

*К 170-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана
и 40-летию кафедры СМ-2
«Аэрокосмические системы»*

**Студенческая
научно-техническая конференция
Аэрокосмического факультета
МГТУ им. Н.Э. Баумана
при НПО машиностроения
*23 мая 2000 г.***



**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
и комментарии**

Москва
Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана
2000



*1 июля 2000 года
исполнилось 170 лет
со дня подписания
Императором Николаем I
Указа об образовании
ремесленного учебного
заведения – ныне
МГТУ им. Н.Э. Баумана –
для подготовки
«искусных мастеров
с теоретическими
... сведениями»*

*40 лет назад
Генеральный конструктор
ракетно-космической
техники
академик В.Н. Челомей,
основатель
НПО машиностроения,
создал в МГТУ
имени Н.Э. Баумана
кафедру СМ-2
«Аэрокосмические системы»*

УДК 629.78
ББК 39.53
С 88

С88 Студенческая научно-техническая конференция Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана при НПО машиностроения: Тезисы докладов и комментарии. (к 170-летию МГТУ имени Н.Э. Баумана и 40-летию кафедры СМ-2 «Аэрокосмические системы») /Под редакцией Симоньянца Р.П. – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2000. – 56 с., ил.

ISBN5-7038-1714-5

Сборник содержит краткие описания научных работ студентов Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, выполненных в 1999/2000 учебном году в области теории колебаний, динамики упругих конструкций, механике полета и управления КЛА, математического моделирования, компьютерных технологий обработки и анализа данных радиолокационного зондирования земной поверхности из космоса, информационных систем.

Приведены комментарии руководителей научных работ. Отражена связь работ с непрерывной научно-производственной практикой студентов в НПО машиностроения.

**УДК 629.78
ББК 39.53**

Под редакцией
декана факультета
к.т.н., доцента
Симоньянца Р.П.

Компьютерная верстка
Куркова М.А.

107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.
Телефоны: 307-05-90, 528-63-38

143952, Московская область, г. Реутов,
ул. Гагарина, 33

ISBN5-7038-1714-5

© Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Аэрокосмический факультет, 2000

© Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2000
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

Студенческая
научно-техническая конференция
Аэрокосмического факультета
МГТУ имени Н.Э. Баумана
при НПО машиностроения
23 мая 2000 г.

Тезисы докладов и комментарии

К 170-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана
и 40-летию кафедры СМ-2
«Аэрокосмические системы»

С о д е р ж а н и е

| | |
|--|----|
| О работе СНТК Аэрокосмического факультета 23 мая 2000 г. | 4 |
| Юбилейные даты: 170 лет МГТУ им. Н.Э. Баумана и 40 лет кафедре «Аэрокосмические системы» Декан Аэрокосмического факультета к.т.н., доцент Симоньянц Р.П. | 7 |
| 1.1. Расчет аэродинамических характеристик бесконечно тонких крыльев в несжимаемом потоке при малых углах атаки с использованием метода дискретных вихрей Студент 3-го курса (АК2-61) Шукин Д.А. Научный руководитель: начальник НИО 02-22, к.т.н. Давтян А.А. | 9 |
| 1.2. О форме записи разрешающих уравнений изгиба балок и пластин по теории С.П. Тимошенко Студент 4-го курса (АК1-81) Авраменко А.Ю. Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Дмитриев С.Н. | 10 |
| 1.3. Оценка влияния случайных аддитивных и мультипликативных вибраций на динамическую систему Студент 7-го года обучения(каф. СМ-2) Зайцев С.Э. Научный руководитель: д.т.н., профессор каф. СМ-2 Тушев О.Н. | 11 |
| 1.4. Метод решения краевых задач механики деформирования тонкостенных конструкций: прочность, устойчивость, колебания Студенты 3-го курса (АК1-61) Биденко Д.М. и Гудилин Д.С. Научный руководитель: д.т.н., доцент каф. СМ-2 Клюев Ю.И. | 12 |
| II. Проектирование | |
| 2.1. О перспективах создания гиперзвукового некрылатого летательного аппарата Студент 6-го курса (АК1-Д1) Асатуров С.М. Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Зеленцов В.В. | 13 |
| 2.2. Исследование старта одноступенчатого воздушно-космического самолета Студент 4-го курса (АК1-81) Крылов В.А. Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Зеленцов В.В. | 14 |
| 2.3. Исследование путей повышения надежности и эффективности работы капиллярного заборного устройства (КЗУ) Студент 6-го курса (АК1-Д1) Булаев А.А. Научный руководитель: Куранов Е.Г. | 16 |
| Цикл работ по направлению «Конструирование электроприводов исполнительных механизмов космических летательных аппаратов (КЛА)» Предисловие к работам 2.4.-2.9. Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. РК-3 Рузина Р.Н. | 17 |

- 2.4. **Механизм выдвижения антенны: конструкция электропривода, обоснование выбора микроэлектродвигателя**
Студент 3-го курса (АК1-61) Биденко Д.М.17
- 2.5. **Откидной механизм оптического устройства: конструкция электропривода, предохранительная и тормозная муфта**
Студент 3-го курса (АК2-61) Карасев А.В.18
- 2.6. **Анализ структурных схем электроприводов по критерию надежности на стадии проектирования. Конструкция привода механизма ориентации солнечной батареи**
Студентка 3-го курса (АК1-61) Тимофеева М.Е.19
- 2.7. **Оценка ресурса привода механизма ориентации солнечной батареи на этапе проектирования**
Студент 3-го курса (АК2-61) Гудилин Д.С.19
- 2.8. **Электропривод поворотного устройства датчика вертикали. Конструкции конического дифференциала и муфты необратимого вращения**
Студенты 3-го курса (АК2-61) Шевченко И.М. и Шукин Д.А.20
- 2.9. **Электропривод механизма раскрытия люка научной аппаратуры. Особенности компоновки, обеспечивающие минимизацию размеров и высокую компактность привода**
Студенты 3-го курса (АК1-61) Жигалов А.В. и Хоботьев Г.С.21

III. Системы управления

- 3.1. **Синтез алгоритмов программной терминальной стабилизации маневра летательного аппарата методом полиэдрального программирования**
*Студент 7-го года обучения (каф. ИУ-1) Белоусов И.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ИУ-1 Филимонов Н.Б.
Консультант: к.т.н., начальник НИС, доцент АКФ Плавник Г.Г.22*
- 3.2. **Стабилизация скорости движения снаряда-дефектоскопа в магистральном трубопроводе**
*Студент 4-го курса (АК2-81) Комолов А.В.
Научный руководитель: начальник сектора 02-23-01 Сабиров Ю.Р.24*
- 3.3. **Выбор проектных параметров пирогидравлического агрегата для раскрытия решетчатых рулей в процессе движения изделия в плотной среде**
*Студент 7-го года обучения (каф. СМ-2) Кропотин В.В.
Научный руководитель: начальник сектора 02-23-01 Сабиров Ю.Р.26*
- 3.4. **Оценка энергетических затрат на стабилизацию КЛА на геостационарной орбите**
*Студент 6-го курса (АК1-Д1) Титов В.Е.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Симоньянц Р.П.27*
- 3.5. **О возможности гравитационной стабилизации КЛА при выполнении орбитальных маневров электрореактивными двигателями**
*Студенты 4-го курса (АК1-81) Артемьев А.А., Крылов В.А. и Сорокин С.П.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Симоньянц Р.П.27*
- 3.6. **Синтез дискретного регулятора в системе управления упругим ЛА**
*Студент 7-го года обучения (каф. ИУ-1) Афонин В.В.
Научные руководители: к.т.н., начальник НИО 02-20, доцент АКФ Плавник Г.Г.
доцент каф. ИУ-1 Зуев А.Г.28*
- 3.7. **Современное состояние и перспективы развития гироскопических чувствительных элементов для ракет и космических аппаратов**
*Студент 6-го курса (ПС1-Д1, Авиамоторная) Рошков В.А.
Научные руководители: декан фак. ПС, к.т.н., доцент Герди В.Н.,
зам. Главного конструктора НИИ ПМ им. академика В.И. Кузнецова,
д.т.н., профессор Решетников В.И.30*

IV. Информационные технологии

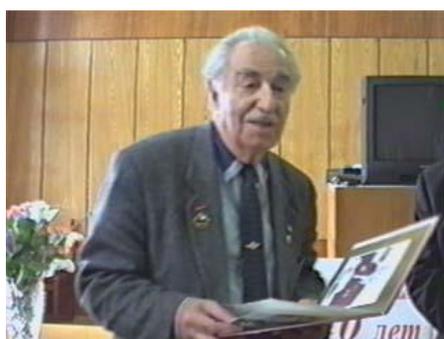
- 4.1. **Задача моделирования интерферометрической съемки поверхности Земли радиолокатором с синтезированной апертурой**
*Студент 5-го курса (АК3-101) Чемякин Э.В.
Научные руководители: вед. инженер отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.31*
- 4.2. **Объектно-ориентированное решение задачи многомерного поиска в больших массивах данных**
*Студент 3-го курса (АК3-61) Дзегания А.Ю.
Научный руководитель: зам. начальника отдела КИТ 11-04 Соболев А.В.32*

| | |
|--|----|
| 4.3. Семантический анализатор текста | |
| <i>Студент 3-го курса (АК5-61) Воробьев А.С.</i> | |
| <i>Научный руководитель: зам. начальника отдела КИТ 11-04 Соболев А.В.</i> | 34 |
| 4.4. Информационная единица типа 3D модели | |
| <i>Студент 3-го курса (АК3-61) Листаров А.А.</i> | |
| <i>Научный руководитель: зам. начальника отдела КИТ 11-04 Соболев А.В.</i> | 35 |
| 4.5. Лазерный мониторинг атмосферных аэрозолей | |
| <i>Студент 1-го курса (АК5-21) Айдин В.С.</i> | 37 |
| 4.6. Использование точных трехмерных моделей в процессе разработки | |
| <i>Студент 3-го курса (АК4-61) Рудяев В.А.</i> | |
| <i>Научный руководитель: зам. начальника отдела 01-01 Свинцов А.В.</i> | 38 |
| 4.7. Задача оптимального представления графа | |
| <i>Студент 1-го курса (АК5-21) Качинский И.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ИУ-6 Ничушкина Т.Н.</i> | 39 |
| 4.8. Реализация арифметики многократной точности | |
| <i>Студент 4-го курса (АК3-81) Бабенко В.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: зам. начальника отдела КИТ 11-04 Соболев А.В.</i> | 40 |

V. Математическое моделирование

| | |
|--|----|
| 5.1. Моделирование и разработка средств для автоматизированного проектирования сотовых конструкций | |
| <i>Студент 5-го курса (АК3-101) Угодин С.А.</i> | |
| <i>Научный руководитель: академик РАИИ, профессор, д.ф.-м.н. Дмитриенко Ю.И.</i> | 41 |
| 5.2. Моделирование термомеханических процессов в цилиндрических оболочках из композитов при лазерном нагреве | |
| <i>Студент 6-го курса (АК3-Д1) Минин В.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: академик РАИИ, профессор, д.ф.-м.н. Дмитриенко Ю.И.</i> | 42 |
| 5.3. Расчет давления на поверхности осесимметричных тел. Расчет отхода ударной волны | |
| <i>Студент 6-го курса (АК3-Д1) Савченко А.А.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.ф.-м.н., начальник НИС Котенев В.П.</i> | 43 |
| 5.4. Метод непараметрической экстраполяции сигналов | |
| <i>Студент 4-го курса (АК3-81) Корепанов А.С.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-2 Кутыркин В.А.</i> | 45 |
| 5.5. Анализ лазерного дистанционного зондирования Земли из космоса с помощью генетического алгоритма | |
| <i>Студент 6-го курса (АК3-Д1) Мишин А.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ФН-2 Алехнович В.И.</i> | 48 |
| 5.6. Фрактальной и топологической размерности в евклидовых пространствах | |
| <i>Студенты 2–3-го курса (АК3-41 и АК3-61) Коновалова М.Д. и Сотников П.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-2 Наниев В.С.</i> | 49 |
| 5.7. Прогнозирование орбитального движения искусственного спутника Земли | |
| <i>Студенты 5-го курса (АК3-101) Алексева В.А. и Сысенко Д.В.</i> | |
| <i>Научные руководители: вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.,</i> | |
| <i>к.т.н., доцент каф. ФН-2 Краснов И.К.</i> | 50 |
| 5.8. Определение вращения модели на начальном участке гидробаллистической траектории при помощи лазерных технологий | |
| <i>Студент 4-го курса (АК3-81) Братчев А.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.ф.-м.н., Плюснин А.В.</i> | 51 |
| 5.9. Моделирование пространственно – армированных композиционных материалов методом конечных элементов | |
| <i>Студент 5-го курса (АК3-101) Кашкаров А.И.</i> | |
| <i>Научный руководитель: академик РАИИ, профессор, д.ф.-м.н. Дмитриенко Ю.И.</i> | 53 |
| 5.10. Восстановление плотности функции распределения и моментов случайной величины | |
| <i>Студент 4-го курса (АК3-81) Коптев П.В.</i> | |
| <i>Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ФН-2 Краснов И.К.</i> | 55 |

О работе СНТК Аэрокосмического факультета 23 мая 2000 г.



Студенческая научно-техническая конференция (СНТК-2000) посвящена двум юбилейным датам: 170-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана и 40-летию кафедры СМ-2 «Аэрокосмические системы». Было представлено 37 докладов студентов факультета АК. Из них 17 – от кафедры СМ-2, 14 докладов – от ФН-2, 3 – от ИУ-1 и 3 – от ИУ-6. Выступили 39 студентов АКФ, т.е. 11% от общего числа студентов факультета. Среди докладчиков на СНТК-2000 четыре студента 7-го года обучения, 6 дипломников, 5 пятикурсников, 12 студентов 3-го курса, один второкурсник и 2 первокурсника. Все работы студентов 6-го и 7-го курсов выполнены в рамках дипломных проектов и квалификационных работ, которые им предстоит в июне защищать на заседаниях ГАК. Выступление на СНТК перед столь авторитетной аудиторией (почти весь состав ГАК присутствовал на конференции) – отличная апробация работы.

В работе СНТК-2000 приняли участие более 90 человек. В числе сотрудников предприятия были: зам. Генерального конструктора и генерального директора В.П. Царев, зам. Главного конструктора, лауреат Государственной премии, к.т.н., доцент Д.А. Минасбеков, ветеран предприятия А.С.Шехоян, руководители проектно-исследовательских подразделений НПО машиностроения и руководители практики, ведущие специалисты: к.ф.-м.н., доцент А.А.Бондаренко, лауреат Государственной премии, д.т.н., профессор И.С. Епифановский, Г.А. Ефремова, к.т.н., доцент А.Е. Григорьев, А.Н. Горяев, к.т.н. А.А. Давтян, к.ф.-м.н., доцент В.П. Котенев, Е.Г. Куранов, к.т.н., доцент Г.Г. Плавник, к.т.н., доцент В.А. Романов, Ю.Р. Сабиров, к.т.н., доцент Э.Д. Суханов, А.В. Свинцов, А.В. Соболев, к.т.н., доцент А.В. Туманов, доцент В.М. Чех, И.Е. Чифиров.

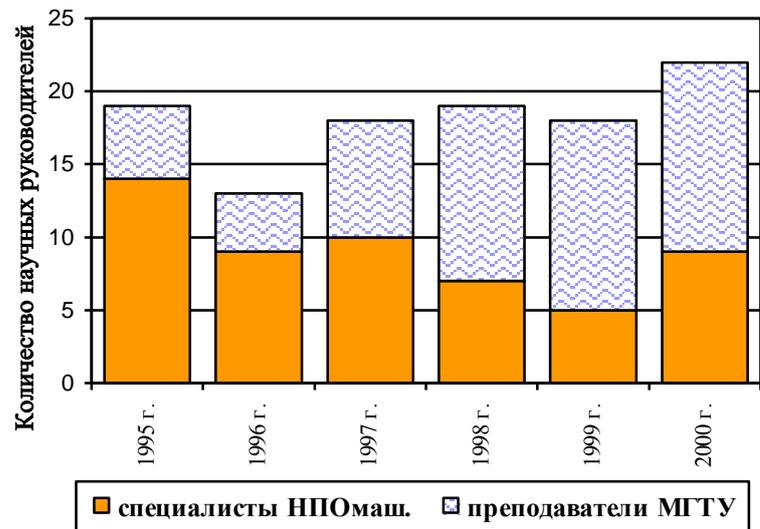
В числе преподавателей МГТУ были: декан отраслевого приборостроительного факультета (Авиамоторная), к.т.н., доцент В.Н. Герди, начальник Управления кадров МГТУ, доцент Л.С. Митюшкин, заведующий кафедрой СМ-2, д.т.н., профессор О.Н. Тушев и преподаватели кафедры СМ-2, д.т.н., профессор С.В. Аринчев, к.т.н, доценты кафедры СМ-2 В.А. Грибков, С.Н. Дмитриев, В.В. Зеленцов, В.И. Никитенко; заведующий кафедрой ФН-2, Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор В.С. Зарубин и преподаватели кафедры ФН-2 д.ф.-м.н., академик РАИН, профессор Ю.И. Димитриенко, д.т.н., профессор А.Н. Димитриенко, к.ф.-м.н., доцент В.А. Кутыркин, д.т.н., профессор Б.Г. Попов, к.т.н., доцент В.Н. Тимофеев; преподаватели кафедры ИУ-1 доцент А.Г. Зуев и к.т.н., доцент Н.Б. Филимонов; к.т.н., доцент каф. РК-3



Р.Н. Рузина; к.т.н., доцент каф. ИУ-4 В.В. Макачук; ст. преп. каф. РК-1 А.Г. Корнеева и др.

Как обычно, на конференцию пришли практически все научные руководители работ. И почти все они давали комментарии, задавали вопросы, делали замечания. Участие научных руководителей в прениях невозможно переоценить: царил дух творчества. Перманентное заседание СНТК-2000 длилось три часа, но никто не скучал. Эти часы промчались незаметно и дали много полезного и авторам, и их руководителям, и всем остальным участникам.

На конференции 2000 г. были представлены студенческие работы, выполненные под руководством двадцати двух специалистов. Из них 41% – сотрудники НПО машиностроения. Следует заметить, что уменьшение количества специалистов предприятия, которые руководят студенческими работами, стало почти тенденцией (см. диаграмму ниже). Такое положение не способствует закреплению студентов на рабочих местах предприятия, что и тревожит.



Конференцию открыл декан факультета АК, посвятив свое выступление юбилейным датам. Затем с пленарными докладами выступили именные стипендиаты Аэрокосмического факультета: стипендиат Президента России Сергей Зайцев (каф. СМ-2), стипендиат Президента России Владимир Афонин (каф. ИУ-1), стипендиат Правительства России Андрей Корепанов (каф. ФН-2), стипендиат Ученого Совета МГУ Иван Белоусов (каф. ИУ-1).

Руководители подразделений предприятия уже привыкли находить на СНТК среди докладчиков пополнение своего коллектива. Правда, многие из выступающих студентов уже определили свою судьбу на предприятии, но не все и не окончательно. Однако есть замечательная возможность пообщаться с университетскими преподавателями, завязать творческие контакты. А через преподавателей – прямая дорога к золотым головам наших талантливых студентов.



Выступая в прениях после докладов В. Афонина и И. Белоусова, начальник НИС, к.т.н., доцент Г.Г. Плавник сказал: «Я хочу выразить благодарность факультету за подготовку таких замечательных людей, как В. Афонин и И. Белоусов, волей судьбы попавших в наш коллектив. Они – готовые, великолепные инженеры!».

Продолжили конференцию телевизионные стендовые доклады. После демонстрации каждой короткой видеозаписи авторы отвечали на вопросы аудитории, научные руководители комментировали работы. Все доклады были сгруппированы по тематическим направлениям, соответствующим специальностям выпускающих кафедр. К конференции был подготовлен экспресс-выпуск сборника тезисов докладов и роздан участникам. Плакаты к докладам заранее размещены на стендах в зале, пронумерованы в соответствии с тезисами и размноженными программами. На груди каждого докладчика также была табличка с соответствующим номером, именем и фамилией автора.

В разделе «Проектирование» к.т.н., доцент кафедры РК-3 Р.Н. Рузина представила цикл работ студентов 3-го курса, выполненных по тематике проектно-конструкторских подразделений, разрабатывающих электроприводы исполнительных механизмов КЛА.

Доклады в разделе «Информационные технологии» сделали студенты разных специальностей: 4 (половина всех докладов) сделали студенты кафедры ФН-2, один доклад – студент кафедры ИУ-1 и 3 доклада – кафедры ИУ-6. Студент 3-го курса кафедры ИУ-1 В.Рудяев продемонстрировал созданный им компьютерный фильм-доклад, который вызвал большой интерес и множество вопросов. Два доклада сделали студенты 1-го курса Вячеслав Айдин и Иван Качинский. Их работы отличались необычайной для первокурсников глубиной разработки.

Работы, представленные в разделе «Математическое моделирование» отличались разнообразием тем, их практической направленностью и новизной. Исключение – совместная работа академического плана, выполненная студенткой 2-го курса Майей Коноваловой и студентом 3-го курса Павлом Сотниковым. Их доклад вызвал оживленную дискуссию.

На СНТК-2000 выступил и гость Аэрокосмического факультета – студент 6-го курса Приборостроительного отраслевого факультета (Авиамоторная) В. Рыжков.

Завершилась конференция выступлением заведующего кафедрой ФН-2, профессора В.С. Зарубина. Он поделился впечатлениями: «Очень серьезные работы. Я думаю, все мы получили большое удовольствие. Конференция оправдывает слова ректора МГТУ И.Б. Федорова, которые он сравнительно недавно высказал на юбилее декана: факультет АК – это прообраз вуза третьего тысячелетия. На сегодняшней конференции мы в этом убеждаемся».



**Юбилейные даты: 170 лет МГТУ им. Н.Э. Баумана
и 40 лет кафедре «Аэрокосмические системы»**



Декан Аэрокосмического факультета
к.т.н., доцент **Симоньянц Р.П.**

170 лет назад, 1 июля 1830 г., Император Николай I подписал Указ об образовании ремесленного учебного заведения – ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана – для подготовки «искусных мастеров с теоретическими ... сведениями». Базой послужили учрежденные в 1826 г. Императрицей Марией Федоровной «большие мастерские разных ремесел» для мальчиков-сирот воспитательного дома, которые размещались в Немецкой слободе Москвы во вновь отстроенном архитектором Д. Жилярди после пожара 1812 г. дворце. Центральную часть исторического здания училища украшает скульптурная композиция «Минерва» известного скульптора И.П. Витали.

С 1868 г. училище – высшее учебное заведение (Императорское московское техническое училище, ИМТУ), получившее признание в Европе и во всем мире за его стройную и высокоэффективную систему обучения. Система эта, известная как «русский метод» практической подготовки, основана на научном анализе производственного процесса. Большое значение придается научно поставленному эксперименту в хорошо оснащенной лаборатории.

В 1903 г. ИМТУ признано лучшим машиностроительным вузом России. С 1917 г. переименовано в МВТУ (имя Н.Э. Баумана присвоено МВТУ в 1930 г.) и стало быстро развиваться. Создаются все новые и новые факультеты, кафедры, лаборатории. Многие из них, отделившись, превратились в самостоятельные вузы, научные и проектные организации. Среди них известные всем МАИ, МЭИ, МИФИ, МИХМ, МИСИ, Московский текстильный институт, Военная академия химзащиты, Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского, ЦАГИ, ВИАМ, ЦИАМ и др.

«Русский метод» обучения, постоянно развиваясь и совершенствуясь, дает великолепные результаты. Хорошо подготовленные выпускники быстро добиваются исключительно высоких, выдающихся результатов. Имена многих из них стали гордостью отечественной и мировой науки и техники. Так, например, академик Н.А. Доллежалъ (окончил МВТУ в 1923 г.) создал первый ядерный реактор; академик С.А. Лебедев (1928 г.) – создатель первых электронно-счетных машин (БЭСМ); академик С.П. Королев (1930 г.) – создатель ракетно-космических систем, осуществивший запуск первого в истории человечества искусственного спутника Земли и первого пилотируемого космического аппарата. Славу отечественной авиационной технике принесли выпускники МВТУ, знаменитые авиаконструкторы А.А. Архангельский (1918 г.), А.Н. Туполев (1918 г.), В.П. Петляков (1927 г.), П.О. Сухой (1925 г.), В.М. Мясищев (1926 г.), С.А. Лавочкин (1927 г.), Н.А. Пилюгин (1935 г.).

Неоценима роль в развитии системы подготовки в МВТУ им. Н.Э. Баумана специалистов для ракетно-космической техники крупнейших ученых, Генеральных (главных) кон-

структоров: С.П. Королева, В.Н. Челомей, В.П. Бармина, Г.А. Ефремова, Ю.С. Соломонова. В 1948 г. в МВТУ был создан факультет «Ракетная техника» (в настоящее время он называется факультетом Специального машиностроения, СМ).

Ровно 40 лет назад, в 1960 г., академик В.Н. Челомей на факультете СМ создал кафедру СМ-2, имеющую ныне название «Аэрокосмические системы», которая готовит инженеров по специальностям «Ракетостроения» и «Космические летательные аппараты». В тот период В.Н. Челомей руководил созданной им в 1944 г. организацией (ныне НПО машиностроения), которая с 1959 г. приступила к созданию космических комплексов, баллистических ракет и ракет-носителей космических аппаратов. Были остро необходимы квалифицированные специалисты, разработчики этой техники.

К педагогической работе на кафедре В.Н. Челомей привлек своих учеников и коллег по работе. Заместителем заведующего кафедрой был назначен ученик В.Н. Челомей, профессор И.М. Шумилов (в то время доцент), который с 1984 г. по 1992 г. заведовал кафедрой. Затем, до 1999 г. кафедрой заведовал профессор С.В. Челомей. В настоящее время руководит кафедрой профессор О.Н. Тушев. В разное время ранее на кафедре преподавали: известный ученый, академик Е.А. Федосов (ныне Генеральный конструктор НИИ АС), бывший Главный конструктор НПО «Ротор», академик В.М. Кузнецов, доцент В.Ф. Соколов, профессор Л.А. Шаповалов, специалисты НПО машиностроения С.Н. Хрущев, В.Е. Самойлов, А.Н. Кочкин. В настоящее время учебный процесс ведут штатные преподаватели кафедры: профессора О.Н. Тушев и С.В. Аринчев, доценты В.А. Грибков, А.С. Гусаров, С.Н. Дмитриев, В.В. Зеленцов, Ю.И. Клюев, В.И. Никитенко, Р.П. Симоньянц, ассистенты А.В. Беляев и Г.А. Щеглов. В числе совместителей – высококвалифицированные специалисты предприятия: Генеральный конструктор, профессор Г.А. Ефремов, Первый заместитель Генерального конструктора, доцент А.В. Хромушкин, руководители проектно-исследовательских подразделений, доценты В.А. Апальков, Л.А. Бондаренко, А.Е. Григорьев, Б.Н. Натаров, В.И. Никитенко, А.В. Туманов, А.Ф. Фролов, И.С. Чистяков.

Кафедра СМ-2 готовит отличных специалистов. Среди ее выпускников - Генеральный директор РКА Ю.Н. Коптев. В числе выпускников кафедры и руководящие работники НПО машиностроения – Первый зам. Генерального директора В.И. Мартынов, зам. Генерального директора В.М. Киселев, зам. Генерального конструктора А.Н. Страхов. Окончили кафедру СМ2 бывший начальник Управления Минвуза России В.В. Быстров (ныне ректор одного из вузов), директор МКБ «Искра» В.М. Быцкевич, директора предприятий Г.Е. Сизоненко, В.М. Михов и др.

Многие выпускники кафедры СМ-2 достигли серьезных успехов в научной деятельности, защитили кандидатские и докторские диссертации. Среди докторов наук профессора Ю.Н. Коптев, О.Н. Тушев, С.В. Аринчев, А.А. Барзов, В.А. Денисов, В.В. Зазыкин.

В 1962 г. по инициативе В.Н. Челомей в МВТУ им. Н.Э. Баумана был создан филиал вечернего факультета при НПО машиностроения (тогда п/я 80) с планом приема 50 человек из числа работающих на предприятии молодежи. Занятия проводились по вечерам в основном здании МВТУ. Вскоре вечерняя подготовка перестала удовлетворять возросшим требованиям предприятия.

В 1985 г. директором филиала был назначен доцент кафедры СМ-2 Р.П. Симоньянц, а занятия перенесены ближе к фирме, в помещения СПТУ-90 г. Реутово. В 1987 г. от вечерней формы обучения отказались и перешли на дневную с непрерывной научно-производственной практикой (ННПП). Вечерний филиал реорганизован в самостоятельный факультет, ныне Аэрокосмический, и перебазировался на площади НПО машиностроения. Введенная на факультете ННПП представляет собой один из вариантов известного «русского метода» подготовки.

Многолетний опыт работы Аэрокосмического факультета подтверждает правильность выбранной системы подготовки: ННПП стимулирует творческую энергию студентов, повышает интерес к приобретаемым знаниям, закрепляет эти знания в реальных делах, адаптирует будущих специалистов к условиям реального созидательного труда.

I. Динамика и прочность

1.1. Расчет аэродинамических характеристик бесконечно тонких крыльев в несжимаемом потоке при малых углах атаки с использованием метода дискретных вихрей



Студент 3-го курса (АК2-61) *Жукин Д.А.*
 Научный руководитель:
 начальник НИО 02-22, к.т.н. *Давтян А.А.*

Основой метода дискретных вихрей является уравнение Лапласа: $\varphi_{xx} + \varphi_{yy} + \varphi_{zz} = 0$, где φ_{xx} , φ_{yy} , φ_{zz} — вторые производные гармонической функции $\varphi(x, y, z)$ по переменным x , y , z . Для решения этого уравнения необходимо потребовать выполнения ряда граничных условий: условие непротекания; условие Жуковского на задней кромке; возмущенный потенциал на бесконечности равен нулю; условие касания вихрей пелены вектору местной скорости.

Метод дискретных вихрей заключается в следующем. Разбиваем поверхность крыла на малые элементы (панели). Затем предполагаем, что по крылу равномерно распределены диполи с равными интенсивностями в пределах одной панели. Используем теорему об эквивалентности диполей и вихревого контура, интенсивность которого равна плотности распределения диполей. Панель заменяется вихревым контуром, который замкнут для всех панелей, не лежащих на задней кромке. В соответствии с условием Жуковского, с панелей, лежащих на задней кромке, сходят свободные вихри. В результате нахождения интенсивностей особенностей (диполей) из условия непротекания, возникает необходимость решить систему линейных алгебраических уравнений. Точность решения с помощью этого метода зависит, главным образом, от числа введенных особенностей (то есть от количества разбиений).

К настоящему моменту в среде программирования Borland Delphi 4.0 разработана программа расчета аэродинамических характеристик плоского крыла в несжимаемом потоке при малых углах атаки. В программе реализован метод дискретных вихрей. Была проведена сверка результатов расчетов программы со значениями, полученными коллективом ученых ВВА им. Н.Г. Жуковского во главе с основоположником метода С.М. Белоцерковским в 1959 г. Тестирование программы проводилось также с использованием программ аэродинамических расчетов, используемых на предприятии.

Завершающим этапом проведенных исследований было изучение зависимости аэродинамических коэффициентов от удлинения и сужения крыла при различных углах стреловидности по передней кромке.

Комментарий научного руководителя:

Студент Д.А. Щукин проявил знания основ аэродинамики малых скоростей и усердие в работе. При условии сохранения таких темпов и желания в освоении современных методов расчета можно ожидать, что через один-два года Д.А. Щукин овладеет панельным методом, что позволит ему решать сложные технические, проектные и научные задачи.

1.2. О форме записи разрешающих уравнений изгиба балок и пластин по гипотезе С.П. Тимошенко



Студент 4-го курса (АК1-81) *Авраменко А.Ю.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Дмитриев С.Н.*

Предложена форма записи разрешающих уравнений теории изгиба балок и пластин по гипотезе С.П. Тимошенко, позволяющая существенно упростить получение аналитических решений. В качестве основных неизвестных используются поперечное смещение и углы сдвига. В результате уравнения теории балки С.П. Тимошенко преобразуются к классическому уравнению балки Бернулли-Эйлера и уравнению, определяющему поправку, обусловленную учетом сдвига. Аналогичный результат получается и в теории пластин. Можно выделить уравнение типа Софи-Жермен-Лагранжа и уравнения для поправок. С использованием полученных уравнений найден ряд аналитических решений. При этом отмечается заметное уменьшение объема вычислений.

Комментарий научного руководителя:

Данное исследование было выполнено как часть курсовой работы по курсу «Строительная механика». Автор продемонстрировал хорошее владение теоретическим материалом и склонность к проведению научной работы. Полученные аналитические решения благодаря своей простоте могут быть использованы как в учебном процессе, так и для проведения практических расчетов балок и пластин с учетом сдвига.



1.3. Оценка влияния случайных аддитивных и мультипликативных вибраций на динамическую систему



Студент 7-го года обучения (каф. СМ-2) *Зайцев С.Э.*
Научный руководитель:
д.т.н., профессор каф. СМ-2 *Тушев О.Н.*

Рассматривается задача анализа влияния высокочастотных случайных вибраций различной природы (аддитивные и параметрические) на «медленное движение» системы, которая может быть описана обыкновенным векторным дифференциальным уравнением. Считается, что внешние воздействия, стационарные или нестационарные, определены в рамках корреляционной теории. Решение ищется на основе представления вектора фазовых координат системы в форме интегростепенного ряда по матрице, содержащей случайные вибрации. При ограничении квадратическим приближением для мультипликативных составляющих в результате получается удобная явная зависимость относительно элементов корреляционной матрицы вибраций, что позволяет выявить «вклад» каждой из них в динамическое поведение системы.

Результаты иллюстрируются примером.

Комментарий научного руководителя:

Получено обобщение известных результатов для уравнений типа Матье, но со случайными воздействиями. Обобщение заключается в рассмотрении системы с конечным числом степеней свободы при наличии аддитивных и параметрических стационарных или нестационарных случайных вибраций.

Работа является продолжением ранее проводимых автором исследований и касается проблемы защиты конструкций от вибраций и удара. Обычно в подобных задачах рассматривают условия, когда система выходит из строя, ломается. Здесь иная постановка: изучаются нарушения нормальных условий функционирования системы, например, потери точности измерительного прибора. Или типичный классический пример: увод маятника под действием кривой вибрации.

Считаю, что автор проявил себя как квалифицированный научный работник.



1.4. Метод решения краевых задач механики деформирования тонкостенных конструкций: прочность, устойчивость, колебания



Студенты 3-го курса (АК1-61) *Биденко Д.М.* и *Гудилин Д.С.*
Научный руководитель: д.т.н., доцент каф. СМ-2 *Клюев Ю.И.*

Известно, что решение краевых задач теории оболочек сопряжено с большими вычислительными трудностями, так как общие решения однородных дифференциальных уравнений содержат как быстро возрастающие, так и быстро убывающие компоненты. Для преодоления этих трудностей разработаны различные методы, связанные либо с преобразованием исходной системы уравнений (метод А.А. Абрамова, метод факторизации и другие), либо с преобразованием решений, полученных на ограниченном участке интегрирования (метод ортогональной прогонки С.К. Годунова).

Предложенный метод выгодно отличается от упомянутых тем, что не требует дополнительных преобразований и основан на аналитическом решении системы дифференциальных уравнений. Численные значения интеграла системы обыкновенных дифференциальных уравнений определяются с помощью ряда Тейлора, который получается для матричного дифференциального уравнения методом последовательных приближений Пикара или определяется матричным биномом Ньютона, который следует из определения интеграла по Вольтерра. Частное решение определяется методом вариации произвольных постоянных в матричной формулировке. Численное решение однородного уравнения и частное решение неоднородного уравнения определяются для интервала, размер которого меньше критического для устойчивого счета. Путем элементарных алгебраических преобразований получают матрицы жесткости, масс и начальных напряжений для рассматриваемого расчетного участка. На основе кинематических и силовых условий производится стыковка расчетных участков. В результате формируется система алгебраических уравнений для определения перемещений. При этом отпадает необходимость трудоемкой операции ортонормирования на границах интервалов интегрирования. Метод обладает свойствами, которые позволяют решать задачи с произвольными кольцевыми подкреплениями и произвольно осесимметрично присоединенными твердыми телами для единицы полученных значений интеграла дифференциальных уравнений.

На основе предложенного метода определено напряженно деформированное состояние тонкостенной конструкции, состоящей из цилиндрической оболочки и двух сферических крышек, а также исследована устойчивость конической оболочки, подкрепленной шпангоутами, под действием осесимметричного внешнего давления и сжимающей осевой нагрузки.

Комментарий научного руководителя:

В данной работе изложен новый метод решения краевых задач теории оболочек и тонкостенных конструкций, подкрепленных упругими шпангоутами. Отмечаются преимущества данного метода перед существующими, его эффективность и универсальность к типам решаемых задач (прочности, устойчивости, колебаний). Фактически метод можно рассматривать как усовершенствование метода конечных элементов для одномерных задач. При использовании данного метода не требуется априорного задания функций, аппроксимирующих перемещения; эти функции находятся с помощью численного интегрирования исходной системы уравнений.

Авторами самостоятельно разработаны программы для решения тестовых задач и получены результаты, совпадающие с аналитическими. Результаты по статике и устойчивости тонкостенных конструкций получены с использованием программ, разработанных на кафедре СМ-2.

Считаю, что в перспективе работа может быть развита в серьезное научное исследование по механике деформирования тонкостенных конструкций.

II. Проектирование

2.1. О перспективах создания гиперзвукового некрылатого летательного аппарата



Студент 6-го курса (АК1-Д1) *Асатуров С.М.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Зеленцов В.В.*

В данной работе рассматривается возможность создания летательного аппарата (ЛА) для полета на гиперзвуковых скоростях. Особенностью выбранной схемы является отказ от несущих плоскостей и использование варианта «несущий корпус».

Была разработана математическая модель для исследования аэродинамических и траекторных характеристик. Проведенный анализ позволил сделать выбор модельной траектории, который, в свою очередь, дал возможность выбрать параметры аппарата и оценить их влияние на интересующие характеристики траектории.

Проектируемый летательный аппарат предназначен для выполнения специальных задач и для оперативной доставки средств спасения и оказания помощи терпящим бедствие в условиях чрезвычайной ситуации в отдаленных районах Земного шара. Анализ возможных траекторий полета ЛА и эффективности основан на изучении этих задач.

Комментарий научного руководителя:

В настоящее время проблема создания некрылатых гиперзвуковых ЛА приобретает важное значения. Растущий интерес к аппаратам подобного типа, а также широкий спектр возможностей для их применения, стимулирует повышенное внимание к разработкам этого направления ракетостроения.

Предлагаемая студентом С.М. Асатуровым математическая модель исследования позволяет определить параметры проектируемого ЛА и показать его способность на некоторых траекториях полета успешно конкурировать с крылатыми летательными аппаратами, а по отдельно взятым параметрам – даже превосходить их.

Проведенные исследования позволяют наметить перспективные пути развития проектирования гиперзвуковых ЛА. Этим определяется высокая значимость выполненной работы. Полученные результаты имеют важное практическое значения для последующих исследований.

2.2. Исследование старта одноступенчатого воздушно-космического самолета



Студент 4-го курса (АК1-81) *Крылов В.А.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Зеленцов В.В.*

Для осуществления таких больших (по объему работ) проектов, как противоракетная система СОИ, доставка модулей международной космической станции и т.п., необходимы носители, осуществляющие вывод на низкую околоземную орбиту порядка 300 км грузов большой массы. Поэтому возникает задача увеличения полезной нагрузки транспортных космических систем до нескольких сотен тонн. Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) достигли своих предельных характеристик. В современных космических системах при использовании лучших материалов фактическая доля полезной нагрузки составляет 1,0 ... 2,5%.

В качестве альтернативы современным ракетам-носителям, предлагается проект воздушно-космического самолета (ВКС) – одноступенчатого космического аппарата многоразового использования, стартующего горизонтально со взлетной полосы произвольного географического расположения, достаточной для взлета тяжелых бомбардировщиков. Он имеет ряд преимуществ перед ракетами-носителями, таких как меньшая стоимость вывода килограмма груза на орбиту (за счет многоразового использования), большая масса полезного груза, возможность старта (и посадки) с аэродрома произвольного географического расположения.

Подобные аппараты разрабатывались. Например, фирмой «Мартин-Мариетта» (США) было проведено исследование многофазового воздушно-космического аппарата (МВКА) SSTO-НТО, стартующего аналогичным образом. Недостаток этого МВКА состоит в том, что, имея большую стартовую массу, он производит дозаправку топлива в полете. Гораздо эффективней использовать кислород воздуха, накапливаемый в полете. Исследования концепции накопления кислорода в полете привели к положительным результатам. В настоящее время существуют подобные установки. Одна из них используется в проекте ВКС «Гиперлейн» (США), который и лег в основу этой работы. Однако «Гиперлейн» имеет малую массу, недостаточную для вывода на орбиту тяжелых грузов.

Для увеличения массы полезной нагрузки было проведено исследование влияния характеристик аппарата на полетные параметры. Задаваясь начальными условиями, такими как масса полезного груза, длина взлетно-посадочной полосы и т.д. и зная, как влияет та или иная характеристика аппарата на его траекторию, можно подобрать наиболее оптимальные параметры космической системы. Разрабатываемый ВКС способен доставлять на орбиту полезный груз массой порядка 100 т. Для достижения оптимальных параметров траектории используется комбинированная двигательная установка, состоящая из ЖРД и воздушно-реактивных двигателей (ВРД).

Комментарий научного руководителя:



Существует английский проект для аппарата, стартующего с разгонной тележки, который также производит сжижение и дозаправку кислородом из атмосферы на большой высоте (порядка 15...20 км). Проект США по дозаправке кислородом самолета с самолета опасен и очень дорог. Весового анализа автор не проводил. Он занимался баллистикой и вопросами старта с колес.

Здесь задавали вопрос о размерах. Скажу только, что крылья у этой гигантской машины имеют площадь порядка полутора гектаров. В существующей зарубежной литературе подобную систему считают перспективной.



2.3. Исследование путей повышения надежности и эффективности работы капиллярного заборного устройства (КЗУ)



Студент 6-го курса (АК1-Д1) *Булаев А.А.*
Научный руководитель:
нач. сектора 08-08-01 *Куранов Е.Г.*

Исследуется капиллярное заборное устройство (КЗУ), являющееся частью системы подачи топлива ПКР и служащее для разделения жидкой и газообразной фаз, что обеспечивает безаварийную работу маршевого двигателя.

Недостатками существующего КЗУ являются наличие подвижных механических элементов и достаточно большое количество невырабатываемых остатков топлива в баке.

Целью работы является исследование возможности создания нового варианта виброустойчивого КЗУ, имеющего более высокую удерживающую способность и не имеющего подвижных частей, что позволит уменьшить невырабатываемые остатки топлива в баке и увеличить надежность системы.

В качестве нового варианта КЗУ предлагается устройство, состоящее из девяти закрытых сеткой трубчатых каркасов, соединенных в общий коллектор. Экспериментально проверено, что виброустойчивость повышается за счет членения пространства КЗУ на девять частей. Увеличение удерживающей способности достигается за счет увеличения площади рабочей поверхности сетки, а также при оптимальном подборе типа сетки.

Создана математическая модель нового заборника. Проведен сравнительный анализ его удерживающей способности с удерживающей способностью прототипа для трех типов сетки.

В результате проведенной работы наблюдалось улучшение характеристик исследуемого КЗУ по отношению к прототипу, а также был выбран оптимальный вариант типа сетки. Улучшение характеристик выражается в уменьшении не вырабатываемых остатков топлива в баке, что эквивалентно увеличению дальности полета ракеты на 4%.



Комментарий научного руководителя:

Выполненная студентом А.А. Булаевым работа посвящена решению актуальной задачи – разработке вариантов конструкции заборного устройства ВМЛА с улучшенными по отношению к изделию-прототипу характеристиками.

Предложенная конструкция обладает более высокой удерживающей способностью, позволяет уменьшить невырабатываемые остатки топлива, а следовательно, увеличить дальность полета ракеты. Кроме того, выбранная конструктивная схема обладает большей виброустойчивостью.

Результаты работы имеют практическую ценность, так как могут послужить основой для создания новой конструкции заборных устройств перспективных летательных аппаратов.

Цикл работ (2.4. – 2.9) по направлению «Конструирование электроприводов исполнительных механизмов космических летательных аппаратов (КЛА)»



**Предисловие научного руководителя
к.т.н., доцента каф. РК-3 Рузиной Р.Н.**

Цикл научных исследований, выполненных коллективом студентов групп АК1-61 и АК2-61, актуален, так как связан с проектированием приводов исполнительных механизмов КЛА, к которым предъявляются специальные, весьма жесткие требования. Необходимость уменьшения габаритов механизмов привела к разработке мелко модульных цилиндрических зубчатых редукторов, в которых передачи работают с нагрузками и скоростями, ранее присущими только силовым. Они должны при малых габаритных размерах и массе иметь повышенную надежность в условиях вакуума в диапазоне температур от -50 до $+50$ °С. Ресурс приводов в зависимости от назначения может составлять от нескольких минут до нескольких тысяч часов. Передаточные числа редукторов могут достигать значений 3000...6000. В приводах такого назначения могут быть применены микродвигатели различных типов. Студенты изучили конструкции и характеристики микродвигателей постоянного и переменного тока, шаговых и моментных.

Коллектив студентов-разработчиков на практике использовал методы современного проектирования КЛА, выполнил комплекс общих и частных задач технического задания. Выполнение этого комплекса задач базировалось на широком применении вычислительной техники и использовании элементов САПР. Это позволило выполнить большой объем проектирования в рамках проекта по курсу ОПМ (Детали машин). Студенты - разработчики применили для обеспечения надежной работы приводов в особых условиях качественные стали, титановые и алюминиевые сплавы, композиционные материалы, металлокерамику, современные смазочные материалы. В процессе практики проектирования они ознакомились с технологией изготовления, сборки и регулировки редукторов специального назначения, с практикой монтажа аналогичных приводов на изделиях предприятия. Студенты получили также полезный опыт коллективного проектирования, активно проявляли творческую инициативу и интерес к разработке своих проектов и разработкам своих коллег.

Такой творческий коллектив студентов вполне может быть использован при разработке реальных проектов в НПО машиностроения.



2.4. Механизм выдвижения антенны: конструкция электропривода, обоснование выбора микроэлектродвигателя



Студент 3-го курса (АК1-61) *Биденко Д.М.*

Научный руководитель:

к.т.н., доцент каф. РК-3 Рузина Р.Н.

При запуске КЛА антенна находится в сложенном состоянии внутри корпуса. После выхода на орбиту она раскрывается, занимая рабочее положение. Выдвижение производится с помощью специальных механизмов с электроприводом. Цель настоящей работы – произвести обоснованный выбор микроэлектродвигателя привода.

Выбор микроэлектродвигателя – один из ключевых моментов на этапе проектирования. Он проводится на основе сравнительного анализа различных типов двигателей по критерию наилучшего сочетания основных технико-экономических характеристик. Такими характеристиками являются: высокие энергетические показатели – коэффициент полезного действия и коэффициент мощности, гарантированный ресурс, низкая стоимость, простота конструкции и технологии изготовления, ремонтпригодность при наземных испытаниях, малые габариты при заданных выходных параметрах, устойчивость к вибрациям и ударным нагрузкам, климатическая и радиационная устойчивость. Рассматривались микромашины, наиболее часто применяемые в приводах механизмов КЛА: постоянного тока различной конструкции, шаговые и моментные электродвигатели.

Анализ показал, что лучше других выбранному критерию удовлетворяют микроэлектродвигатели типа ДПР. Основные преимущества таких электродвигателей: большой диапазон регулирования скорости вращения, высокая устойчивость и линейность механических и регулировочных характеристик, высокое быстродействие.

В разработанном электроприводе механизма выдвижения антенн применен микроэлектродвигатель ДПР-62. Помимо него привод включает многоступенчатый планетарный редуктор и предохранительную муфту колодочного типа.

Комментарий научного руководителя:

Помимо полезных рекомендаций по применению микродвигателей типа ДПР, Д.М. Биденко разработал конструкцию электропривода механизма выдвижения антенны, состоящего из многоступенчатого планетарного редуктора с малым модулем зацепления и предохранительной фрикционной муфты.



2.5. Откидной механизм оптического устройства: конструкция электропривода, предохранительная и тормозная муфта



Студент 3-го курса (АК2-61) *Карасев А.В.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. РК-3 Рузина Р.Н.

Разработан привод одностороннего действия для откидного механизма оптического устройства КЛА, срабатывающего в полете. Предусмотрено, что время наземной отработки составляет 24 часа. Привод состоит из пяти ступеней планетарных передач, выполненных по схеме 2k-h, предохранительной дисковой фрикционной муфты, установленной на быстроходном валу и тормозной муфты, размещенной на выходном валу привода. Тормозная муфта предназначена для уменьшения люфтов.

Комментарий научного руководителя:

Разработчиком обоснован выбор кинематической схемы и квалифицированно выполнен необходимый объем расчетов.

2.6. Анализ структурных схем электроприводов по критерию надежности на стадии проектирования. Конструкция привода механизма ориентации солнечной батареи



Студентка 3-го курса (АК1-61) *Тимофеева М.Е.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. РК-3 Рузина Р.Н.

Актуальная задача обеспечения повышенной надежности приводов исполнительных механизмов КЛА решается уже на этапе выбора кинематической схемы. Привод может быть выполнен по одной из рекомендуемых схем, которые определяют уровень надежности будущей конструкции. Заложенный при проектировании уровень надежности невозможно повысить на последующих этапах изготовления, сборки и эксплуатации привода.

Анализировались различные виды систем, повышающих уровень надежности: с последовательным, с параллельным, с последовательным и параллельным соединением элементов. Для повышения уровня надежности также возможно резервирование, (общее или поэлементное).

При проектировании привода механизма ориентации солнечной батареи разработана кинематическая схема, обеспечивающая повышенную надежность привода. Редуктор

выполнен многоступенчатым с двумя ступенями планетарных передач и четырьмя ступенями зубчатых передач с внешним зацеплением. Между ними расположены конический дифференциал и предохранительная колодочная муфта. Введено параллельное резервирование двигателя, быстроходной ступени и муфты необратимого вращения.

Комментарий научного руководителя:

Студентка М.Е. Тимофеева проанализировала надежность большого количества различных кинематических схем приводов и полученные знания успешно применила в проектной работе.

2.7. Оценка ресурса привода механизма ориентации солнечной батареи на этапе проектирования



Студент 3-го курса (АК2-61) *Гудилин Д.С.*

Научный руководитель:

к.т.н., доцент каф. РК-3 Рузина Р.Н.

В авиационной и космической технике, атомной энергетике, роботах и манипуляторах широко применяют электромеханизмы – электроприводные устройства, в состав которых входят электродвигатель и многоступенчатый редуктор. Около 90% отказов электромеханизмов связано с изнашиванием зубьев мелко модульных передач.

Исследования, проведенные ранее в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с НПО машиностроения, позволили разработать методику прогнозирования ресурса передаточных механизмов по критерию износа. По этой методике можно выявить наиболее изнашиваемую пару зубчатых колес, рассчитать ее ресурс и тем самым оценить ресурс механизма в целом.

Наиболее изнашиваемой парой зубчатых колес является быстроходная ступень редуктора. Разработана программа расчета ресурса приводов по критерию износостойкости. Программа содержит базу данных по материалам и смазкам, применяемым в конструкциях электроприводов механизмов КЛИА. Предусмотрена возможность пополнения и корректировки имеющейся базы. Программа работает в операционной системе Microsoft Windows 9x.

Исходными данными являются: вращающий момент на шестерне, частоты вращения шестерни и колеса, угол зацепления, степень точности передачи, расположение колес относительно опор, материалы зубчатой пары и их механические характеристики; тип смазочного материала, его основные характеристики; условия окружающей среды (температура, давление). Результатом является оценка ожидаемого ресурса механизма.

Комментарий научного руководителя:

Оценка ресурса приводов механизмов КЛИА на стадии проектирования является актуальной и необходимой, однако совсем не простой задачей. Студент Д.С. Гудилин разработал программу расчета на ЭВМ ожидаемого ресурса по совместной методике МГТУ им. Н.Э. Баумана и НПО машиностроения, что позволило группе студентов-разработчиков произвести в курсовых проектах оценку ресурса различных приводов на стадии проектирования.

2.8. Электропривод поворотного устройства датчика вертикали. Конструкции конического дифференциала и муфты необратимого вращения



Студенты 3-го курса (АК2-61)
Шевченко И.М. и **Шукин Д.А.**
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. РК-3 **Рузина Р.Н.**

Разработан электропривод поворотного устройства датчика инфракрасной вертикали. Привод состоит из двух ступеней планетарных передач, четырех ступеней зубчатых передач с внешним зацеплением, дифференциала, предохранительной муфты, двух муфт необратимого вращения и двух микроэлектродвигателей постоянного тока. В штатном режиме двигатели работают совместно, обеспечивая заданную частоту вращения выходного вала редуктора. При отказе одного из двигателей другой осуществляет вращение выходного вала с меньшей (в 2 раза) частотой. Размеры дифференциала минимизированы. Проведена оценка ожидаемого ресурса привода на ЭВМ.

Комментарий научного руководителя:

Проектанты провели в необходимом объеме расчеты на прочность и расчет ожидаемого ресурса привода по критерию износостойкости быстроходной ступени редуктора. Д.А. Шукин спроектировал тихоходные ступени привода, а И.М. Шевченко – произвел расчет дифференциала с минимальными габаритными размерами, спроектировал муфты необратимого вращения и быстроходную часть привода, состоящую из четырех ступеней мелко модульных зубчатых передач.

2.9. Электропривод механизма раскрытия люка научной аппаратуры. Особенности компоновки, обеспечивающие минимизацию размеров и высокую компактность привода



Студенты 3-го курса (АК1-61)
Жигалов А.В. и **Хоботьев Г.С.**
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. РК-3 **Рузина Р.Н.**

Разработана конструкция реверсивного электропривода, состоящего из четырех ступеней зубчатых передач с внешним зацеплением и планетарной тихоходной передачи, выполненной по схеме 2k-h. В конструкции предусмотрено резервирование элементов схемы, лимитирующих ресурс привода.

Требование минимизации конструкции вызывает необходимость применения микро-электродвигателей. В приводе применен электродвигатель типа ДПР-62. Расстояние между валиками многоступенчатого редуктора весьма мало. В ограниченном пространстве необходимо разместить кроме зубчатых передач и подшипников фрикционную предохранительную муфту. В составе проекта разработаны 2 варианта предохранительных фрикционных муфт с диапазоном срабатывания 0,3...0,5 Нм: дисковая и колодочная. На этапе проектирования рассчитан ожидаемый ресурс привода.

Комментарий научного руководителя:

Задачи минимизации масс и габаритных размеров, поставленные при проектировании приводов, обусловили размещение всех деталей и узлов редуктора в минимальном объеме. При этом обеспечивается удобства сборки и регулировки. Качество конструирования в значительной мере зависит от умело решенных задач компоновки в соответствии с техническим заданием на проект. Особые трудности при компоновке возникли у разработчиков электропривода механизма раскрытия люка научной аппаратуры – студентов А.В. Жигалова и Г.С. Хоботьева – они разработали несколько удачных вариантов компоновки.

III. Системы управления

3.1. Синтез алгоритмов программной терминальной стабилизации маневра летательного аппарата методом полиэдрального программирования



Студент 7-го года обучения (каф. ИУ-1) **Белоусов И.В.**

Научный руководитель:

к.т.н., доцент каф. ИУ-1 **Филимонов Н.Б.**

Консультант:

к.т.н., начальник НИС, доцент АКФ **Плавник Г.Г.**

Одним из эффективных методов оптимизации дискретных процессов являются методы *полиэдрального программирования* (ПП) – раздела *математического программирования*, рассматривающего класс экстремальных задач, в которых целевые и ограничивающие функции являются полиэдральными. Фундаментальная особенность ПП состоит в возможности *сведения решаемых оптимизационных задач к задачам линейного программирования* (ЛП). В работе обсуждается применение метода ПП к задаче синтеза алгоритмов программной терминальной стабилизации маневра аэродинамического летательного аппарата в условиях ресурсных и фазовых ограничений.

Исходная задача многосвязного управления разворотом аппарата декомпозируется на три независимые задачи стабилизации его возмущенного движения по каналам тангажа,

крена и рыскания. В качестве управляющего воздействия рассматривается сигнал управления рулевым электрогидравлическим приводом аппарата, причем учитываются ограничения как на угол, так и на угловую скорость отклонения руля. Без ограничения общности рассматривается линеаризованная дискретная модель возмущенного движения аппарата четвертого порядка по каналу тангажа и дается формализация постановки задачи программного терминального демпфирования переходных процессов по тангажу в терминах ПП. Поскольку критерий оптимизации, а также ресурсные и фазовые ограничения являются полиэдральными функциями искомой программы управления, то исходная задача стабилизации формализуется как задача ПП на минимум. При этом рассматривается случай как заданного (задача терминального управления), так и кратчайшего (задача оптимального быстрогодействия) времени демпфирования возмущенного движения аппарата. В итоге использование метода ПП позволяет свести решение исходной задачи синтеза программной стратегии управления конечным состоянием аппарата к решению семейства задач ЛП.

Анализ эффективности синтезированных алгоритмов стабилизации проводился на примере гипотетического аппарата с использованием специально разработанного программного обеспечения в среде MATLAB.

Комментарий научного руководителя:

Всестороннее внедрение в инженерную практику средств вычислительной техники меняет парадигму современной автоматики: она, по сути, становится цифровой, практическую значимость приобретают исследования дискретных процессов управления и регулирования, отводя непрерывным процессам лишь академический интерес. При этом в теории и практике автоматического управления и регулирования все большее применение находят методы математического программирования (МП), являющиеся мощным и универсальным средством решения конечномерных задач оптимизации.

В связи с этим весьма актуальной является работа студента И.В. Белоусова, тесно связанная с тематикой отдела 02-20 НПО машиностроения и посвященная разработке и верификации алгоритмов дискретной программной терминальной стабилизации маневра аэродинамического ЛА методом полиэдрального программирования, развиваемого в последние годы в работах научного руководителя. Принципиальным в разработанном автором алгоритмическом обеспечении является, во-первых, учет «модульных» ограничений на величину и скорость отклонения рулей и, во-вторых, сведение исходной оптимизационной задачи к задачам ЛП, являющимся простейшими и наиболее изученными среди задач МП, для решения которых разработаны сравнительно простые и, главное, стандартные методы, аргументы ориентированные на применение вычислительной техники.

Автором проведена «нетрадиционная» процедура дискретизации динамики объекта в пространстве реальных физических переменных и разработаны алгоритмы программного, оптимального по быстрдействию стабилизирующего управления ЛА. Полученные результаты позволяют в дальнейшем перейти к решению общей задачи оптимального управления пространственным маневром аппарата.



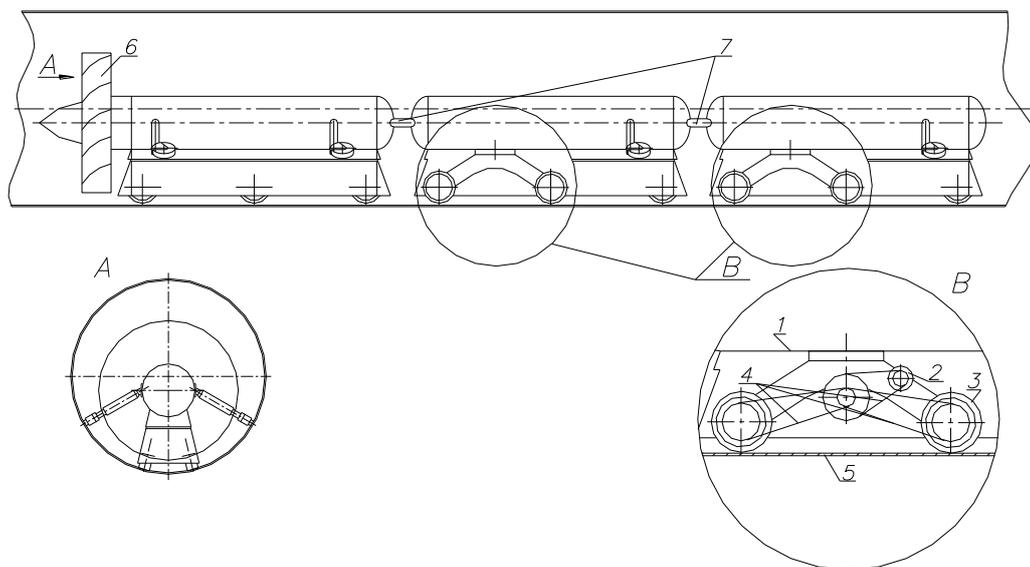
3.2. Стабилизация скорости движения снаряда-дефектоскопа в магистральном трубопроводе



Студент 4-го курса (АК2-81) **Комолов А.В.**
 Научный руководитель:
 начальник сектора отдела 02-23 **Сабиров Ю.Р.**

В данной работе рассмотрена задача по стабилизации скорости перемещения снаряда-дефектоскопа относительно стенок трубопровода в условиях газодинамического воздействия на него потока транспортируемого газа.

Снаряд-дефектоскоп (СД) – это устройство для проверки состояния труб газопроводов на наличие трещин, раковин и других дефектов, которые могут появиться в процессе эксплуатации. Он должен работать внутри трубопровода автономно и автоматически, причем транспортировка газа не должна прекращаться. Схема СД и его размещения в трубе приведены на рисунке.



1 – стенка СД; 2 – аксиальный поршневой насос; 3 – колесо опорного блока; 4 – цепные передачи; 5 – стенка трубопровода; 6 – винт турбины; 7 – сцепные устройства.

Одним из требований к движению СД в трубопроводе является постоянная скорость движения на всех участках трассы, при которой обеспечивается работоспособность системы диагностирования. Так как внешнее воздействие на корпус СД переменное по длине трассы, то возникает необходимость оборудовать снаряд системой, способной управлять его скоростью.

Стабилизация скорости движения СД может осуществляться с помощью гидравлических тормозных устройств, размещенных на опорных блоках снаряда.

В данной работе рассмотрена система торможения, состоящая из аксиального поршневого гидронасоса и цепных передач, передающих вращение от колес блока на приводной вал насоса. Крутящий момент на валу создает перепад давления между рабочей полостью и магистралью слива. Под действием разности давлений жидкость перетекает через выходное отверстие. Изменяя этот расход жидкости, система управляет скоростью движения СД. Таким образом, задача стабилизации скорости сводится к задаче управления размерами выходного отверстия.

Так как снаряд-дефектоскоп сравнительно недавно начал разрабатываться в НПО машиностроения, то практических и теоретических наработок пока мало. Поэтому для решения поставленной задачи по управлению скоростью были построены: модель движения СД относительно трубы; модель работы аксиального гидравлического насоса; модели различных выходных магистралей.

В процессе поиска подходящего устройства сливного отверстия проанализирована работа трех вариантов исполнения выходной магистрали тормозной системы: с жиклером постоянного диаметра; с регулятором постоянного расхода; с отверстием, размеры которого изменяются в зависимости от текущих значений параметров движения СД.

Основой моделирования было численное интегрирование полученной системы дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты 4-го порядка, для чего была написана программа для ПЭВМ.

Полученные результаты позволяют сделать выводы о возможности использования жиклера, о виде регулятора и его наилучших параметрах.

Комментарий научного руководителя:

В данной работе представлена имитационная модель сложной системы, которая предназначена для длительной работы (до нескольких суток) в автономном режиме в экстремальных условиях (давление в трубопроводе 80 атм., скорость потока газа до 20 м/с). Состав модели, ограничения и допущения соответствуют решаемой задаче. Результаты моделирования имеют практическую ценность для проектирования, изготовления и испытаний снаряда-дефектоскопа, одного из изделий предприятия.

Полученные результаты необходимы для разработки алгоритма управления СД на трассе трубопровода, а также для составления программ конструкторских испытаний. С помощью созданной имитационной модели проводится анализ работоспособности агрегатов и механизмов СД.

В процессе работы А.В. Комолов детально исследовал конструкцию и характеристики сложных гидравлических систем (плунжерный насос, регулятор постоянного расхода), выделил критические элементы моделей этих устройств. В дальнейшем с помощью написанной студентом программы предполагается решать дополнительные задачи, связанные с усложнением конструкции СД при оборудовании его новыми агрегатами и системами.



3.3. Выбор проектных параметров пирогидравлического агрегата для раскрытия решетчатых рулей в процессе движения изделия в плотной среде



Студент 7-го года обучения (каф. СМ-2) **Кропотин В.В.**
Научный руководитель:
начальник сектора отдела 02-23 **Сабиров Ю.Р.**

Для обеспечения требуемой подводной траектории ракеты после выхода ее из пусковой установки (ПУ) происходит раскрытие аэродинамических поверхностей, сложенных для размещения ракеты в ПУ. В работе была построена модель определения внешних нагрузок, действующих на рули во всем диапазоне использования системы. Был проанализирован характер изменения внешних нагрузок, раскрывающих руль, выявлены главные особенности гидродинамического воздействия.

Анализ динамики системы показал, что наиважнейшей проблемой является снижение нагрузки при окончании раскрытия и фиксации руля в рабочее положение, т.е. демпфирование. В результате получены основные проектные параметры агрегата раскрытия и регулятора постоянного расхода.

Комментарий научного руководителя:

В данной работе представлены результаты исследований по созданию математической модели сложной системы, необходимой для выбора проектных параметров одного из компонентов этой системы – агрегата раскрытия решетчатых рулей. Раскрытие решетчатых рулей в воде – новая проблема, которая потребовала для ее решения постановки новых задач. В частности, при больших скоростях потока и больших местных углах атаки необходимо было учитывать влияние кавитации на гидродинамические характеристики решетчатого руля. В процессе работы В.В. Кропотин детально исследовал конструкцию и характеристики сложных агрегатов – порохового газогенератора и гидравлического демпфера с регулятором постоянного расхода. Выбор проектных параметров был произведен на основе многокомпонентной математической модели.

Результаты исследования имеют практическую ценность для проектирования изделий предприятия и смежных организаций.



3.4. Оценка энергетических затрат на стабилизацию КЛА на геостационарной орбите



Студент 6-го курса (АК1-Д1) *Титов В.Е.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Симоньянц Р.П.*

Рассматривается КЛА с электрореактивными двигателями (ЭРД), малых тяг, при помощи которых осуществляется переход с низкой круговой на геостационарную орбиту, ее коррекция и угловая стабилизация. В системе стабилизации используются и одноосные маховики. Сброс накапливающегося кинетического момента может осуществляться либо при помощи реактивных двигателей, либо за счет взаимодействия КЛА с внешними силовыми полями. На основе анализа альтернативных вариантов разгрузки определены рациональные режимы. Дана оценка затрат энергии и массы на стабилизацию в зависимости от времени орбитального полета.

Комментарий научного руководителя:

Автор выполнял свои исследования в рамках дипломного проекта по реальной тематике. Им рассмотрен конкретный вариант ИСЗ связи. Даны рекомендации по использованию ЭРД и маховиков. Результаты исследований могут быть с пользой применены на практике.

3.5. Возможности гравитационной стабилизации КЛА при выполнении орбитальных маневров электрореактивными двигателями.



Студенты 4-го курса (АК1-81) *Артемьев А.А., Сорокин С.П. и Крылов В.А.*
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Симоньянц Р.П.*

Космические аппараты (КА), совершающие орбитальные маневры с помощью электрореактивных двигателей (ЭРД) малых тяг, требуют обеспечения длительной ориентации вектора тяги по трансверсали. Использование активной системы угловой стабилизации приводит к снижению надежности и увеличению массы аппарата.

В работе изучается возможность применения в КА рассматриваемого типа пассивной системы гравитационной стабилизации. Используя систему предварительного успокоения и демпфирования, гасим ротационные движения и либрацию. Ошибки стабилизации при этом определяются асимметрией распределения масс КА и действием возмущающих моментов. Доминирует возмущающий момент от эксцентриситета вектора тяги ЭРД. Полагая КА жестким телом с недиагональным тензором инерции, а возмущающий момент постоянным, находим нелинейную систему уравнений пространственного движения. В каждом из трех частных случаев плоских угловых движений задача сводится к исследованию топологии фазового цилиндра. Система допускает первый интеграл, из которого находится уравнение фазовых траекторий.

Результаты исследований позволяют для конкретных исходных данных определить возможность применения гравитационной системы стабилизации для парирования возмущений от работы ЭРД.

Комментарий научного руководителя:

Студенты А.А. Артемьев, В.А. Крылов и С.П. Сорокин представленную работу выполнили в рамках НИРС в развитие домашнего задания по курсу «Управление в технических системах». Стандартное задание расчета динамики плоского движения КЛА было дополнено условием постоянного возмущающего момента. Студенты удачно воспользовались методом, который использовал академик А.А. Андронов при исследовании маятника под действием постоянного вращающего момента.

3.6. Синтез дискретного регулятора в системе управления упругим ЛА



Студент 7-го года обучения (каф. ИУ-1) **Афонин В.В.**
Научные руководители:
к.т.н., начальник НИО 02-20, доцент АКФ **Плавник Г.Г.**,
доцент каф. ИУ-1 **Зуев А.Г.**

Для снижения влияния упругости ЛА на динамические процессы в системе в контур управления вводят фильтры, снижающие коэффициент усиления на частотах упругих колебаний объекта управления. При использовании БЦВМ в системе возможно осуществить фильтрацию сигнала алгоритмическим способом, но при этом требуется провести анализ влияния квантования по времени и уровню. Проведение такого анализа позволяет определить требуемые частоты работы составляющих дискретной системы: процессора, дискретных датчиков, цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразователей.

В данной работе рассматривается система стабилизации многоступенчатой крылатой ракеты. Изменение динамических характеристик в процессе полета, особенно при отделении стартовой ступени, приводит к изменению частот упругих колебаний, что требует коррекции параметров фильтров. При алгоритмической фильтрации параметры могут меняться в зависимости от измеряемых траекторных параметров, например массы и скоростного напора, обеспечивая требуемые характеристики системы в течение всего времени полета.

Следовательно, при формировании дискретного фильтра возникает необходимость решения двух задач:

- 1) определение параметров алгоритма и предварительных настроек;
- 2) изменение настроек в процессе полета.

Выбор настроек алгоритма фильтрации проводился на основании анализа упрощенной модели системы стабилизации. Затем с помощью методов оптимального поиска проводилась коррекция параметров. При коррекции минимизировался интегральный показатель качества переходного процесса в системе при вариации настроек алгоритма фильтрации.

Параметры алгоритма фильтрации упрощенной системы определялся методом билинейного преобразования передаточной функции потребного аналогового фильтра. Коррекция настроек алгоритма фильтрации осуществлялась программным методом, по предварительно рассчитанным значениям в критических точках траектории.

После выбора и коррекции настроек проводилось моделирование полета ракеты на полной математической модели. По результатам моделирования можно сделать следующие выводы: применение алгоритмической фильтрации позволило повысить точность попадания в заданную точку пространства и уменьшить время переходного процесса при отработке возмущений.



Комментарий декана:

В.В. Афонин взялся за одну из наиболее трудных задач теории управления ЛА и добился в ее решении значительных успехов.

Владимир все годы учился только на отлично и все годы с вдохновением вел научную работу в подразделениях предприятия. Он был награжден Дипломом и медалью имени академика В.Н. Челомея, дважды (1998 и 1999 г.г.) удостоен именной стипендией Президента России.



3.7. Современное состояние и перспективы развития гироскопических чувствительных элементов для ракет и космических аппаратов



Студент 6-го курса (ПС1-Д1, Авиамоторная) *Рожков В.А.*
Научные руководители:
декан факультета ПС, к.т.н., доцент *Герди В.Н.*,
зам. Главного конструктора НИИ ПМ им. академика
В.И. Кузнецова, д.т.н., профессор *Решетников В.И.*

Для задач, решаемых на борту подвижных аппаратов, требуется соответствующее информационное обеспечение. Радикальное совершенствование современного навигационного оборудования в последнее время обусловлено: требованиями к информации о параметрах движения объекта при значительном уровне естественных или искусственных помех; необходимостью снижения стоимости, энергопотребления, массогабаритных характеристик этого оборудования, а также повышения уровня и глубины автоматизации.

В представленном докладе рассмотрены основные типы инерциальных чувствительных элементов, которые используются в настоящее время в системах ориентации, стабилизации и навигации различных подвижных объектов. Проведен сравнительный анализ современного состояния разработки гироскопов и акселерометров как в России, так и за рубежом. Определены перспективные области применения инерциальных ЧЭ на современном этапе и в ближайшем будущем.

Проведенный анализ позволил выявить основные тенденции развития в мировой практике как самих чувствительных элементов, так и систем, основой которых они являются.

Комментарий декана:

Гостя конференции В.А. Рожкова представил его научный руководитель В.Н. Герди. Доклад вызвал большой интерес. Было задано много вопросов, на которые студент дал лаконичные, но исчерпывающие ответы. В прениях была затронута и современная проблема создания бескарданных волновых твердотельных гироскопов. Первая премия МГТУ им. Н.Э. Баумана за лучшую научную работу 1999 г. была присуждена декану факультета ИУ, профессору В.А. Матвееву за выполненные им исследования именно в этой области. 15 мая 2000 г. В.А. Матвеев сделал блестящий доклад по этой работе на Ученом Совете МГТУ.



IV. Информационные технологии

4.1. Задача моделирования интерферометрической съемки поверхности Земли радиолокатором с синтезированной апертурой



Студент 5 курса (АКЗ-101) *Чемякин Э.В.*

Научный руководитель:

вед. инженер отдела 00-30, к.т.н., доцент *Елизаветин И.В.*

Важнейшим этапом в процессе восстановления рельефа Земли по результатам интерферометрической съемки является развертка фазы. Алгоритмов развертки фазы существует множество и поэтому появляется необходимость тестирования качества их работы. Для этой цели создано программное обеспечение, позволяющее смоделировать процесс интерферометрической съемки поверхности Земли радиолокатором с синтезированной апертурой при различных параметрах полета спутника и работы аппаратуры приема.

Разработанная программа отличается рядом особенностей, предоставляющих пользователю следующие возможности: вводить цифровую модель обозреваемого рельефа; учитывать направление движения спутника (восходящая либо нисходящая траектория, направление обзора Земли: правый либо левый борт); варьировать большим числом параметров: длиной волны, высотой полета, наклонной дальностью, расстоянием между витками, размером пикселя и т.п.; автоматически компенсировать набег фазы по дальности; учитывать неизбежное появление мультипликативных и аддитивных шумов, являющихся следствием тепловых шумов принимающей аппаратуры и спекл-шума поверхности; моделирование процесса приема проводить при предположении о различных формах поверхности Земли (круглой для космического базирования и плоской для самолетного базирования); учитывать возникновение затененных областей. Программа моделирования написана на языке Visual C++ 6.0.

Комментарий научного руководителя:

Работа выполнена в рамках проводимых в отделе 00-30 работ по созданию программно-математического обеспечения обработки данных радиолокатора, создания цифровых моделей рельефа по результатам радиолокационных съемок и, в частности, для анализа качества работы алгоритмов развертки фазы интерферометрического процессора.

В процессе моделирования студентом Э.В. Чемякиным написана и отлажена компьютерная программа, позволяющая пользователю варьировать необходимым набором параметров обзора и характеристик аппаратуры и сохранять результат моделирования в виде файла интерферограммы для последующего анализа.

Реализованная модель обзора позволяет учитывать все необходимые для моделирования особенности радиолокационной съемки.

4.2. Объектно-ориентированное решение задачи многомерного поиска в больших массивах данных

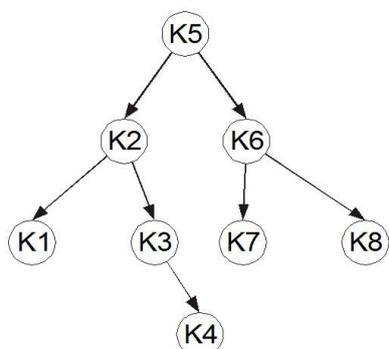


Студент 3-го курса (АКЗ-61) *Дзагания А.Ю.*
 Научный руководитель:
 зам. начальника отдела КИТ 11-04 *Соболев А.В.*

Системы управления базами данных используются давно и повсеместно. Самые мощные и дорогостоящие из них находят применение для работы со сверхбольшими массивами данных в крупных научно-исследовательских центрах, в поисковых машинах, коммерческих базах данных. Но рядовой пользователь тоже знаком с СУБД; достаточно назвать Access или FoxPro. Поэтому можно говорить о достаточно широком круге задач, решаемых данными программными средствами.

Естественно, весь спектр интересов пользователей (особенно корпоративных) не может быть удовлетворен каким-либо одним продуктом. В каждом конкретном случае учитываются локальные особенности и создается промежуточное программное обеспечение, призванное «встроить» систему в местную инфраструктуру. Но даже этого бывает мало, так как предлагаемое на рынке ПО может быть слишком универсальным и дорогим но недостаточно эффективным. В таких случаях не обойтись без собственных разработок предприятия. Одной из таких разработок является предмет обсуждения данного краткого обзора. Тогда, как и в данном случае, разрабатывается собственная система.

Любая СУБД должна уметь решать задачу выборки требуемых данных из некоего информационного наполнения. Существующие способы хранения данных и их поиска часто не дают нужной производительности. Это в первую очередь связано с несовершенством алгоритмов. Например, нельзя говорить о высокой производительности, если система производит контекстный поиск в большом объеме неорганизованных данных.



$K1 < K2 < \dots < K8$

Рис. 1. Бинарное дерево

Предлагаемое решение использует бинарные деревья (рис. 1). Бинарные деревья в своей изначальной структуре очень хорошо подходят для быстрого поиска в оперативной памяти компьютера. Это связано с тем, что они используют все преимущества (широко известного) бинарного поиска и достаточно легко могут перестраиваться при динамическом изменении данных. Время поиска по дереву пропорционально логарифмической зависимости от числа узлов. Поэтому бинарные деревья, особенно их подвид – сбалансированные деревья¹ предпочтительны для решения задач быстрого поиска. Однако в таком состоянии бинарные деревья совершенно

¹Созданы двумя советскими математиками Г. М. Адельсоном-Вельским и Е. М. Ландисом в 1962 г.

не подходят для поиска на медленных (по сравнению с оперативной памятью) носителях (жестких дисках).

Для решения этой задачи бинарные деревья следует видоизменить, сделав каждый узел хранителем не одного, а многих данных. При этом информативная нагрузка узла увеличивается во много раз, а число бит служебной информации на каждый ключ резко уменьшается. Тогда каждому ключу, находящемуся в узле, будет принадлежать свое поддерево – получается сильно ветвящееся дерево (рис. 2). Следует отметить, что в обычном дереве число ссылок на подузлы на один больше числа ключей (в простейшем бинарном дереве один ключ и две ссылки). В данной работе число ссылок в точности равно числу ключей. Этому автор добился путем добавления в каждый узел фиктивного ключа «минус бесконечность», позволяющего сильно упростить алгоритмы и увеличить эффективность кода (на рис. 2 ключи K_1 равны $-\infty$). Связанное с этим увеличение памяти под узел вполне оправдано, так как составляет не более 0,5 % от общего объема информации, а скорость работы значительно увеличивается.

Для поиска в сильно ветвящемся дереве достаточно загрузить нужное число узлов в оперативную память и, используя спуск по дереву, дойти до нужного ключа. Схема кэширования позволяет хранить фиксированное число узлов в быстрой памяти, что минимизирует число обращений к диску. Вставка новых элементов в сильно ветвящееся дерево также производится достаточно просто, удаление чуть сложнее. Данный метод сочетает в себе высокую скорость поиска по бинарному дереву, гибкие требования к размерам оперативной памяти и возможность работы с неограниченными массивами данных. В качестве ключей могут быть использованы любые типы данных, имеющие фиксированную длину. Это позволяет производить многомерную организацию данных и их поиск. В настоящее время реализована возможность работы с 32-битными ключами (пространство ключей ограничено 4,3 млрд. штук); система показала высокую эффективность как по скорости, так и по использованию дисковой памяти (около 100 %). Следует сказать, что данный метод управления данными может лечь в основу оригинальной СУБД.

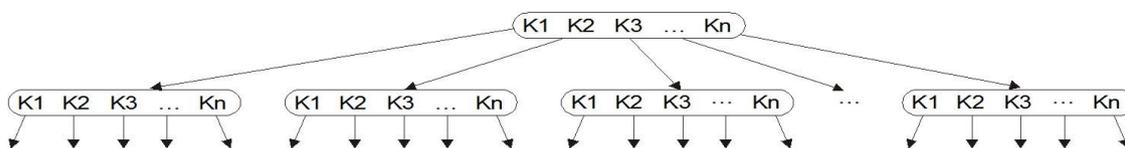


Рис. 2. Сильно ветвящееся дерево, построенное на основе бинарного

В качестве аналога рассматривался широко известная СУБД Microsoft Access. Она поддерживает форматы данных, использующие индексные файлы, поэтому сравнение оправдано (рассматриваемое решение тоже использует индексные файлы). Проведенное тестирование показало, что на создание файла данных из 1 000 000 ключей рассматриваемая система затратила 7 с, а Access – больше часа. При этом размер файла Access составил 19 МБ, а у рассматриваемой системы – 8 МБ. Эти результаты красноречиво подтверждают высокую эффективность данного решения.

Комментарий научного руководителя:

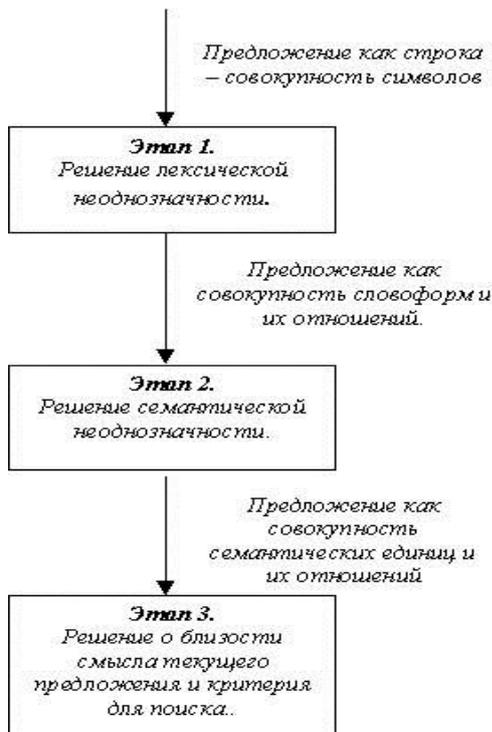
Рассматриваемая работа заслуживает особого внимания как система, позволяющая построить качественную и эффективную СУБД. Система показала хорошие результаты на тестах быстродействия, превзойдя аналоги. Благодаря своей достаточно узкой направленности и вместе с тем широкой сферой использования, работа студента А. Дзагания обязательно найдет активное применение. В перспективе возможно создание полностью многомерного поиска и интеграция с имеющимися базами данных.

4.3. Семантический анализатор текста



Студент 3-го курса (АК5-61) **Воробьев А.С.**
 Научный руководитель:
 зам. начальника отдела КИТ 11-04 **Соболев А.В.**

Семантический анализатор текста – программная разработка, предназначенная для автоматизированной обработки текстовых массивов, с целью выделения их семантической составляющей, то есть смыслового содержания. В процессе работы из текста, представляющего собой упорядоченную совокупность строк – предложений (а в машинном представлении обычный текстовый массив, состоящий из множества символов), образуется последовательность семантических единиц – аналогов смысловых понятий, их отношений и связей. Получившаяся последовательность представляет собой смысловое содержание исходного текста, его качественную характеристику. Она позволяет решать многие прикладные задачи, из которых, в частности, была решена задача полнотекстового поиска с построением запросов на естественном языке. Таким образом, семантический анализатор текста может служить ядром при разработке таких систем как машинные переводчики, системы автоматического реферирования, системы поиска информации, системы автоматического рубрицирования, и так далее.



Этапы полнотекстового поиска

Процесс полнотекстового поиска можно условно разбить на 3 этапа (см. рисунок). На вход подается предложение из текста, представляющее собой обычную строку. На первом этапе решается так называемая проблема лексической неоднозначности, состоящая в том, что для каждого слова могут быть не единственным образом определены его характеристики (такие, как, например падеж, склонение и тому подобное). На выходе первого этапа предложение представляет собой список словоформ (которые должны обязательно существовать в словаре) и их атрибутов и связей. На втором этапе решается проблема семантической неоднозначности, состоящая в том, что некоторые слова (например, ключ, игра) могут менять свое смысловое значение в зависимости от контекста. На выходе – список семантических единиц и их связей.

И наконец, на третьем этапе сравниваются два семантических связанных списка (текущее предложение и критерий для поиска) и принимается решение о степени их близости, выражающейся числом. Таким образом, зная количество предложений, достаточно близких к критерию по смыслу, можно сделать вывод о близости смысла всего текста к критерию поиска.

Комментарий научного руководителя:

Предоставленная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, с применением новейших методов построения информационных систем. Система полнотекстового поиска имеет принципиальное преимущество перед своими аналогами, качественно отличаясь от них методами анализа. Заключенные в анализаторе возможности позволяют широко использовать его при решении многих частных задач, связанных со смысловым содержанием текстовых массивов. Работа может в дальнейшем развиваться и успешно применяться в разрабатываемой на НПО информационной системе САПИЕНС.

4.4. Информационная единица типа 3D-модели



Студент 3-го курса (АКЗ-61) *Листаров А.А.*
Научный руководитель:
зам. начальника отдела КИТ 11-04 *Соболев А.В.*

В настоящее время на рынке программного обеспечения достаточно широко представлены системы трехмерного моделирования объектов. Однако для адаптации этих систем с целью достижения интеграции с информационной системой САПИЕНС требуется доступ к исходным кодам, что либо в принципе невозможно, либо нецелесообразно с финансовой точки зрения. Поэтому возникла задача разработки оригинальной системы 3D-визуализации, которая могла бы функционировать в системе САПИЕНС в рамках принятого в ней базового понятия информационной единицы (ИЕ).

С целью оптимизации хранения и обработки данных была выработана следующая структура описываемой ИЕ.

Информационный объект. В нем хранятся данные о размерах, формах, свойствах поверхности и т.п. моделируемых объектов. Кроме того, посредством этого объекта могут осуществляться связи с другими объектами Единого Информационного Пространства системы САПИЕНС – информационными единицами и рубриками. Благодаря этому становится возможным организовать привычное для пользователя отражение информации посредством объектов окружающего нас трехмерного мира. Например, если в моделируемой комнате архива имеется несколько однотипных шкафов с документами, то описываться эти шкафы будут посредством одного и того же информационного объекта, но

каждый из этих объектов будет связан с различными ИЕ, содержащими списки документов, хранимых в каждом из шкафов. Причём описанный подход универсален и позволяет создать описание практически любого объекта – от ящика с инструментами, до сложнейшей ракеты.

- Визуальный объект. Он не содержит никакой информации о свойствах моделируемых объектов, однако в нем содержатся данные, необходимые для создания изображения моделируемого объекта в целом – координаты наблюдателя, направление его взгляда и т.п. Визуальный объект состоит из двух функциональных частей, предназначенных для редактирования и просмотра информации.

Таким образом, данные оказываются отделёнными от своего представления, что позволяет рационально организовать их хранение и обработку. Достаточно сохранять только координаты вершин объекта и используемую текстуру, а вся остальная информация, необходимая для создания изображения, такая, как координаты текстуры, значения освещённости и т.п., будет рассчитана в визуальном объекте непосредственно при отображении модели. Для ускорения обработки больших массивов данных все моделируемое пространство может быть разделено на блоки, причём данные, необходимые для отображения объектов в соответствующем блоке, будут загружаться и обрабатываться только по мере необходимости, например, когда пользователь переместится в данный блок. При этом конкретный информационный объект необязательно должен быть ограничен каким-либо блоком – при переходе в новый блок будет автоматически установлена связь новой части объекта с содержащейся в предыдущем блоке. Такой подход удобен для моделирования больших объектов, где требуется разный уровень детализации, в зависимости от положения наблюдателя. Например, при моделировании территории НПО машиностроения каждый корпус может быть представлен одним блоком, внутри корпус также разделяется на блоки, представляющие собой этажи, те в свою очередь на блоки кабинетов и т.п. Так если мы находимся в холле 24 корпуса – нам важно видеть, какие кабинеты находятся на первом этаже, но совершенно не нужно загружать в оперативную память информацию о расположении столов в аудитории № 5 Аэрокосмического факультета.

Современные стандарты предъявляют высокие требования к реалистичности 3D-моделей, поэтому в работе для создания подсистемы просмотра визуального объекта был использован API OpenGL, что позволило добиться качественных эффектов динамического расчета освещённости сцен, наложения рельефных текстур и т.п.

Комментарий научного руководителя:



Работа студента А.А. Листарова актуальна, так как дополняет систему САПИЕНС новой ИЕ, позволяющей создавать трехмерные модели различных объектов и связывать их с уже существующими ИЕ системами. К недостаткам работы можно отнести высокие аппаратные требования и недостаточно проработанное взаимодействие с системой САПИЕНС, что является в большей степени вопросом времени, а не архитектурных просчетов.

4.5. Лазерный мониторинг атмосферных аэрозолей.



Студент 1-го курса (АК5-21) *Айдин В.С.*

Лидар – одно из наиболее эффективных средств дистанционного зондирования атмосферы. С его помощью решается задача по определению пространственной картины распространения некоторого вещества. Прибор может служить для контроля промышленных выбросов или получения метеорологической информации. Моделирование работы лидара на компьютере – только часть проблемы. Необходимо рассматривать работу прибора в окружающей среде. Для этого нужна модель самой среды.

Началом работы можно считать создание модели облака по известным литературным источникам (в том числе таблицам зон радиоактивного заражения местности). В основу положена теория математического моделирования распределения аэрозолей и их взаимодействия с лазерным излучением. Движение облака описывается уравнением переноса массы. Задается масса поднявшихся в воздух веществ. Затем эта масса распределяется поровну среди n частиц. (в существующей версии $n = 5000$). Формируется начальное облако небольшого радиуса. Далее частицы начинают двигаться. Каждая частица перемещается, испытывая некоторые случайные флуктуации. Так происходит диффузия частиц. При этом часть массы облака выпадает. После выпадения всех частиц территория классифицируется по массе выпавших частиц.

Решается задача по восстановлению пространственной картины распределения вещества в атмосфере. Для прогноза работы лидара через некоторое время после получения первичной информации об облаке необходимо рассматривать процесс в динамике. Решить задачу можно, используя уравнение лазерной локации в приближении однократного рассеяния.

Применяя это уравнение к каждой частице облака, получаем модель сигнала лидара.

Разработана компьютерная программа, позволяющая моделировать рассмотренные выше процессы.

Комментарий декана:

Студент В.С. Айдин работу по теме мониторинга экологических катастроф начал еще в школе. Зимой этого года он выступил на Международной выставке работ молодых ученых "Шаг в будущее". Демонстрация созданной им компьютерной программы вызвала интерес. Работа завоевала призовое место (Грамота жюри и Диплом Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ). В дальнейшей своей работе автор консультировался у доцента каф. ФН-2 В.И. Алехновича.

4.6. Использование точных трехмерных моделей в процессе разработки



Студент 3-го курса (АК4-61) *Руднев В.А.*
Научный руководитель:
зам. начальник отдела 01-01 *Свинцов А.В.*

В настоящее время точные трехмерные модели изделий российских разработчиков создаются, как правило, только после завершения процесса проектирования, причем обычно в демонстрационных целях. Но можно применять подобное моделирование на всех стадиях разработки – от идеи проекта до испытаний. Подобная технология уже давно используется большинством мировых производителей всевозможной техники, каждая уважающая себя западная компания-разработчик имеет дизайн-студию, в которой уже с начальных этапов проектирования создается виртуальный макет будущего изделия.

Использование подобного метода позволяет не только поднять уровень качества разработки, но и существенно ускорить процесс проектирования, так как одна и та же модель может использоваться на всех его стадиях с различной степенью детализации.

В работе рассматриваются применения трехмерных моделей на различных этапах разработки изделий, положительные и отрицательные аспекты метода.

Комментарий научного руководителя:

Василий Руднев продуктивно трудится в коллективе отдела 01-01, занимаясь созданием пространственных моделей наших изделий. Методы, затронутые в его докладе, частично уже используются в работе подразделений НПО машиностроения, но многое еще предстоит внедрить, и аппаратное обеспечение предприятия позволяет сделать это.

Работая с подобной моделью изделия, удобнее производить компоновку как всего изделия в целом, так и отдельных отсеков и систем, а также согласование его узлов, видеть плюсы и минусы различных конструктивных реализаций. В процессе создания и дополнения моделей на более поздних стадиях разработки выявляются недоработки компоновочных увязок, полностью определяются зоны размещения, форма и размеры различных агрегатов. Данный метод позволяет существенно упростить и усовершенствовать стадию макетирования изделия.



4.7. Задача оптимального представления графа



Студент 1-го курса (АК5-21) *Качинский И.В.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. ИУ-6 *Ничушкина Т.Н.*

Во многих прикладных задачах используются графы. При этом остро ставится вопрос о его графическом представлении. Граф как структура данных очень нагляден, но сложную систему с сотнями вершин и тысячами ребер очень сложно расположить так, чтобы в ней было несложно разобраться. Оптимальным считается такое представление, при котором пересекается наименьшее число ребер, а вершины и ребра графа наиболее удалены друг от друга. Автору не удалось найти в теории графов подходящих алгоритмов для решения поставленной задачи. В компьютерных информационных системах решений также не найдено. Если они и есть, то, как правило, просто неудовлетворительны или рассчитаны на некоторый конкретный случай. В большинстве случаев расположение вершин целиком возлагается на пользователя. Видимо не в последнюю очередь это связано с большой вычислительной сложностью задачи.

Тем не менее был найден и реализован алгоритм, позволяющий получать удовлетворительное решение для среднего числа вершин (порядка десятков, сотен) за приемлемое время на обычном персональном компьютере. Суть метода состоит в том, что все вершины представляются как материальные точки, а соединяющие их ребра – как пружины. Все тела заряжаются зарядами одного знака, что приводит к возникновению сил отталкивания. Кроме этого, вводятся несколько специальных сил. Затем ведется расчет изменения состояния системы с течением времени. После получения приближенного пространственного решения пространство постепенно сжимается вдоль одной из осей, после чего вырождается в плоскость.

Алгоритм используется в курсовом проекте по технологии программирования «Система автоматизированного создания документации на п/о».

Комментарий научного руководителя:

Система применима во многих реальных задачах, например, для визуализации конечных автоматов или структур реляционных баз данных. Алгоритм программы позволяет существенно (в несколько раз) ускорить ее работу для получения решения, имеющего практическое применение. Автору рекомендовано продолжить разработки.

4.8. Реализация арифметики многократной точности



Студент 4-го курса (АКЗ-81) *Бабенко В.В.*

Научный руководитель:

зам. начальника отдела КИТ 11-04 *Соболев А.В.*

Современные вычислительные средства позволяют работать с числами, представленными с определенным количеством точных знаков в мантиссе у результата вычислений. Так, например, известный всем калькулятор под Windows95 выдает результат с 15 значащими десятичными знаками в мантиссе и 3 цифры на порядок числа. А современные компьютеры на аппаратном уровне работают с числами не более $1.7E+308$ с 15 знаками точности.

Невозможность работы современных вычислительных средств и программного обеспечения с «длинными числами» заставляет задуматься о реализации такого типа данных на компьютере. Поэтому и был разработан класс чисел с высокой точностью, то есть набор процедур и операций, реализующих все основные арифметические действия над числами такого рода. В данном классе количество значащих цифр мантиссе задается пользователем. Новые «длинные» числа хранятся в массиве 32-х битных машинных слов, то есть в таком типе данных, с которым работает современный процессор.

Для удобства использования таких массивов, применялся метод двоично-десятичного представления чисел. Это позволяет избежать ошибок при преобразовании чисел в десятичную систему счисления, а также ускоряет вывод. Реализация арифметики с такими числами поддерживается современными процессами, но ресурсы машины используются нерационально: в одном байте хранится одна десятичная цифра, и после каждой операции происходит коррекция результата.

Для программной реализации «длинных чисел» был предложен следующий формат хранения данных: в 32 битном машинном слове используются 30 разрядов для хранения 9 десятичных цифр, то есть по сути дела используется позиционная система счисления по основанию 10^9 . Дальнейшие операции над числами, представленными таким новым типом данных, производится по классическим правилам арифметики, но с основанием системы счисления 10^9 .

За основу алгоритмов арифметики (то есть операций $+$ $-$ $*$ $/$) были взяты соответствующие алгоритмы из книги Д. Кнут «Искусство программирования на ЭВМ». Были реализованы как классические алгоритмы (деление и умножение «в столбик»), так и алгоритмы быстрого умножения и деления, но с учетом нового представления чисел (все алгоритмы в книге даны для двоичного представления чисел). Например, быстрое умножение работает быстрее классического уже с массивами от 100 машинных чисел.

Комментарий научного руководителя:

Реализации данных алгоритмов в настоящее время очень актуальна. Их можно использовать в различных бухгалтерских и финансовых модулях, а также для обработки различных экспериментальных данных, например, при реализации цифровых рекурсивных фильтров.

V. Математическое моделирование

5.1. Моделирование и разработка средств для автоматизированного проектирования сотовых конструкций



Студент 5 курса (АКЗ-101) *Угодин С.А.*
Научный руководитель: академик РАИИ,
д.ф.-м.н., профессор *Димитриенко Ю.И.*

Многослойные конструкции с сотовым наполнителем являются конструктивными элементами изделий ракетно-космической и авиационной техники. Они обладают наиболее высокими показателями «жесткость/масса» и «плотность/масса».

Они достаточно технологичны, сравнительно дешевы и обладают способностью к варьированию характеристик в зависимости от требований применения в конкретных конструкциях.

В настоящей работе разработана математическая модель для расчета эффективных упругих характеристик и прочности трехслойных конструкций с различной структурой: сетчатых, шестигранных, шестигранных с усилением, прямоугольных, зигзагообразных и др. Модель представляет собой многоуровневую иерархическую схему, на низшем структурном уровне которой находятся однонаправленно-армированные трансверсально-изотропные структуры, деформирование и разрушение которых описывается моделью Ю.И. Димитриенко. Переход от одного структурного уровня к другому осуществляется с помощью сложения слоистых систем.

Расчет прочностных свойств проводится с помощью пошаговых итераций структуры с монотонным увеличением нагрузки. На каждом шаге итерации рассчитываются тензоры микронапряжений во всех элементах микроструктур.

В результате выполнения работы разработаны программы для расчета эффективных упругих характеристик сотовых конструкций и их прочностей по характеристикам элементов сот (ленты, обшивок, усиливающих элементов, клея, сварных швов и др.), а также по характеру внутренней геометрии сот.

Получены результаты численного расчета зависимости эффективных упругих констант от параметров структур для различных вариантов сотового наполнителя, проведено сравнение результатов расчетов с имеющимися экспериментальными данными для сот из алюминиевой фольги. Получены сравнительные характеристики параметра «жесткость/масса» для различных типов сот.

Разработанная математическая модель и программные средства являются составными элементами программного комплекса для автоматизированного проектирования сотовых конструкций с оптимальными свойствами.

Комментарий научного руководителя:



Работа студента С.А. Угодина была направлена на разработку математических моделей сотовых конструкций с самыми различными вариантами сотового заполнителя. Целью работы являлось также создание программных расчетных модулей для автоматизированного проектирования сотовых трехслойных конструкций применительно к различным изделиям как ракетно-космической, так и гражданского назначения.

Применение этих моделей и программных средств позволит значительно сократить время на конструкторско-технологическую отработку перспективных сотовых конструкций, что особенно актуально при создании крупногабаритных изделий, таких как обтекатели, элементы планера, элементы крыла и др.

5.2. Моделирование термомеханических процессов в цилиндрических оболочках из композитов при лазерном нагреве



Студент 6-го курса (АКЗ-Д1) **Минин В.В.**
Научный руководитель: академик РАИИ,
д.ф.-м.н., профессор **Димитриенко Ю.И.**

Задача моделирования термомеханических процессов в композиционных материалах при лазерном нагреве весьма актуальна. По сравнению с традиционными металлическими материалами композиты обладают существенными особенностями: в них происходят внутренние физико-химические процессы, приводящие к изменению самой структуры материала и его конструкционных свойств.

В настоящей работе исследуется воздействие лазерного локального нагрева на цилиндрическую оболочку из композиционного материала. Рассматривается модель аблирующих композиционных материалов, предложенная Ю.И. Димитриенко. Особенностью модели является учет фазовых и химических превращений, происходящих в материале при сверхвысоких температурах. Цель работы – определение влияния внутренних процессов теплопереноса на напряженно-деформированное состояние (НДС) оболочки, при локальном лазерном нагреве.

Разработанная методика расчета и программный продукт могут быть применены для оценки поведения элементов аэрокосмических конструкций из КМ в условиях воздействия локального лазерного излучения.

Расчет НДС цилиндрической оболочки проводился по уточненной модели С.П. Тимошенко, с учетом давления и моментов от сил межфазного взаимодействия.

Была разработана методика и программа расчета двумерной неосесимметричной цилиндрической оболочки при локальном нагреве. Результаты расчетов, полученные с помощью данной программы, показали, что при лазерном нагреве возникают локальные экстремумы концентрации газа в порах материала, что приводит к возникновению локальных пиков порового давления, которое в свою очередь вызывает появление локальных концентраций напряжений изгиба оболочки.

Комментарий научного руководителя:

Работа студента В.В. Минина посвящена разработке модели поведения тонкостенных оболочечных конструкций из композиционных полимерных материалов при локальном лазерном нагреве большой мощности. Работа весьма актуальна, ввиду отсутствия в настоящее время надежных методик расчета конструкций из нестабильных материалов, каковыми являются композитные конструкции при лазерном нагреве, из-за наличия внутренних физико-химических процессов абляции и тепломассопереноса.

Задача является неосесимметричной и ее численное решение потребовало разработки сложных специальных алгоритмов и программной реализации. Результаты применения данной программы могут оказаться полезными при прогнозировании термомеханических явлений в тонкостенных конструкциях из композитов в условиях лазерного нагрева.

5.3. Расчет давления на поверхности осесимметричных тел. Расчет отхода ударной волны



Студент 6-го курса (АКЗ-Д1) *Савченко А.А.*

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., начальник НИС *Котенев В.П.*

При проектировании летательных аппаратов на предварительных этапах необходимо производить оценочный расчет газодинамических параметров для тел с различными геометрическими формами. Однако при определении давления на поверхности тел, обтекаемых сверхзвуковым потоком невязкого газа, использование приближенных методов (например, формулы Ньютона) часто приводит к большим погрешностям. Целью работы является создание метода и алгоритма расчета параметров процессов газовой динамики с небольшим временем вычисления и приемлемой точностью.

Для расчета давления на поверхности тела использовались:

– система уравнений Эйлера для трехмерного установившегося течения невязкого газа

$$\begin{cases} \operatorname{div}(\rho \vec{V}) = 0, \\ \operatorname{div}(\rho \vec{V} \vec{V} + \hat{g} P) = 0, \\ \operatorname{div}(\rho \vec{V} \mathcal{S}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

– условие совместности, задающее кривизну поверхности

$$K = \frac{1}{2\sqrt{g}} \left\{ \frac{\partial}{\partial x^1} \left(\frac{g_{12}}{g_{11}\sqrt{g}} \frac{\partial g_{11}}{\partial x^2} - \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial g_{22}}{\partial x^1} \right) + \frac{\partial}{\partial x^2} \left(\frac{2}{\sqrt{g}} \frac{\partial g_{12}}{\partial x^1} - \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial g_{11}}{\partial x^2} - \frac{g_{12}}{g_{11}\sqrt{g}} \frac{\partial g_{11}}{\partial x^1} \right) \right\}; \quad (2)$$

– эмпирическая формула для давления на сферическом затуплении*.

В (1), (2) обозначено: \vec{V} – скорость, P – давление, ρ – плотность, \mathcal{S} – энтропия газа, \hat{g} – метрический тензор, g_{ij} – метрические коэффициенты.

На основании (1), (2) было получено дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \theta^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial f}{\partial \theta} \frac{\partial R}{\partial \theta} + f \left(1 - \frac{\partial R}{\partial n} \right) = 0, \quad (3)$$

где $f = -\frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial P} = \frac{1}{r\rho V}$, θ – угол между осью тела и касательной к нему, R – радиус кривизны линии тока.

Решение уравнения (3) для произвольной геометрии ищется методом итераций, в ходе которых начальное приближение для давления задается по модифицированной формуле*.

Для расчета отхода ударной волны использовались:

– балансовое соотношение для потока массы

$$\pi \rho_{\infty} V_{\infty} r_{\infty}^2 = 2 \cdot \pi \int_0^{\Delta n} \rho V_N r \cdot dn; \quad (4)$$

– соотношение, связывающее производную давления по нормали к линии тока

$$\frac{\partial P}{\partial n} = \frac{\rho V^2}{R}; \quad (5)$$

– соотношения Рэнкина – Гюгонио

$$\begin{cases} \rho_{\infty} \cdot V_{\infty, n} = \rho_B \cdot V_{B, n}, \\ P_{\infty} + \rho_{\infty} \cdot V_{\infty, n}^2 = P_B + \rho_B \cdot V_{B, n}^2, \\ \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{P_{\infty}}{\rho_{\infty}} + \frac{V_{\infty, n}^2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{P_B}{\rho_B} + \frac{V_{B, n}^2}{2}, \\ V_{\infty, \tau} = V_{B, \tau}. \end{cases} \quad (6)$$

* Покровский А.Н., Фролов Л.Г. Приближенные зависимости для определения давления на поверхности сферы или цилиндра при произвольном числе Маха набегающего потока. Механика жидкости и газа, 1985. № 2.

- ранее вычисленные параметры газа на поверхности тела;
- дополнительная гипотеза о направлении вектора скорости в середине между телом и ударной волной.

В (4) – (6) ρ_∞ , V_∞ – плотность и скорость однородного сверхзвукового набегающего потока; P , ρ – давление и плотность газа в ударном слое; V , V_N – скорость и ее проекция на касательную к контуру в ударном слое. Параметры до ударной волны обозначены индексом ∞ , за ней индексом B ; индексами n и τ обозначены соответственно нормальная и касательная составляющая скорости по отношению к наклону ударной волны.

Соотношения (4) – (6) были приведены к системе алгебраических уравнений и решены методом итераций.

Апробация алгоритма показала его работоспособность по определению геометрии ударной волны и параметров газовой динамики в ударном слое.

Комментарий научного руководителя:



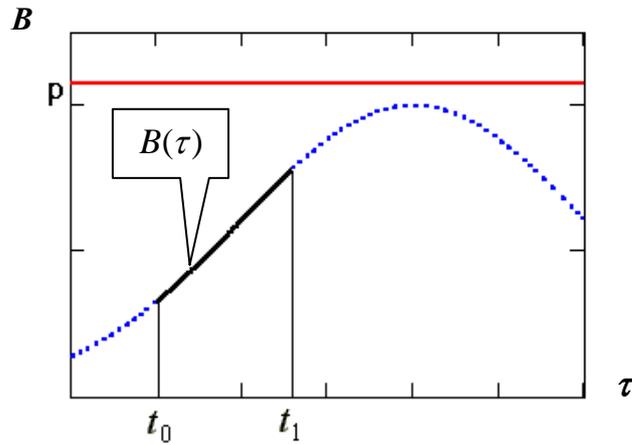
Работа студента А.А. Савченко тесно связана с тематикой отдела 02-27 НПО машиностроения и посвящена актуальному направлению создания эффективных экономичных алгоритмов и программ расчета параметров газовой динамики и теплообмена в ударном слое сверхзвуковых летательных аппаратов. Разработанные студентом программы сочетают в себе простоту приближенных подходов, а точность в определении искомых параметров сравнима с результатами расчета с применением строгих методов.

5.4. Метод непараметрической экстраполяции сигналов



Студент 4-го курса (АКЗ-81) **Корепанов А.С.**
Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-2 **Кутыркин В.А.**

В технических системах часто возникает задача прогнозирования сигналов-характеристик. В частности, такая задача возникает при ускоренных испытаниях, когда необходимо оценить поведение некоторой характеристики-сигнала за ненаблюдаемый в испытаниях период времени. Приводимый рисунок иллюстрирует рассматриваемую задачу прогнозирования, когда известно поведение сигнала на отрезке времени $[t_0, t_1]$ и необходимо определить, превысит ли значение сигнала порог p в дальнейшем.



Математическая постановка рассматриваемой задачи представлена следующим образом. Поведение сигнала $B(\tau)$ в зависимости от времени $\tau > 0$ описывается уравнением Фредгольма 1-го рода.

$$A(x, \tau) = \int_{\Lambda} a(\lambda, \tau)x(\lambda)d\lambda = B(\tau), \quad (1)$$

где A – линейный оператор, Λ – фиксированное компактное подмножество $R_k (k \in N)$, $\tau \in T = [t_0, t_1]$ – заданный промежуток времени, $a \in C(\Lambda \times T, R)$ – известная непрерывная функция (ядро уравнения (1)), x – неизвестная плотность функции распределения на компакте Λ .

Кроме того, значение функции $B \in C(T, R)$ заданы в фиксированные моменты времени

$$\tau_1, \dots, \tau_n \in [t_0, t_1], \text{ т.е. задан вектор значений } b = \begin{bmatrix} B(\tau_1) \\ \vdots \\ B(\tau_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}.$$

Требуется оценить значение функции $B(t)$, где $t > t_1$.

Для решения поставленной задачи можно использовать традиционные методы. Кратко продемонстрируем их основные недостатки. Один из методов основан на решении обратной задачи поиска плотности x по заданным значениям функции B на отрезке $[t_0, t_1]$. Из математической литературы известно, что такая обратная задача является некорректно поставленной. В частности:

- обратная задача решения уравнения Фредгольма 1-го рода (1) некорректна даже в том случае, когда Λ – отрезок в R ;

- кроме того, располагая дискретным набором значений сигнала B правой части уравнения (1), точно восстановить континуальную функцию – плотность x на компакте $\Lambda \in R_k$ (в общем случае $k > 1$) невозможно.

Другие подходы, основанные на методах регуляризации, решают задачу поиска экстремумов значения $B(t) = A(x, t)$, где $t > t_1$ в условиях уравнения (1). Такие методы используют квадратурные формулы и приводят к точечной оценке $B(t)$, что не позволяет указать доверительный интервал для значения $B(t)$.

Предлагаемый для решения рассматриваемой задачи метод основан на использовании качественных свойств функции $B(\tau)$, которые индуцированы аналитическим видом ядра уравнения (1). На основании таких свойств получают систему неравенств:

$$\begin{cases} \varphi_i(B(t), t) > 0, i \in N, t > 0; \\ B(\tau_j) = b_j, j \in \{1, \dots, n\}, \end{cases} \quad (2)$$

эквивалентную уравнению (1) (φ_i – известные функции для $i \in N$).

Поскольку функция $B(\tau)$ задана дискретным набором значений $b = \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$, решение си-

стемы неравенств (2) сведено к стандартной задаче линейного программирования:

$$\begin{cases} Cy - \beta(b) = 0; \\ y \geq 0; \\ \langle c, y \rangle \rightarrow \min(\max), \end{cases} \quad (3)$$

где C – известная, целочисленная, «хорошо обусловленная» матрица, $\beta(b)$ и c – заданные действительные векторы, y – вектор неизвестных, $\langle c, y \rangle$ – скалярное произведение векторов c и y .

Задача (3) допускает эффективное решение стандартными методами линейного программирования.

Работа предлагаемого метода опробована для конкретного аналитического ядра уравнения (1).

Комментарий научного руководителя:



В работе предложен оригинальный подход к решению модельной прикладной задачи экстраполяции характеристики – сигнала некоторой системы. Основное его достоинство состоит в том, что метод решения задачи использует качественные свойства поведения сигнала, является непараметрическим и позволяет эффективно и корректно получать доверительные интервалы для необходимых значений сигнала. Такой непараметрический

подход позволяет избежать решения традиционных некорректных задач, регуляризационные методы решения которых не оценивают погрешность приближенного решения.

Несомненно, что предложенный в работе подход интересен и требует дальнейшего развития и обобщения для практически важных задач гарантированного прогнозирования поведения технических систем.



5.5. Анализ лазерного дистанционного зондирования Земли из космоса с помощью генетического алгоритма



Студент 6-го курса (АКЗ-Д1) *Мишин А.В.*
 Научный руководитель:
 к.т.н., доцент каф. ФН-2 *Алехнович В.И.*

В настоящей работе обсуждается проект по созданию малого космического аппарата (МКА) с унифицированной платформой. Принципиальное отличие его от аналогов состоит в том, что на универсальной платформе, имеющей солнечные панели и систему ориентации и стабилизации, возможно установить, в зависимости от решаемых задач, различное оборудование. Один из вариантов полезной нагрузки – оптико-электронная аппаратура или лидарная установка. Лидар представляет собой источник лазерного излучения и приемник отраженного сигнала. Информация накапливается в твердотельном накопительном устройстве и передается на наземный пункт обработки информации. В результате обработки этой информации можно определить состояние и свойства земной атмосферы.

Решение задачи многокомпонентного спектрального анализа сводится к минимизации функционала Тихонова $\inf_{C \in \Omega} M^\alpha(\bar{C})$:

$$M^\alpha(\bar{C}) = \|A\bar{C} - \bar{U}\|^2 - \alpha \|\bar{C}\|^2.$$

Обычные методы решения данной задачи, как правило, связаны с большим объемом вычислений или не достигают требуемой точности решения. В работе для решения задачи многокомпонентного спектрального анализа рассматривается так называемый генетический алгоритм. Своим названием генетический алгоритм обязан аналогии смоделированного вычислительного процесса эволюции в живой природе. Блок-схема генетического алгоритма представлена на рисунке.



Основными достоинствами генетического алгоритма являются быстрое получение результата, устойчивость к помехам и возможность реализации вычислений на суперЭВМ с параллельной обработкой информации, что позволит существенно улучшить характеристики получаемых результатов.

Комментарий научного руководителя:

Работа А.В. Мишина является актуальной как по своей постановке, так и по совокупности новых идей и методов вычислительной математики в решении важных народно - хозяйственных задач.

Генетический алгоритм является одним из методов глобальной оптимизации на основе случайного поиска. Алгоритмическое построение метода автоматически учитывает топологическую и метрическую особенность пространств, что обеспечивает его быструю сходимость. Для решения экологических задач и, в частности, задач лазерного спектрального анализа многокомпонентных газовых смесей этот метод только начинает применяться и можно надеяться, что он позволит существенно улучшить точность анализа с одновременным его ускорением.

5.6. О фрактальной и топологической размерности в евклидовых пространствах



Студенты 2 – 3-го курса (АКЗ-41 и АКЗ-61) **Коновалова М.Д.** и **Сотников П.В.**
 Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-2 **Наниев В.С.**

В последнее время становится ясно, что именно фракталы, изредка привлекавшие внимание математиков и раньше, определяют как структуру аттракторов динамических систем (отражающих почти хаотическое, плохо предсказуемое поведение в системах, управляемых детерминированными законами, в частности, возникновение гидродинамической неустойчивости, плохую прогнозируемость погоды и явления типа турбулентности), так и бифуркации аттракторов (то есть перестройки качественного поведения, устанавливающегося в системе режима при плавном изменении параметров, от которых зависит система).

В свете этого становится интересным вопрос о размерности фракталов. В качестве примера рассматривается совершенное канторово множество.

При рассмотрении используется фрактальная (или хаусдорфова) размерность, определяемая по формуле:

$$\lim_{e \rightarrow 0} \frac{\lg N}{\lg 1/e},$$

где N – число ячеек; e – диаметр окрестности.

В качестве примера покажем размерность совершенного множества Кантора. При рассмотрении канторова совершенного множества на R^1 получаем топологическую размерность 0, а фрактальную $\log_3(3-1)$. При рассмотрении R^2 получаем топологическую размерность 1, а фрактальную $\log_3(3^2-1)$. Аналогично для R^3 получаем топологическую размерность 2, а фрактальную $\log_3(3^3-1)$. Таким образом, для R^n получаем фрактальную размерность $\log_3(3^n-1)$. И видно, что $|n - \log_3(3^n-1)| < \epsilon$ при $n \rightarrow \infty$. То есть размерность фрактала совпадает с размерностью всего пространства и со своей топологической размерностью.

Комментарий научного руководителя:



В докладе рассматриваются примеры фракталов в евклидовых пространствах. Вычисляется их размерность и приводятся обобщения известных задач в евклидовом и гильбертовом пространстве. Известна связь между хаусдорфовой и топологической размерностью фракталов. Исследуется эта же связь в случае прямого произведения некоторых фракталов и обобщение его на случай гильбертова куба. Рассматривается ряд примеров типа фрактала Коха и определяется их фрактальная размерность и связь с топологической размерностью.

5.7. Прогнозирование орбитального движения искусственного спутника Земли



Студенты 5-го курса (АКЗ-101) **Алексеева В.А.** и **Сысенко Д.В.**

Научные руководители: вед. инженер отдела 00-30, к.т.н., доцент **Елизаветин И.В.**, к.т.н., доцент каф. ФН-2 **Краснов И.К.**

Необходимость прогнозирования орбитального движения спутника возникает при решении многих задач, в частности, при обеспечении точной привязки радиолокационных снимков поверхности Земли к географической координатной сетке. Кроме того, для наблюдателя, находящегося на Земле, требуется знать область обзора в каждый конкретный момент времени для установления связи со спутником.

Для прогнозирования орбитального движения искусственного спутника Земли используется модель, которая обеспечивает компромисс между точностью и вычислительной трудоемкостью прогноза. Этот компромисс достигается за счет использования аналитического решения уравнений движения спутника, так как численное интегрирование дифференциальных уравнений потребовало бы больших затрат машинного времени. В этой модели учитываются: неоднородность распределения земной массы, гравитационное воздействие Солнца и Луны, влияние атмосферного сопротивления. Были сделаны некоторые допущения, накладывающие ограничения на ее использование. При прогнозировании задаются начальные условия орбитального движения спутника в виде двумерного вектора, компонентами которого являются Кеплеровские орбитальные элементы.

При решении задачи наблюдения полагаем, что наблюдатель находится на поверхности Земли и его положение задается геодезическими координатами. Для наблюдателя вычисляются следующие параметры: направление на спутник, область видимости спутника, интервал времени наблюдения.

Для описанной выше модели написана программа на языке Visual C++ 6.0, реализующая функции прогнозирования и наблюдения. Эта программа может применяться при планировании радиолокационной съемки поверхности Земли.

Комментарий научного руководителя:

Студентами 5-го курса В.А. Алексеевой и Д.В. Сысенко проведено моделирование орбитального движения искусственного спутника Земли с расчетом параметров движения и параметров наблюдения спутника из произвольно задаваемой точки на поверхности Земли.

Данная работа выполнена в рамках проводимых в отделе 00-30 исследований для создания программно-математического обеспечения при планировании, приеме и обработке данных с радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли из космоса.

5.8. Определение вращения модели на начальном участке гидробаллистической траектории при помощи лазерных технологий



Студент 4-го курса (АК3-81) **Братчев А.В.**
Научный руководитель: к.ф.-м.н. **Плюснин А.В.**

В работе рассмотрены вопросы применения лазерных технологий для определения вращения модели на начальном участке гидробаллистической траектории – участке входа в воду (под углом к горизонту и с большой скоростью).

Экспериментальные исследования по определению параметров вращения модели при наклонном входе в воду с помощью слежения за моделью лазерными лучами проводятся в НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова с 1989 г. Данная методика позволяет получить информацию высокой точности о движении тела и об ударных нагрузках на него непосредственно в эксперименте с большими скоростями входа в воду (100...400 м/с), что ранее было невозможно.

Определение гидродинамических сил на телах с различной формой передней части важно для расчета движения боевых частей и снарядов на подводном участке траектории.

Для решения задачи был разработан алгоритм, позволяющий по экспериментальным траекториям двух лазерных лучей, отраженных от зеркального торца модели, восстановить основные характеристики вращения модели (углы поворота, угловые скорости и т.п.) в процессе ее погружения в воду.

Алгоритм был реализован на языке C++.

Программа, используя оцифрованные траектории лазерных лучей, определяет временные зависимости углов поворота и угловых скоростей модели, по которым в дальнейшем может быть определен момент гидродинамических сил в процессе ее ударного погружения в воду.

Комментарий научного руководителя:



Работа А.В. Братчева развивает методику определения параметров движения тел и нагрузки на них при ударном входе в воду с большими скоростями, созданную в НИИ механики МГУ. Разработанная студентом программа позволяет проводить компьютерную обработку результатов экспериментов (траектории лазерных лучей, отраженных от зеркальной хвостовой части тел), существенно уточняя определение зависимостей углов поворота и угловых скоростей моделей в процессе погружения в воду.

В дальнейшей работе предполагается реализовать алгоритм расчета момента гидродинамических сил на тела по кинематической информации. Работа актуальна и позволяет продвинуться вперед в решении задач высокоскоростного входа в воду.



5.9. Моделирование пространственно-армированных композиционных материалов методом конечных элементов



Студент 5 курса (АКЗ-101) *Каишкарров А.И.*
 Научный руководитель: академик РАИИ,
 д.ф.-м.н., профессор *Димитриенко Ю.И.*

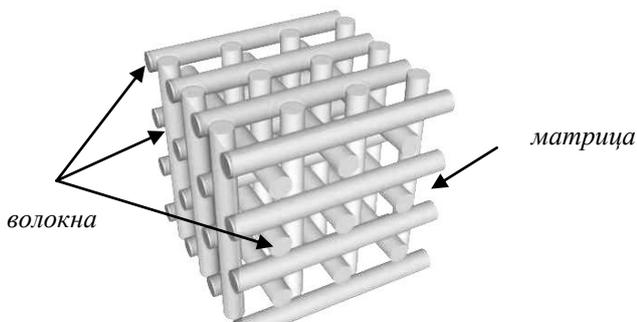


Рис. 1

Применение пространственно-армированных композиционных материалов (рис.1) в ракетно-космической авиационной технике позволяет создавать элементы конструкций, такие как наконечники головных частей ракет, критические сечения сопловых блоков РДТТ, элементы тормозных дисков сверхзвуковых самолетов и др., с характеристиками, существенно превышающими аналогичные показатели для конструкций из традиционных материалов.

Кроме того, у пространственно-армированных композитов имеется возможность варьировать в достаточно широком диапазоне их характеристики за счет подбора внутренней структуры, исходя из конкретных требований применения материала в конструкции.

В настоящей работе рассматривалась проблема формулировки математической задачи для расчета комплекса упруго-прочностных характеристик пространственно-армированных композитов в точной трехмерной постановке, а также разработки эффективного метода расчета макросвойств композита, исходя из свойств волокон, матрицы и параметров внутренней структуры.

Для решения данной задачи был применен метод асимптотического осреднения периодических структур, который был модифицирован путем перехода от условий периодичности и интегральных уравнений, характерных для данного метода, к условиям симметрии задачи. Это позволило эффективно применить технику метода конечных элементов для решения так называемой задачи «на ячейке периодичности» (ЯП). Модифицированная математическая постановка этой задачи состоит из серии 6 задач \mathcal{J}_{pq} , которые имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{ij/j}^\alpha &= 0 \\ \sigma_{ij}^\alpha &= \lambda^\alpha \varepsilon_{kk}^\alpha \delta_{ij} + 2\mu^\alpha \varepsilon_{ij}^\alpha \\ \varepsilon_{ij}^\alpha &= \frac{1}{2}(U_{i/j}^\alpha + U_{j/i}^\alpha) \\ U_i^\alpha &= U_i^4 \\ (\sigma_{ij}^\alpha - \sigma_{ij}^4) n_j &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{– в матрице } \alpha = 4, \text{ в волокнах } \alpha = 1,2,3; \\ &\text{– условия на границе контакта волокон и матрицы с различными граничными условиями на внешних поверхностях ЯП.} \end{aligned}$$

Для задачи \mathcal{J}_{33} эти граничные условия представлены на рис. 2.

Здесь $\sigma_{ij}^\alpha, \varepsilon_{ij}^\alpha, U_j^\alpha$ – псевдонапряжения, псевдодеформации, псевдоперемещения в ячейке периодичности.

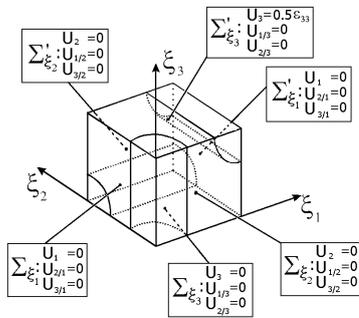


Рис. 2

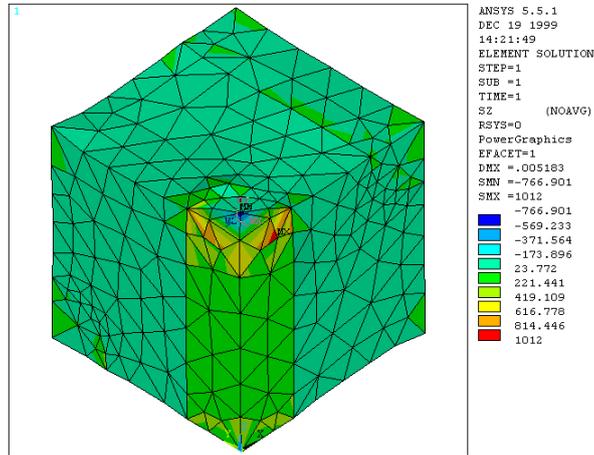


Рис. 3

Для решения этой задачи был применен МКЭ. На рис. 3 представлен один из результатов расчета – график распределения псевдонапряжения σ_{33} в ЯП для задачи \mathcal{J}_{33} .

После расчета σ_{ij}^α для всех задач \mathcal{J}_{pq} интегрированием псевдонапряжений по областям, занятым волокнами и матрицей, рассчитываются эффективные упругие модули композита.

Разработанная модель, метод решения и программная реализация являются составными элементами автоматизированной системы оптимального проектирования пространственно-армированных композитов, которая позволяет проектировать материалы данного класса с наперед заданными свойствами.

Комментарий научного руководителя:

Существующие в настоящее время методы расчета эффективных характеристик композиционных материалов в подавляющем большинстве являются приближенными и как правило, не обладают достаточной точностью вычислений. В то же время имеющиеся методы точного расчета эффективных характеристик в основном не эффективны, так как основаны на решении сложных систем интегродифференциальных уравнений с периодическими граничными условиями. В настоящей работе предложен и реализован метод модифицирования так называемых задач на ячейке периодичности, который позволил привести задачу к виду, пригодному для применения метода конечных элементов.

Разработка этого метода позволила рассчитать в точной постановке все эффективные характеристики ортогонально-армированного 3D-композиционного материала, а также найти микронапряжения в матрице и волокнах композита. Результатом данной работы является также создание расчетного элемента для системы автоматизированного проектирования 3D-композиционных материалов.

5.10. Восстановление плотности функции распределения и моментов случайной величины

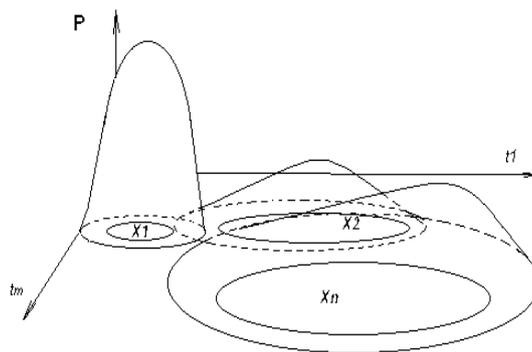


Студент 4 курса (АКЗ-81) **Коптев П.В.**
 Научный руководитель:
 к.т.н., доцент каф. ФН-2 **Краснов И.К.**

Задача о восстановлении плотности функции распределения и моментов случайной величины возникает при решении многих классов задач, в частности, в задаче самообучения системы опознавания образов, то есть обучении без каких либо указаний извне о правильности или неправильности реакции системы на показы.

Предположим, что множество образов X состоит из нескольких непересекающихся подмножеств X_k , где $k=1...N$, соответствующих различным классам образов. Появление при показе образов x из подмножеств X_k случайно.

Совместная плотность функции распределения вероятностей $p(x) = \sum_{k=1}^M P_k p_k(x)$ содержит довольно полную информацию о множествах, где P_k – вероятность принадлежности предъявляемого образа x подмножеству X_k , а $p_k(x) = p(x|k)$ – условная плотность распределения вероятности векторов x внутри соответствующего класса. Таким образом, задача самообучения сводится к восстановлению плотности совместной функции распределения и определению по ней «центров», а затем и границ классов (рисунок).



Для восстановления плотности совместной функции распределения по показам некоторых образов x , будем аппроксимировать конечным набором ортонормированных функций $\{\varphi_v(x)\}$: $\tilde{p}(x, c) = \sum_{v=1}^N c_v \varphi_v(x)$. Оптимальным значением вектора $c = c^*$ будем считать то значение, при котором квадратичная мера уклонения восстановленной плотности распределения от истинной $I(c) = \int_X [p(x) - \tilde{p}(x)]^2 dx$, где X – пространство образов, достигает

минимума. Но трудность заключается в том, что в данном случае истинная плотность распределения неизвестна.

Для определения c^* , исходя из ортонормированности системы функций $\{\varphi_n(x)\}$, существует некий вероятностный итерационный алгоритм обучения, для которого сформулированы и доказаны условия сходимости.

Преимущество этого алгоритма заключается в том, что мы можем восстанавливать плотность функции распределения случайной величины любого типа, не задаваясь априорно видом плотности ее функции распределения. При обучении не требуется накопления исходной информации и при поступлении новой информации (предъявляемых образцов) не потребуется нового пересчета коэффициентов c .

В результате проведенной работы разработана программа, позволяющая восстанавливать плотность функции распределения вероятностей для случайных величин и далее оценить методом χ^2 уровень значимости, при котором гипотеза о виде плотности функции распределения выполняется. Полученные тестовые результаты: восстановление плотности распределения для равномерного, нормального, гиперэкспоненциального закона распределения случайной величины для выборки объемом 6000 и последующая проверка гипотезы дает уровень значимости 0,9...0,9999. Полученные результаты показали высокую эффективность предложенного алгоритма.

Программа реализована на языке программирования Visual C++ в двух вариантах: в виде отдельно запускаемой exe-программы и в виде динамически подгружаемой dll-библиотеки для математической системы MathCad, что позволяет использовать разработанный модуль в среде MathCad, как некоторую внутреннюю функцию системы.

Комментарий научного руководителя:

Работа П.В. Коптева посвящена актуальной задаче восстановления плотности функции распределения случайной величины в условиях отсутствия априорной информации о типе случайной величины. Предложенный метод базируется на идеях адаптации и последовательного анализа. Результаты тестовых испытаний показали высокую эффективность метода. В дальнейшем предполагается использовать полученные результаты в задачах дистанционного зондирования Земли из космоса.

Тезисы докладов и комментарии

Студенческая научно-техническая конференция
Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана
при НПО машиностроения, 23 мая 2000 г.
