. пособие / И. Ф. Кравченко, В. Е. Костюк, Ю. А. Гусев. – Х., 2007 – 87 с.
9. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность рабочих лопаток компрессоров и турбин : учеб. пособие / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х., 2006 – 28 с.
10. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность дисков компрессоров и турбин [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Шошин., С. В. Епифанов., Ф. М. Муравченко. – Х., 1998 – 28 с.
11. Полетучий, А. И. Основы конструирования авиационных редукторов / А. И. Полетучий., В. М. Рыдченко. – Х, 1994. - Ч.1 – 335 с., Ч.2 - 28 с.

12. Чигрин, В. С. Конструкція и рабочий процесс камер сгорания авиационных газотурбинных двигателей : учеб. пособие / В. С. Чигрин, А. И. Гаркуша, Ю. А. Гусев. – Х., 2013. – 1 с.7

13. Чигрин, В. С. Конструкція и прочность авиационных двигателей. – Х., Мотор Січ, 2017. – 420 с.

Допоміжна

1. Никитин, Ю. М. Конструирование элементов деталей и узлов авиадвигателей / Ю. М. Никитин - М. : Машиностроение, 1968. - 324 с.

3. Локай, В. И. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов / В. И. Локай. - М. : Машиностроение, 1979. - 447 с.

4. Кириченко, В. И. Редукторы ТВД и вертолетных двигателей : учеб. пособие / В. И. Кириченко. – Х., 1978. - 82 с.

5. Пономарев, В. А. Настоящее и будущее авиационных двигателей / В. А. Пономарев. - М. : Воениздат, 1982. - 240 с.

6. Технические описания авиационных газотурбинных двигателей.

7. Бюргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин / И. А. Биргер, – М. : Машиностроение, 1979, 702 с.

8. Соппротивление материалов ; под ред. Г. С. Писаренко. - К. : Вища шк., 1986. – 775 с.

9. Научный вклад в создание авиационных двигателей ; авторов под общ. научн. ред. В. А. Скибина и В. И. Солонина. - М. : Машиностроение. – 2000. - 616 с.