

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

АННОТАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

по основным профессиональным образовательным программам
послевузовского профессионального образования (аспирантура)
01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» и
05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов»

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Образовательный модуль по научной специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» включает 300 страниц текста, 282 рисунка и 35 таблиц; объем модуля в формате pdf – 31, 327 Мб.

Образовательный модуль по научной специальности 05.07.05 «Тепловые, электро- ракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» включает 480 страниц текста, 140 рисунка и 55 таблиц; объем модуля в формате pdf – 15, 857 Мб.

Каждый модуль включает рабочие программы дисциплин соответствующей научной специальности и 4 образовательных контента для самостоятельного изучения в рамках одной из дисциплин по выбору аспиранта. Планируемая трудоемкость каждой дисциплины – 72 академических часа (2 ЗЕТ).

Полный текст образовательных модулей размещен в корпоративной сети СГАУ, в разделе «Аспирантура».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

В настоящее время перед Самарским государственным аэрокосмическим университетом (СГАУ) как национальным исследовательским университетом (НИУ) стоит задача модернизации процесса подготовки кадров высшей квалификации, заключающаяся в обеспечении большей системности образовательного процесса и перевода его на качественно новый уровень использования информационных технологий, как в теоретических, так и в экспериментальных исследованиях.

С целью обеспечения системности образовательного процесса в СГАУ с 2005 года осуществляется разработка требований к содержанию основных образовательных программ (ООП) подготовки аспирантов по научным специальностям и рабочих программ дисциплин. Модернизация подготовки аспирантов предполагает как усовершенствование содержания таких требований, так и введения в их состав востребованных развитием науки и техники новых дисциплин.

В дополнение к этому для расширения эрудиции аспирантов в области науки, в рамках которой осуществляется их профессиональная деятельность, и знакомства аспирантов с научными направлениями, развиваемыми в СГАУ, целесообразно разработать специальные образовательные контенты.

Научная специальность 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Для совершенствовании подготовки аспирантов по научной специальности 01.02.06 и обеспечения ее полинаправленности в образовательный процесс предполагается ввести следующие новые дисциплины по выбору, обеспечивающие обучение аспирантов в рамках научных направлений, развиваемых в СГАУ: «Динамика и прочность авиационных двигателей и энергетических установок», «Виброзащита технических объектов» и «Динамика гидрогазовых систем», «Механика разрушения», «Механика остаточных напряжений».

Для методического обеспечения подготовки аспирантов по каждой из указанных дисциплин создана рабочая программа и соответствующий образовательный контент.

Образовательный контент по механике разрушения предназначен в первую очередь для подготовки аспирантов кафедры прочности летательных аппаратов. В нем рассмотрены следующие основные вопросы. Оценка влияния диссипативных процессов на механические характеристики и разрушение материалов является одной из основных проблем усталостной прочности. Подход к её решению основан в настоящее время на экспериментально подтвержденных формулах Коффина-Мэнсона и Пэриса. Теоретическое обоснование этих формул опирается на расчеты работы внутренних сил при пласти-

ческом деформировании. Центральной проблемой здесь является описание пластических течений в окрестности концентраторов напряжений и деформаций. Этот вопрос в целом решается на основе пакетов ANSYS и MSC, за исключением окрестностей угловых концентраторов и, в частности, вершины трещины, которые во многом и определяют процессы зарождения и распространения трещин.

Основной задачей разрабатываемого контента по механике разрушения является создание методики расчета пластических течений в окрестности концентраторов деформаций и связанных с ними повреждений материала в технологических процессах изготовления элементов конструкций и их эксплуатации; разработка подхода к оценке влияния на прочность диссипативных процессов в материале при изготовлении и эксплуатации элементов конструкций, связанных с рассеянием механической энергии при пластических деформациях. Этот подход сформулирован в виде деформационно-энергетического критерия разрушения материала, который состоит в обобщении подхода, использованного в задачах малоциклового усталости.

Рассмотрены теоретические основы деформационно-энергетического подхода, определяющие соотношения идеального жесткопластического тела. В качестве основной модели анализа напряженно-деформированного состояния материала принята модель жесткопластического тела, которая позволяет:

- определить критические значения диссипации энергии и установившуюся скорость распространения трещины из стандартных экспериментов по растяжению плоских и цилиндрических образцов при одноосном растяжении-сжатии по величинам относительного удлинения образца и относительного сужения образца при разрушении;
- оценить конечные деформации и удельную диссипацию энергии в частицах, находящихся в окрестности вершины трещины;
- аналитически оценить процесс накопления диссипации энергии в частицах в процессе пластической деформации (количественно оценить малоцикловую усталостную прочность).

В качестве основного условия пластичности предложено новое условие пластичности, связанное с линиями уровня поверхности деформационных состояний идеального несжимаемого жесткопластического тела. Обсуждена проблема неединственности пластического течения идеального жесткопластического тела. Сформулированы деформационно-энергетические критерии разрушения пластического тела и выбора направления распространения трещины. Исследованы особые точки пластического течения. Приведен алгоритм определения критических значений диссипации энергии.

Рассмотрены известные решения задачи о пластическом течении жесткопластической полосы с угловыми вырезами, которые могут быть использованы при моделировании процессов разрушения (зарождения и распространения трещин) в упругопластических телах.

Предложен подход к анализу поля деформаций и адиабатического поля диссипации энергии в окрестности вершины углового выреза.

Исследуется одноосное деформирование и разрушение плоского и цилиндрического образцов. Рассмотрены основные задачи, приводящие к количественной оценке деформационно-энергетических характеристик разрушения конструкционных материалов: растяжение-сжатие плоского образца, растяжение-сжатие цилиндрического образца. Сформулировано обобщение деформационно-энергетического подхода к описанию процессов разрушения для циклических и произвольных «зигзагообразных» процессов деформирования, которое связано с введением новой характеристики материала: удельной работы внутренних сил на пластических деформациях, связанных с упрочнением материала.

Приводится расчет предельных деформаций в окрестности вершины трещины при ее движении. Предложены модели процессов зарождения и распространения трещины при пластическом течении в окрестности углового выреза. Установлена связь между удельной диссипацией энергии частицы при ее движении по предельной траектории и инвариантным J -интегралом. Предложен алгоритм оценки накопления диссипированной работы внутренних сил в частице с использованием J -интеграла. Проведено конечно-элементное моделирование растяжения образца с трещиной (математическим разрезом).

Образовательный контент по остаточным напряжениям и сопротивлению усталости деталей с концентраторами напряжений предназначен в основном для подготовки аспирантов кафедры сопротивления материалов. Данная кафедра на протяжении многих лет является ведущей школой в области механики остаточных напряжений. Основоположителем данного научного направления является доктор технических наук, профессор Иванов С.И. Контент аккумулирует результаты исследований кафедры по изучению, распределению остаточных напряжений в деталях и образцах с концентраторами напряжений и их влиянию на сопротивление многоциклового усталости.

Подробным образом рассмотрены методики определения остаточных напряжений в гладких образцах и в образцах с концентраторами после различных видов поверхностного упрочнения. Изложена методика определения дополнительных остаточных напряжений, возникающих после нанесения надреза на гладкую упрочненную деталь.

Представлена методика проведения испытаний на усталость, дано описание машин и испытательных комплексов для проведения испытаний на усталость при нормальной

температуре. Данное испытательное оборудование позволяет проводить испытания на усталость при чистом изгибе с вращением, при поперечном изгибе, при растяжении-сжатии как в случае симметричного цикла, так и с различной степенью асимметрии, при кручении, при сложных видах деформации (кручение с изгибом, кручение с растяжением). Рассмотрен вопрос статистической обработки результатов испытаний на усталость как по ГОСТу, так и по методу ступенчатой нагрузки ((метод «вверх-вниз»)).

Одним из важных вопросов механики остаточных напряжений является установление связи между остаточными напряжениями и сопротивлением деталей усталости. Особую значимость эта задача приобрела в связи с широким применением на практике различных методов поверхностного упрочнения, приводящих к существенному увеличению характеристик сопротивления усталости, особенно в условиях концентрации напряжений. Наиболее актуально выявление зависимости сопротивления усталости от остаточных напряжений для деталей с концентраторами, так как разрушение этих деталей происходит, как правило, в местах нарушения призматической формы.

Рассмотрены два критерия учёта влияния остаточных напряжений на предел выносливости. Первым критерием являются остаточные напряжения на поверхности концентратора. Он может быть применён для расчёта предела выносливости по трещинообразованию. Однако, как следует из наших исследований, при рассмотрении предела выносливости по разрушению этот критерий оказывается несостоятельным в связи с наличием нераспространяющихся трещин. В связи с этой особенностью сопротивления усталости логично принять за искомый критерий остаточные напряжения на дне трещины, в качестве которых следует рассматривать дополнительные остаточные напряжения, возникающие за счёт перераспределения остаточных усилий детали в результате образования трещины.

На практике при обработке деталей механическими способами, в том числе поверхностным пластическим деформированием (ППД), наблюдается подповерхностный максимум сжимающих остаточных напряжений, то есть к поверхности напряжения уменьшаются. Этот спад часто является весьма существенным, иногда остаточные напряжения снижаются к поверхности до нуля и даже становятся растягивающими. Однако увеличение предела выносливости по разрушению наблюдается и в этих случаях. Какие же остаточные напряжения принимать в расчёт при вычислении приращения предела выносливости в таких случаях? Логично учитывать не только напряжения на поверхности концентратора, но и напряжения в приповерхностных слоях. Для расчетов в качестве критерия принят критерий среднеинтегральных остаточных напряжений, который имеет чётко выраженный физический смысл – остаточное напряжение на дне трещины с точностью до постоянного коэффициента, зависящего от радиуса у дна трещины и её глубины. Возможность использо-

вания предлагаемого критерия учета влияния остаточных напряжений на предел выносливости в условиях концентрации напряжений подтверждается приведёнными результатами экспериментов.

В работе рассмотрено влияние остаточных напряжений, возникающих в упрочнённых различными методами деталях с концентраторами, на сопротивление усталости.

Изучены и представлены остаточные напряжения в упрочнённых деталях с концентраторами напряжений с учетом трех факторов: технологических, конструктивных и эксплуатационных.

К технологическим факторам относятся вид и режимы упрочняющей обработки, материал детали, короткие зоны упрочнения, к конструктивным - размеры поперечного сечения детали, в том числе и диаметр отверстия, тип и размеры концентратора, к эксплуатационным - тип деформации, асимметрия цикла напряжений, повышенная температура. Представлено также совместное и раздельное влияние остаточных напряжений и наклёпа в условиях концентрации напряжений.

Установлено, что на характеристики сопротивления усталости деталей оказывает существенное влияние не только величина, но и характер распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя.

Так при изучении технологических факторов было показано, что при плоском напряжённом состоянии остаточные напряжения могут быть выше предела текучести на 15%, то есть применительно к упрочнённому слою остаточные напряжения могут превышать сопротивление разрыву на 15%.

Показано также, что наклёп без остаточных напряжений в условиях концентрации не влияет на предел выносливости. Отмечено, что величину напряжений в детали с надрезом определяет не только наибольшая величина остаточных напряжений гладкой детали, но и характер их распределения.

Проведённые эксперименты показали, что такие конструктивные факторы, как тип и размеры поперечного сечения детали не оказывают влияния на коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению. Выявлено, что глубина распространяющейся трещины усталости в упрочнённой детали с концентратором определяется только размерами поперечного сечения и не зависит от вида поверхностного упрочнения, материала, последовательности изготовления и упрочнения концентратора, наклёпа, типа и размеров концентратора, величины сжимающих остаточных напряжений, типа деформации и асимметрии цикла напряжений.

Проведенные эксперименты показали, что оценку приращения предела выносливости упрочнённых деталей можно проводить по критерию среднеинтегральных остаточных

напряжений, приняв коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению равным 0,36. Для расчёта, кроме остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя опасного сечения детали, необходимо знать критическую глубину нераспространяющейся трещины усталости. При анализе результатов измерения глубины усталостной трещины установлено, что её величина определяется только размерами поперечного сечения детали.

Необходимо заметить, что изложенная теория учёта влияния остаточных напряжений при прогнозировании предела выносливости гладких деталей применима только в том случае, когда остаточные напряжения в этих деталях не изменяются под действием переменных нагрузок.

Контент по теоретическим основам высокоэффективных виброизоляторов посвящен актуальным проблемам повышения надежности аэрокосмической техники и машиностроения за счет применения новейших методов и средств виброударозащиты ее основных деталей, узлов, агрегатов и аппаратуры. Приведены основы расчетов гистерезисных систем с сухим, вязким и комбинированным сопротивлением. Даны основные понятия эффективности средств виброзащиты и частотные диапазоны их рационального применения. Показано, что из-за статической осадки защищаемых объектов теоретические диапазоны эффективности средств виброизоляции ограничены, но достаточны для создания надежной техники. Впервые системно рассмотрены особенности математического описания пространственных упругогистерезисных систем. Показано, что жесткостные свойства таких систем могут быть корректно описаны только с помощью теории гиперкомплексных чисел, - кватернионов и комплексных параметров. Доказано, что формы гистерезиса при плоском и трехмерном движении объектов виброзащиты при любой природе сопротивления (рассеяния энергии) имеют сходные (идентичные) очертания. Приведены конструктивные схемы современных средств виброзащиты, разработанных на базе представленной теории гистерезисных систем и, в большинстве случаев, внедренных в различных отраслях техники.

В контенте по динамике гидравлических и газовых систем дано описание динамических процессов, протекающих в гидравлических и пневматических системах летательных аппаратов и других энергетических установок. Изложены методы исследования динамических процессов в гидро – и пневмосистемах, представленных в сосредоточенных и распределенных параметрах: методы передаточных и частотных функций; импедансный метод, метод характеристик и фазовых траекторий; Simulink – как эффективное средство моделирования динамических процессов. Рассмотрены решения задач по изучению виброакустических характеристик агрегатов, динамических процессов в топливной системе

самолетов, в системе наддува баков ракетных комплексов, в газовых измерительных цепях. Приведены конструктивные схемы, описаны принципы действия гасителей и примеры их применения в гидро – и пневмосистемах. Показаны пути дальнейшего совершенствования систем применением элементов дискретной автоматики. Представлено оборудование и измерительно-обрабатывающий комплекс датчиков и аппаратуры для экспериментальных исследований гидравлических и пневматических систем летательных аппаратов.

Научная специальность 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Для совершенствовании основной образовательной программы подготовки аспирантов по научной специальности 05.07.05 – Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов в 2011 году создано методическое обеспечение в составе:

- требований к содержанию ООП подготовки аспиранта по научной специальности 05.07.05;
- рабочих программ дисциплин по блокам специальных дисциплин отрасли наук и научной специальности;
- рабочих программ по факультативным дисциплинам;
- рабочей программы по педагогической практике;
- образовательных контентов по следующим четырем модулям – разделам учебных дисциплин: «Проектирование опор и уплотнений авиационных двигателей», «Ракетные двигатели малой тяги», «Технологические методы обеспечения надежности двигателей летательных аппаратов» и «Системы охлаждения двигателей летательных аппаратов».

При усовершенствовании требований к содержанию ООП подготовки аспирантов по научной специальности 05.07.05 и формировании состава дисциплин были учтены следующие моменты.

Для обеспечения полинаправленности подготовки аспирантов в состав дисциплин по выбору аспиранта в блок специальных дисциплин отрасли наук и научной специальности были введены такие дисциплины, как «Газотурбинные двигатели», «Ракетные двигатели» и «Двигатели внутреннего сгорания». Эти дисциплины предназначены для расширения эрудиции аспирантов в отрасли наук, в области которых предполагается выполнение диссертационной работы.

Для знакомства аспиранта с научным направлением, в рамках которого предполагается выполнение исследований, предусмотрены такие дисциплины как:

- «Теория воздушно-реактивных двигателей и газотурбинных энергетических установок»;

- «Теория ракетных двигателей и энергетических установок космических аппаратов»;
- «Рабочие процессы камер сгорания газотурбинных двигателей»;
- «Теория и расчет лопаточных машин»;
- «Проектирование и конструкция газотурбинных двигателей»;
- «Проектирование и конструкция ракетных двигателей»;
- «Инновационные технологии производства двигателей летательных аппаратов».

В блоке факультативных дисциплин для формирования навыков использования в исследованиях информационных технологий введены дисциплины «Компьютерные технологии поддержки проектирования» и «Интегрированные информационные технологии».

Образовательный контент по проектированию опор и уплотнений авиационных двигателей предназначен в основном для аспирантов кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, на которой развивается научное направление по исследованию функционирования и разработке методик проектирования разнообразных опор и уплотнений валов авиационных газотурбинных двигателей (ГТД).

Разделы образовательного контента по опорам включают в себя классификацию опор, анализ конструктивно – силовых схем опор и организацию подвода и отвода смазки, а также вопросы конструкционной прочности опор.

В разделах, посвященных уплотнениям, рассматриваются вопросы выбора уплотнений опор роторов авиационных ГТД, представлены сравнительный анализ уплотнений и методы расчета различных типов уплотнений. Кроме того, в образовательном контенте рассмотрена работа гидравлических демпферов и демпферов сухого трения.

Образовательный контент по ракетным двигателям малой тяги (РДМТ) предназначен в основном для аспирантов кафедры теории двигателей летательных аппаратов, на которой развивается научное направление по исследованию рабочего процесса малоразмерных жидкостных и газовых ракетных двигателей. В этом образовательном контенте рассмотрена история разработок РДМТ и области их применения. Приведены особенности организации рабочего процесса РДМТ на газообразном топливе, проанализированы конструктивные схемы химических генераторов концентрических потоков энергии. Особое внимание уделено воспламенению газообразного топлива в условиях РДМТ.

Далее в контенте рассмотрена струя продуктов сгорания РДМТ как инструмент струйных технологий, описаны установки на основе химических генераторов концентрированных потоков энергии. Проведен анализ термодинамических и теплофизических свойств топлив ракетных двигателей малой тяги, физико-химических свойств горючих,

окислителей и продуктов их сгорания. Рассмотрено преобразование энергии в струе продуктов сгорания.

Образовательный контент по технологическим методам обеспечения надежности двигателей летательных аппаратов предназначен для аспирантов кафедры производства двигателей летательных аппаратов, где разрабатываются способы и средства повышения качества поверхностного слоя деталей авиационных и ракетных двигателей. В первых разделах образовательного контента рассмотрена статистика отказов двигателей летательных аппаратов и методы обеспечения их надежного функционирования, приведены инженерно – физические показатели надежности и проанализированы наиболее часто встречающиеся требования конструкторской документации по обеспечению надежности.

В дальнейшем рассмотрена организация работ по устранению дефектов и отказов при доводке изделий и их опытной эксплуатации, обеспечению надежности ДЛА в условиях серийного производства. Особое внимание уделено параметрам качества поверхностного слоя, влиянию этих параметров на эксплуатационные свойства деталей, а также технологическим аспектам создания поверхностей со специальными свойствами.

Образовательный контент по системам охлаждения ДЛА предназначен в основном для аспирантов кафедры теплотехники, где проводятся исследования по разработке способов, систем и устройств для охлаждения и термостатирования приборов и целых отсеков космических аппаратов. В первых разделах контента дается общее представление о процессах охлаждения, термостатирования и обосновывается актуальность систем охлаждения для двигателей летательных аппаратов, изложены теоретические основы процессов охлаждения. Дано общее описание и краткая характеристика применяемых методов отвода тепла от работающего двигателя. Рассмотрены основные условия и предпосылки проектирования и расчёта жидкостных и воздушных систем охлаждения двигателей. Приведены методики теплового и гидравлического расчёта основных агрегатов систем охлаждения.

Далее описаны конструкции теплообменных аппаратов, применяемых в системах охлаждения ДЛА, рассмотрены системы охлаждения основных типов двигателей летательных аппаратов: поршневых двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и ракетных двигателей. Особое внимание уделяется современным тенденциям в расчете и проектировании систем охлаждения двигателей летательных аппаратов. Здесь представлена методика моделирования тепловых и газодинамических процессов в элементах системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания с использованием CAD/CAE – технологий.

Весь перечисленный выше комплекс методических разработок позволяет обеспечить доступ в интерактивном режиме и подразумевает интенсификацию создания и внедрения современных электронных дистантных (дистанционных) систем и программных сервисов.