

*К 85-летию со дня рождения
академика В.Н. Челомея*

**Студенческая
научно-техническая конференция
Аэрокосмического факультета
МГТУ им. Н.Э. Баумана
при НПО машиностроения
*26 мая 1999 года***



**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
и комментарии**

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
1999



*Академик Челомей В.Н.
1914-1984г.г.*

30 июня 1999г. исполняется
85 лет со дня рождения
**Владимира Николаевича
Челомея** -
- крупного ученого, академика,
Генерального конструктора,
с именем которого связаны
выдающиеся
достижения СССР
в области ракетостроения и
космической техники.

*В.Н. Челомей – основатель
НПО машиностроения и
кафедры «Аэрокосмические
системы» (СМ-2)
МГТУ им. Н.Э. Баумана*

УДК 629.78
ББК 39.53
С 88

Студенческая научно-техническая конференция Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана при НПО машиностроения: Тезисы докладов и комментарии (к 85-летию академика Челомея В.Н.) /Под редакцией Р.П. Симоньянца. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 44с.

ISBN 5-7038-1443-X

Сборник содержит краткие описания научных работ студентов Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, выполненных в 1998/99 учебном году в области теории колебаний, динамики упругих конструкций, механики полета и управления КЛА, математического моделирования рефрактометрических измерений, 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.

Для студентов, аспирантов, преподавателей технических вузов, инженеров и научных работников.

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

Компьютерная верстка
Куркова М.А.

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

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

ISBN 5-7038-1443-X

© Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Аэрокосмический факультет, 1999

© Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999

Студенческая
научно-техническая конференция
Аэрокосмического факультета
МГТУ им. Н.Э. Баумана
при НПО машиностроения
26 мая 1999г.

Тезисы докладов и комментарии

К 85-летию со дня рождения
академика В.Н. Челомея

С о д е р ж а н и е

- О работе Студенческой научно-технической конференции, посвященной 85-летию академика В.Н. Челомея.
- О студенческих научных работах В.Н. Челомея
Декан Аэрокосмического факультета, к.т.н., доцент *Симоньянц Р.П.*

I. Д и н а м и к а и п р о ч н о с т ь

1. Исследование динамики нелинейных систем под действием нестационарного случайного нагружения.
Студент 6-го курса (АК1-Д1) Зайцев С.Э.
Научный руководитель: д.т.н., профессор каф. СМ-2 Тушев О.Н.
2. Динамика изделия на упругих опорах при подводном старте из ТПК.
Студент 6-го курса (АК2-Д1) Пleshков Д.И.
Научный руководитель: нач. сектора 02-23-01 Сабиров Ю.Р.
3. Устойчивость и колебания оболочек вращения с осесимметрично присоединенными массами.
Студент 6-го курса (АК1-Д1) Мироненко Р.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Клюев Ю.И.
4. Расчет динамики жидкости в канале прямоугольного сечения и постпроцессорная обработка (визуализация) полученных результатов.
Студент 6-го курса (АК2-Д1) Кропотин В.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Грибков В.А.
5. Решение задачи на собственные значения для не консервативной динамической системы методом минимизации функционала.
Студент 3-го курса (СМ2-61) Максимов К.Е.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Аринчев С.В.
6. К вопросу оптимизации реактивной силовой установки.
Студент 6-го курса (АК4-Д1) Цымбал О.А.

II. П р о е к т и р о в а н и е

7. Многоразовая аэрокосмическая транспортная система: общее проектирование, методика и программа расчета проектных параметров.
Студенты 4-го курса (СМ2-81) Блинов А.С. и Боханов А.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Грибков В.А.
8. Проект пенетратора для исследования поверхности Марса.
Студент 4-го курса (СМ2-81) Дубинкин Н.С.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Зеленцов В.В.
9. Модернизация программы моделирования атмосферного спуска с орбиты.
Студенты 5-го курса (АК1-101) Асатуров С.М., Цховребов Р.Г.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Зеленцов В.В.
10. Оптимизация параметров кумулятивных зарядов.
Студент 3-го курса (АК1-61) Фионов А.С.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-4 Герасимов Ю.В.
11. Оценка работоспособности космических аппаратов блочно-модульного исполнения.
Студент 6-го курса (СМ2-Д1) Кулюкин О.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Никитенко В.И.

III. Системы управления

12. **Исследование угловых маневров и стабилизации КА с учетом жесткости конструкции.**
Студент 6-го курса (АК4-Д1) Афонин В.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ИУ-1 Зуев А.Г.
Консультант: инженер 1-й категории НПОМ Чифириов И.Е.
13. **Разработка и исследование алгоритма терминального управления аэродинамическим объектом.**
Студент 6-го курса (АК4-Д1) Белоусов И.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент Филимонов Н.Б.
14. **Неоднозначные моменты бифуркаций в одной динамической системе.**
Студенты 5-го курса (АК1-101) Бибер С.В. и Титов В.Е.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Симоньянц Р.П.
15. **Ротационные предельные циклы на фазовом цилиндре.**
Студенты 5-го курса (АК1-101) Булаев А.А.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Симоньянц Р.П.
16. **Компьютерная модель нелинейной динамической системы.**
Студент 5-го курса (АК1-101) Слюняев А.Ю.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 Симоньянц Р.П.
17. **Анализ точности автоматической системы посадки беспилотного летательного аппарата (БЛА).**
Студентка 7-го года обучения (каф. ИУ-1) Майорова Т.В.
Научный руководитель: профессор Неусытин К.А.
Консультант: науч. сотр. НПОМ Большаков М.В.

IV. Информационные технологии

18. **Восстановление фазы стохастического двумерного сигнала применительно к задаче радиолокационной интерферометрии.**
Студент 6-го курса (АК3-Д1) Виноградов М.В.
Научный руководитель: вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.
19. **Оценка точности метода построения рельефа местности по данным стереоскопической радиолокационной съемки.**
Студент 6-го курса (АК3-Д1) Федоров В.А.
Научный руководитель: вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.
20. **Математическое моделирование взаимодействия СВЧ излучения с поверхностью Земли для определения удельной эффективной площади рассеяния земной поверхности (УЭПР).**
Студент 6-го курса (АК3-Д1) Кононов М.А.
Научный руководитель: Вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.
21. **Многоспектральная классификация радиолокационных изображений.**
Студент 5-го курса (АК3-101) Десятков Р.Е.
Научный руководитель: вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.
22. **Исследование влияния сжатия радиолокационной информации в формате JPEG на качество последующей обработки.**
Студент 2-го курса (АК4-41) Рудяев В.А.
Научный руководитель: вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент Елизаветин И.В.
23. **Разработка информационной системы хранения и обработки единиц размерностей.**
Студент 2-го курса (АК3-41) Дзигания А.Ю.
Научный руководитель: вед. инж. отд. 11-04 Соболев А.В.

V. Математическое моделирование

24. **О нетрадиционных возможностях интегрирования в банаховых пространствах.**
Студент 3-го курса (АК3-61) Корепанов А.С.
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцента каф. ФН-2 Кутыркин В. А.
25. **Математическое моделирование рассеяния лазерного излучения шероховатой поверхностью.**
Студент 6-го курса (АК3-Д1) Колготин А.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ФН-2 Алехнович В.И.
26. **Моделирование колебаний ЛЭП СВН при ветровом воздействии и обледенении.**
Студент 6-го курса (АК3-Д1) Мошонкин В.С.
27. **Модернизация программной обработки измерений автоматического рефрактометра.**
Студент 4-го курса (АК3-81) Сысенко Д.В.
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. ФН-2 Алехнович В.И.
28. **Расчет газопроницаемости пористых сред методом конечных элементов.**
Студент 6-го курса (АК3-Д1) Глазиков М.Л.
Научный руководитель: академик РАИИ, профессор, д.ф.-м.н. Димитриенко Ю.И.
29. **Приближенная методика расчета глубины промерзания грунта.**
Студентка 4-го курса (АК3-81) Алексеева В.А.

О работе Студенческой научно-технической конференции, посвященной 85-летию академика В.Н. Челомея

Студенческую научно-техническую конференцию 1999 года (СНТК-99) мы посвящаем юбилейной дате – 85-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея (1914-1984г.г.). Владимир Николаевич Челомей основал НПО машиностроения (1944 г.), сплотил вокруг себя талантливый творческий коллектив, создавший лучшие в мире образцы ракетно-космической техники. Коллектив этой фирмы и сегодня, в сложнейших условиях политической и экономической жизни государства, демонстрирует высочайший научный потенциал, способность решать самые разнообразные современные научно-технические проблемы.

Кадровому обеспечению деятельности творческого коллектива в НПО машиностроения традиционно уделяется огромное внимание. Для обеспечения притока молодых талантливых инженеров В.Н. Челомей в 1960 г. основал в МГТУ им. Н.Э. Баумана кафедру СМ-2 "Аэрокосмические системы". Развивая начатое им дело, Генеральный конструктор, профессор Ефремов Г.А. в 1987 г. на предприятии создает совместно с МГТУ Аэрокосмический факультет (АКФ). Теперь один из лучших в мире технических университетов для всемирно известной фирмы готовит инженеров, погружая студентов в ее высокопрофессиональную среду, вовлекая их в решение своих творческих задач.

Что дает столь тесная интеграция образовательного и научно-производственного процессов? Двенадцатилетний опыт работы Аэрокосмического факультета в НПО машиностроения убедительно демонстрирует огромную жизненную силу реализуемой системы подготовки. Пройдите по подразделениям предприятия: повсюду, где идет творческий процесс, - молодые одухотворенные лица выпускников и студентов факультета. Среди специалистов фирмы в возрасте до 28 лет – 85% наших выпускников. В каждом проекте, в каждой серьезной и перспективной работе предприятия участвуют и студенты. Их роль, их творческий вклад с каждым годом возрастает. В этом легко убедиться, посетив защиты дипломных проектов или побывав на СНТК.



СНТК-99, как и все 11 предыдущих, привлекла большое число специалистов предприятия, преподавателей и, конечно, студентов. Конференц-зал, где обычно проходят заседания Ученого совета фирмы и наши СНТК, не вмещал всех желающих. Не хватило даже стульев, дополнительно принесенных из соседних кабинетов. В зале – руководящие работники, ведущие специалисты предприятия. Среди них: Первый заместитель Генерального директора, лауреата Государственной премии, к.ф.-м.н., доцент Хромушкин А.В., заместители Генерального директора Макаров Л.Е., Царев В.П., Чех В.М.; руководитель кадровой службы Минаев Ю.И.; начальник отделения, к.т.н. Романов В.А.; заместитель начальника отделения лауреат Государственной премии РФ, д.т.н., профессор Епифановский И.С.; доценты-совместители АКФ, начальники отделов и научно-исследовательских лабораторий НПО: д.т.н. Савельев В.В., к.т.н. Авраменко Н.Г., к.т.н. Суханов Э.Д., Семашко В.В., Петросян П.А., к.т.н. Плавник Г.Г., Сабиров Ю.Р., Лепендин Ю.Е., ведущий научный сотрудник,



к.т.н. Григорьев А.Е., главный специалист НИЛ, к.ф.- м.н. Точиллов Л.С., ведущий инженер Соболев А.В., инж. 1-й категории, к.т.н. Елизаветин И.В., инж. 1-й категории Чифиров И.Е., научный сотрудник Большаков М.В.. В работе СНТК-99 принял участие сотрудник предприятия лауреат Государственной премии, д.т.н., профессор МАИ Ильичев А.В..

В работе конференции приняли участие 16 штатных преподавателей МГТУ. Среди них: 8 преподавателей выпускающей кафедры СМ-2 "Аэрокосмические системы": д.т.н., профессор Аринчев С.В., д.т.н., профессор Тушев О.Н., к.т.н., доцент Клюев Ю.И., к.т.н., доцент Никитенко Вит. И., к.т.н., доцент Зеленцов Вл. В., к.т.н., доцент Грибков В.А., к.т.н., доцент Симоньянц Р.П., ассистент Беляев А.В.; 3 преподавателя выпускающей кафедры ФН-2 "Прикладная математика": академик РАИН, д.ф.-м.н., профессор Димитриенко Ю.И., к.т.н., доцент Алехнович В.И., к.ф.-м.н., доцент Кутыркин В.А.; 3 преподавателя выпускающей кафедры ИУ-1 "Системы автоматического управления": к.т.н., доцент Зуев А.Г., к.т.н., доцент Филимонов Н.Б., ст. преп. Фомичев А.В.; доцент кафедры физики к.ф.-м.н. Герасимов Ю.В. и доцент кафедры ИУ-6 к.т.н. Макаруч В.В.. В работе конференции принял участие также начальник Управления кадров МГТУ им. Н.Э. Баумана Митюшкин Л.С..

Среди гостей СНТК-99 ветеран отечественного ракетостроения член Ассоциации космонавтики России Александр Сергеевич Шехоян, внуки В.Н. Челомея Настя и Володя со своей мамой Светланой Юрьевной.

С приветственным словом от коллектива предприятия и его руководства выступил Царев В.П.. Подчеркнув важную роль «нашего любимого Аэрокосмического факультета» в творческой деятельности предприятия, Виктор Павлович сказал, что специалисты фирмы замечают быстрый рост научного уровня студенческих работ и это их очень радует. Говоря о В.Н. Челомее, Виктор Павлович добрым словом помянул и имя его сына Сергея Владимировича, доктора физ.-мат. наук, профессора, продолжавшего дело отца на кафедре СМ-2 МГТУ, но так трагически ушедшего из жизни в этом году.

Председательствующий на конференции декан АКФ дал краткий аналитический обзор студенческих научных работ, выполненных в свое время академиком Челомеем В.Н., особо подчеркнув, что питательной средой стремительного роста его профессионального мастерства была реальная творческая работа в процессе обучения.

Затем участникам конференции было представлено 29 научных работ студентов, 5 из которых выполнены студентами кафедры СМ-2, обучающимися на факультете "Специальное машиностроение" (СМ).



Работы представлялись по 5 тематическим направлениям. Участникам конференции были розданы программы выступлений и сборники тезисов докладов и комментариев к ним. Плакаты к каждому из докладов предварительно были вывешены в конференц-зале. На плакатах закреплены номера, соответствующие номеру доклада в программе и в сборнике тезисов. На груди каждого докладчика были закреплены именные таблички с такими же номерами. Представленные работы прошли тщательный предварительный отбор. В программу включены лишь те из них, которые в достаточной мере отвечали высоким требованиям актуальности, научной новизны, практической и теоретической ценности. Таких работ оказалось 30. Двух докладов не состоялось из-за неявки авторов. Одна работа была доложена сверх программы. По каждому из 5 тематических направлений делалось два-три пленарных доклада, а остальные работы представлялись в форме стендовых докладов. Научные руководители каждой работы по ходу конференции давали необходимые пояснения и комментарии, авторы отвечали на вопросы.

В текущем учебном году 5 студентов факультета АК за особые успехи в научном творчестве были удостоены высоких наград Ассоциации космонавтики России – медалей и Дипломов имени академика В.Н. Челомея. Четверо из награжденных, Сергей Зайцев, Денис Плешков (кафедра СМ-2), Владимир Афонин (ИУ-1) и Андрей Корепанов (ФН-2), представили свои новые работы на СНТК-99. Их доклады вызвали большой интерес.

Первый доложил свою работу С. Зайцев. Научный руководитель профессор Тушев О.Н. в комментариях подчеркнул ее научную ценность и актуальность. Отметил, что оригинальный подход позволил автору получить новые и очень важные результаты. Такая высокая оценка не всем показалась бесспорной. Доцент каф. ИУ-1 Филимонов Н.Б. высказал сомнения. И нужно ли, сказал он, требовать от студента чего-то нового. Достаточно и того, что автор разобрался в таком сложном вопросе, как динамика нелинейной системы, применил один из известных методов для исследования конкретной задачи.

Аэрокосмический факультет планку научного уровня студенческих работ традиционно держит высоко, - возражал председательствующий. Мы не требуем научных открытий, хотя стремление к ним поощряем, мы не ждем сенсаций, но считаем, что в каждой работе должны быть практически значимые элементы новизны. Лучшим тому примером могут служить студенческие работы В.Н. Челомея.

Ценные элементы новизны содержатся в каждой из представленных работ. И если не четко об этом



говорили авторы-студенты, на помощь приходили научные руководители. Многие работы выполнены по реальной тематике, по заданиям подразделений. При обсуждении докладов научные руководители работ (специалисты предприятия Плавник Г.Г., Чифилов И.Е., Большаков М.В., Сабиров Ю.Р., Елизаветин И.В.) отмечали отличную подготовку студентов, их способность в сжатые сроки решать сложнейшие практические задачи, достигая при этом высокого профессионализма.



Единым коллективом выступили на конференции студенты, которые вот уже три года под руководством Игоря Васильевича Елизаветина в отделе 00-30 профессионально занимаются проблемами компьютерной обработки радиолокационных снимков поверхности Земли из космоса. Ими создан конкурентоспособный на мировом уровне программный продукт, опубликована серия научных статей. На конференции они продемонстрировали компьютерный видеосюжет, о своей работе.



В математическом цикле следует особо отметить работу, студента третьего курса Андрея Корепанова, который также был удостоен в этом году медали имени академика В.Н. Челомея. На конференцию он представил работу из области фундаментальных проблем математического анализа. Научный руководитель работы к.ф.-м.н., доцент Кутыркин В.А. отметил, что Андрею удалось получить принципиально новый результат в старой классической проблеме, связанной с интегралом Римана.



Конференция прошла исключительно динамично, живо и интересно. Длилась она 2,5 часа без перерыва. Время пролетело незаметно. Делясь впечатлениями о конференции профессор Ильичев А.В. сказал: «Кто работал с Владимиром Николаевичем Челомеем, тот знает, что в любом деле, в любом проекте он искал "изюминку". Есть изюминка – проект состоялся. Тиражирование не принималось. Конференция прошла в этом ключе. Здесь представлены только одни изюминки. Я хотел бы, чтобы в этом же зале, где обычно заседает Ученый совет, все эти изюминки прозвучали при защите диссертаций».



Закрыли студенческую конференцию Настя и Володя Челомей.





Челомей В.Н.

О студенческих научных работах В.Н. Челомея

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

Студенческие годы Владимира Николаевича Челомея – важнейший период его творческой жизни, период формирования его как будущего выдающегося ученого, академика, Генерального конструктора ракетно-космической техники. Для нас, преподавателей и студентов технического университета, чрезвычайно полезно проанализировать этот феномен, понять его корни и, по возможности, воспользоваться этим прекрасным примером.

В 18 лет (1932 г.) В.Н. Челомей поступил в Киевский авиационный институт (тогда авиационный факультет Киевского политехнического института) и через пять лет с отличием его окончил, досрочно сдав экзамены и блестяще защитив дипломную работу на тему «Колебания в авиационных двигателях». Работа эта была признана выдающейся. Выполнялась она практически весь период обучения: на 3, 4 и 5 курсах он опубликовал в Трудах КАИ большую серию статей по той же теме.

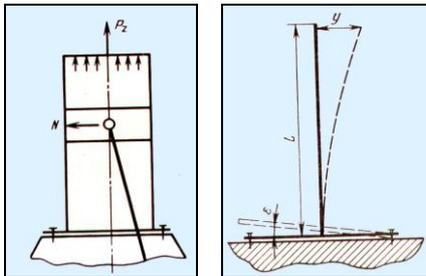


Рис. 1

В статье "О колебаниях цилиндров авиационных двигателей" (Труды КАИ, 1936 вып. V) решается актуальная для авиационной техники того периода задача. Наблюдавшиеся разрывы шпилек, крепящих цилиндры к картеру, указывали, что существовавшие методики расчета на прочность не отвечали истинной картине. Приводится схема нагружения цилиндра (рис. 1) и показывается, что причины разрыва шпилек следует

искать не в действии отрывающей продольной силы P_2 , а в действии периодической боковой силы N , опрокидывающей цилиндр. Для доказательства составляется упрощенная расчетная схема и задача сводится к решению двух линейных дифференциальных уравнений второго порядка вида

$$M_0 \frac{d^2 y}{dt^2} + \lambda_1 \varphi - \lambda_3 y = 0, \quad I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \lambda_1 y - \lambda_3 \varphi = 0,$$

где y , φ - линейное и угловое перемещения; $M_0, I, \lambda_1, \lambda_3$ - параметры системы. Поскольку уравнения эти имеют периодические решения, определяющие собственные колебания, делается заключение о существовании критических оборотов двигателя, при которых боковая сила N имеет частоту, совпадающую с собственной, и приводит к опасному резонансу.

В другой статье (Труды КАИ, 1936 вып. VI) "Об одной задаче квазигармонических колебаний" рассматривается динамика системы, состоящей из кривошипно-шатунного механизма, массы и консольно закрепленного упругого стержня, вдоль которого под действием механизма перемещается масса (рис. 2). И эта задача рождена практикой:

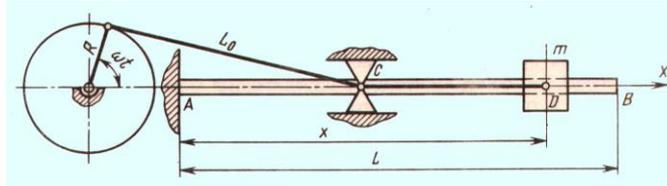


Рис. 2

в поршневых авиационных двигателях возникали необъяснимые тогда разрушительные резонансные явления. В.Н. Челомей показал, что при ряде упрощающих допущений задачу можно свести к решению дифференциального уравнения второго порядка с периодическим

коэффициентом (уравнение Хилла): $\frac{d^2u}{dt^2} + [\lambda + \varphi(t)]u = 0$, где λ - некоторый параметр,

$\varphi(t)$ – периодическая функция с периодом 2π . Применением метода разложения решения и частот в ряд по степеням малого параметра, последовательными приближениями в статье находятся границы резонансных областей. Автор не только доказал факт существования опасности параметрического резонанса, но и довел результаты до удобных в инженерных расчетах формул.

Статья "О новом методе определения резонансного числа оборотов коленчатых валов" (Труды КАИ, 1936 вып. VII) дает инженерам методику составления приведенной расчетной схемы, эквивалентной по жесткости реальной конструкции. Для нескольких типов двигателей определяются критические угловые скорости, при которых наступает резонанс. Для удобства практических расчетов разработаны номограммы.

На 4-м курсе в период прохождения практики на авиационном заводе им. П.И. Баранова в Запорожье В.Н. Челомей прочел инженерам этого завода по их просьбе цикл лекций по теории колебаний в авиамоторах. Большой раздел этого цикла, "Вибрация пружин" был опубликован в Трудах КАИ (вып. 1937 VIII). В нем, наряду с известными теоретическими положениями, были изложены оригинальные теоретические результаты исследований автора. Позднее они были включены в различные учебники и пособия.

В том же году В.Н. Челомей опубликовал статью "Об упругих колебаниях изгиба" (Труды КАИ, 1936 вып. VI), в которой рассматривал самый общий способ решения задачи о поперечных колебаниях системы сосредоточенных или распределенных на упругих связях масс. Был предложен прием, применимый для случая меняющихся вдоль оси балки по произвольному закону масс и жесткости упругой связи. Рассмотрение вопроса сводится к исследованию уравнения

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{i}{e} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0,$$

где $\rho = dm/dx$ линейная масса; u – поперечное смещение; x – координата сечения; e – гибкость упругой связи. Полагая колебания гармоническими $u = w \cos(k t + \alpha)$, где $w(x)$ - амплитуда, k - круговая частота, решение предложено искать в виде разложения по степеням k^2 :

$$w = w_0 + k^2 w_1 + (k^2)^2 w_2 + (k^2)^3 w_3 + \dots$$

Дальнейшее исследование сводится к отысканию искомых функций $w_0(x), w_1(x), w_2(x), \dots$ по известной схеме. Например, для постоянной гибкости ($e = \text{const}$) имеем: $w_0 = a x^3 + b x^2 + c x + d$, где a, b, c, d – постоянные интегрирования, определяемые граничными условиями. Остальные функции находятся путем последовательного интегрирования:

$$w_n = e^n \underbrace{\int \int \dots \int}_{(x)} w_0(x) (\rho dx^4)^n, \quad (n=1, 2, \dots, N).$$

Несмотря на столь обобщенное рассмотрение вопроса, предложенный простой прием позволяет решать разнообразные задачи. Причем, результаты, получаемые при решении некоторых задач методом Рейлея, из уравнений В.Н. Челомея достигаются уже при первом

приближении. В статье рассмотрены различные случаи закрепления балки.

На пятом курсе В.Н. Челомей опубликовал статью "О колебаниях стержней, подверженных действию периодически меняющихся продольных сил" (Труды КАИ, 1937 вып. VIII). И эта задача была продиктована актуальными проблемами техники и, прежде всего, авиации. В литературе того времени этот вопрос был изучен сравнительно мало. В.Н. Челомей рассмотрел вибрации стоек, применительно к некоторым частным случаям. Для стержня постоянного сечения задача сводится к исследованию уравнения:

$$EJ \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + P(t) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0,$$

где EJ – жесткость при изгибе, $P(t)$ – осевая сила. Полагается, что форма колебаний мало отличается от упругой линии при нагружении постоянной продольной силой. Например, для стержня длиной l с шарнирными концами $u = w(t)\text{Sin}(n\pi x/l)$, где $w(t)$ – искомая функция времени. Дальнейшее решение производится по известной схеме согласно общей теории дифференциальных уравнений. Эта схема для определения $w(t)$ приводит к дифференциальному уравнению Хилла. Тем самым установлен факт существования резонансных областей возбуждения стержня. Для их отыскания В.Н. Челомей применил тот же метод, что и в рассмотренной выше задаче с кривошипно-шатунным механизмом.

Из рассмотренных примеров студенческих научных работ В.Н. Челомея видно, что автор брался за актуальные инженерные проблемы, владея предметом исследования профессионально. Причем в равной мере, как практическими, так и теоретическими вопросами. Откуда у молодого студента столь солидные опыт и знания. Для ответа на этот вопрос обратимся к биографическим сведениям и воспоминаниям коллег В.Н. Челомея.

Отметим, что до поступления в институт В.Н. Челомей окончил Киевский автомобильный техникум. А до техникума окончил семилетнюю трудовую школу. Он любил и хорошо знал автомобиль. Имел богатый практический опыт общения с ним. Мог легко диагностировать неисправности и указать наилучшие пути их устранения. Вот почему в КАИ он так глубоко смог проникнуть в сущность проблем, связанных с поршневыми двигателями. Из воспоминаний С.Б. Пузрина, товарища В.Н. Челомея со студенческих лет, узнаем, что практически весь период обучения В.Н. Челомей работал по профилю своей подготовки в Научно-исследовательском секторе института.

Другой аспект творческих успехов В.Н. Челомея – глубокая теоретическая подготовка. Все дело в вузе? Конечно, велика роль замечательных ученых и педагогов, у которых В.Н. Челомей слушал лекции, консультировался. Огромное значение имеет уже один лишь тот факт, что талант был замечен и поддержан. Много ли мы знаем примеров, когда вуз на страницах своего научного журнала столько места отдавал бы студентам? И уж тем более одному студенту!

И, все-таки, главное, видимо, в другом. Те актуальные задачи, за которые студент В.Н. Челомей брался, требовали все новых, все более глубоких знаний. КАИ уже не мог в полной мере удовлетворять этим требованиям. И В.Н. Челомей слушает параллельно в Киевском госуниверситете курсы по математическому анализу, теории дифференциальных уравнений, математической физике, теории упругости, механике. Кроме того, он посещает лекции известного итальянского ученого Т.Леви-Чивита в Академии Наук УССР.

Быстро накапливающийся запас фундаментальных знаний находил немедленное применение в реальных исследовательских работах. В.Н. Челомей чувствует потребность накопленный багаж знаний систематизировать, углубить. И, будучи студентом третьего курса, он пишет полезный для инженерных приложений курс векторного анализа, который через год институт издаст отдельным пособием.

Осмысление приведенных выше сведений приводит к мысли, что в студенческие годы В.Н. Челомей сформировался как инженер-исследователь, ученый благодаря оптимальному сочетанию глубокой фундаментальной подготовки с непрерывной практической деятельностью в научно-технической сфере по избранному им направлению.

I. Динамика и прочность

1. Исследование динамики нелинейных систем под действием нестационарного случайного нагружения



Студент 6-го курса (АК1-Д1) *Зайцев С.Э.*
 Научный руководитель:
 д.т.н., профессор каф. СМ-2 *Тушев О.Н.*

Методы корреляционного анализа хорошо разработаны и широко представлены в литературе для линейных и линеаризуемых нелинейных динамических систем, например, таких, к которым применима статистическая линеаризация [1]. Однако применение таких методов к нелинейным системам с нестационарным внешним воздействием сопряжено с исключительными трудностями. Поэтому, несмотря на большой практический интерес к проблеме, ни одного решения, судя по известным литературным источникам, до настоящего времени не получено.

В настоящей работе предложен новый подход к решению рассматриваемой актуальной проблемы, который позволил найти искомое решение.

Уравнение динамической системы обычно записывают в виде

$$\dot{X} = \Phi(X, t) + V(t), \quad X(t_0) = X_0, \quad (1)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - вектор фазовых координат; $\Phi(X, t)$ - нелинейная вектор-функция; $V(t) = (v_1(t), v_2(t), \dots, v_n(t))$ - вектор аддитивных белых шумов.

Если шумы нельзя считать белыми, то требуется трансформация исходной системы путем добавления к ней уравнений фильтров, преобразующих белые шумы в заданные. Определение оператора фильтра для нестационарных воздействий является сложной самостоятельной задачей, решение которой в общем виде до сих пор не найдено.

Предлагаемый подход лишен этого недостатка.

Пусть динамическая система описывается уравнением (1), но $V(t)$ - вектор внешних воздействий общего вида с вектором математического ожидания $M_v(t)$ и матрицей корреляционных функций $K_v(t, t')$.

Используем статистическую линеаризацию уравнения (1), тогда получим:

$$\begin{aligned} \dot{M}_x(t) &= \Phi_0(M_x, \Theta_x, t) + M_v(t), \quad M_x(t_0) = M_0 \\ \dot{X}^0(t) &= K(M_x, \Theta_x, t)X^0(t) + V^0(t), \quad X^0(t_0) = X_0^0, \end{aligned} \quad (2) \quad (3)$$

где $M_x(t)$ - вектор математических ожиданий X ; $\Phi_0(M_x, \Theta_x, t)$ - векторная статистическая характеристика; $K(M_x, \Theta_x, t)$ - матрица статистических коэффициентов усиления; Θ_x - матрица корреляционных моментов X .

Запишем решение уравнения (3) в следующем виде:

$$X^0(t) = \Omega_{t_0}^t \int_{t_0}^t [\Omega_{t_0}^\tau]^{-1} V^0(\tau) d\tau + \Omega_{t_0}^t X_0^0, \quad (4)$$

где $\Omega_{t_0}^t$ - фундаментальная матрица (нормированная интегральная матрица, столбцами которой являются n линейно независимых решений системы). Зависимость $\Omega_{t_0}^t$ от M_x и Θ_x в (4) не указана для сокращения записи.

Транспонируя выражение (4) для момента времени t' , получим:

$$X^{0T}(t') = \int_{t_0}^{t'} V^{0T}(\tau) [\Omega_{t_0}^{\tau}]^{-1T} d\tau [\Omega_{t_0}^{t'}]^T + X_0^{0T} [\Omega_{t_0}^{t'}]^T,$$

Берем математическое ожидание от $X^0 X^{0T}$ и, считая при этом X_0^0 и $V^0(t)$ независимыми, определим матрицу корреляционных функций:

$$K_x(t, t') = \Omega_{t_0}^t \left[\int_{t_0}^t \int_{t_0}^{t'} [\Omega_{t_0}^{\tau}]^{-1} K_v(\tau, \tau') [\Omega_{t_0}^{\tau'}]^{-1T} d\tau d\tau' + \Theta_{x_0} \right] [\Omega_{t_0}^{t'}]^T, \quad (5)$$

где Θ_{x_0} - матрица корреляционных моментов X при $t=0$.

Положим в (5) $t = t'$:

$$\Theta_x(t) = \Omega_{t_0}^t \left[\int_{t_0}^t \int_{t_0}^t [\Omega_{t_0}^{\tau}]^{-1} K_v(\tau, \tau') [\Omega_{t_0}^{\tau'}]^{-1T} d\tau d\tau' + \Theta_{x_0} \right] [\Omega_{t_0}^t]^T \quad (6)$$

Получим рекуррентную формулу для вычисления $\Theta_x(t)$, связав два момента времени t и $t + \Delta$. Опустив несложные выкладки, получим следующую зависимость:

$$\begin{aligned} \Theta_x(t + \Delta) &= \Omega_{t_0}^{t+\Delta} \Theta_x(t) [\Omega_{t_0}^{t+\Delta}]^T + \Omega_{t_0}^{t+\Delta} \int_{t_0}^t \int_t^{t+\Delta} \Omega_{\tau}^{t+\Delta} K_v(\tau, \tau') [\Omega_{\tau}^{t+\Delta}]^T d\tau d\tau' + \\ &+ \int_t^{t+\Delta} \Omega_{\tau}^{t+\Delta} \int_{t_0}^t K_v(\tau, \tau') [\Omega_{\tau}^t]^T d\tau d\tau' [\Omega_{\tau}^{t+\Delta}]^T + \int_t^{t+\Delta} \Omega_{\tau}^{t+\Delta} \int_t^{t+\Delta} K_f(\tau, \tau') [\Omega_{\tau}^{t+\Delta}]^T d\tau d\tau' \end{aligned} \quad (7)$$

Интегрирование (7) необходимо производить совместно с (2). При этом $\Omega_{t_0}^t$ удобно интерпретировать как мультипликативный интеграл, для вычисления которого существует простой алгоритм [2].

В качестве примера рассматривается система, представленная на рис.1 и описываемая следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -R(\dot{x}_1) + c_1(x_2 - x_1) + n_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - c_1 x_1 \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -c_1(x_2 - x_1) - n_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_2(x_3 - x_2) + n_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) \\ m_3 \ddot{x}_3 &= -n_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) - c_2(x_3 - x_2) + F(t), \end{aligned} \quad (8)$$

где $R(y) = \begin{cases} 1, y > 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}$; $F(t)$ - случайный процесс с корреляционной функцией

$$K_F(t, t') = D_F e^{-A|t-t'|};$$

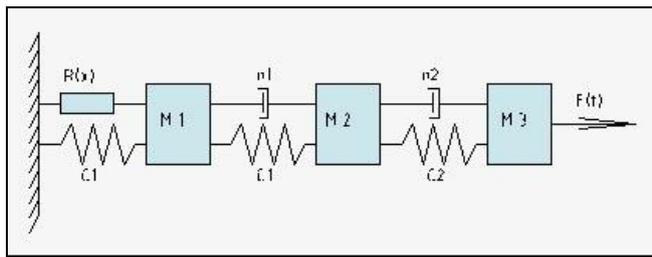


Рис. 1

На рис. 2 и 3 представлены переходные процессы, вычисленные по формулам (2), (7) для значений параметров: $m_F(t) = \text{const} = 1.0 \text{ Н}$, $D_F(t) = \text{const} = 1.0$, $A = 2$, $m_1 = 0.1 \text{ кг}$, $m_2 = 0.3 \text{ кг}$, $m_3 = 0.1 \text{ кг}$, $n_1 = 0.1 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$, $n_2 = 0.01 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$, $c_1 = 200 \text{ Н/м}$, $c_2 = 300 \text{ Н/м}$

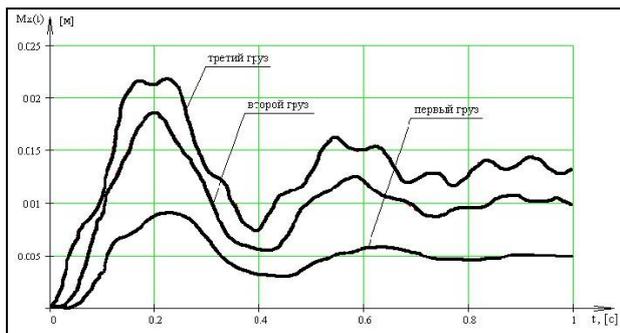


Рис. 2 Математические ожидания перемещений

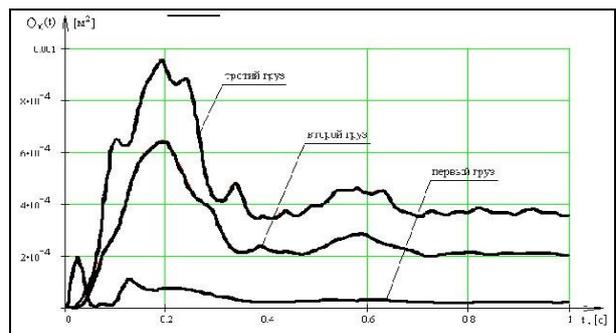


Рис. 3 Дисперсии перемещений

Задача решалась также приведением (8) к каноническому виду с последующим интегрированием системы моментных уравнений. Результаты практически совпали, так как в обоих случаях использовались одни и те же допущения.

Литература

1. Казаков И.Е. Статистическая теория систем управления в пространстве состояний. – М.: Наука, 1975.-432с.
1. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. -М.: Наука, 1967.-575с.

Комментарий научного руководителя:



Предлагаемая работа посвящена решению задачи корреляционного анализа нелинейных механических систем при аддитивных случайных нестационарных воздействиях. Известно, что полученные до настоящего времени решения с помощью метода моментов Дункана или на основе уравнения Фокера-Планка-Колмогорова основывались на канонических уравнениях движения исследуемого объекта. Последние могут быть сформированы только при условии стационарности или квазистационарности внешнего воздействия, что не позволяет исследовать важные для практики расчетные случаи. По этой причине результаты, полученные в работе и подтвержденные модельным примером, являются новыми и актуальными. Они позволят решить ряд прикладных задач без жестких ограничений, снижающих достоверность результатов, например, определить динамическое поведение сооружения при воздействии на него случайной нестационарной сейсмической нагрузки.

Комментарий редактора:



Как серьезный, глубокий исследователь студент Зайцев С.Э. показал себя уже на четвертом и пятом курсе. На конференции 1998 года он выступил с работой «Полное аналитическое решение задачи совместных колебаний упруго связанных балок». Научный руководитель той работы к.т.н., доцент Клюев Ю.И. подчеркивал большую теоретическую и практическую ценность ее и особенно – оригинальность: подобных результатов в литературе нет; они открывают новые возможности в изучении ряда важных аспектов динамики упругих систем.

И вот – новая работа Зайцева С.Э., новые результаты, но та же глубина, высокая научная и практическая ценность. И вновь научный руководитель, теперь уже д.т.н., профессор Тушев О.Н., особо подчеркивает большую значимость и оригинальность: актуальная проблема одной из труднейших областей теории нелинейных стохастических систем практически сдалась студенту. Решение получено впервые, аналогов нет.

Успехи Сергея Зайцева были высоко оценены: в 1998-99 учебном году он награжден **медалью и Дипломом имени академика В.Н. Челомея**, а университет ему назначил именную стипендию Ученого совета.



2. Динамика изделия на упругих опорах при подводном старте из ТПК



Студент 6-го курса (АК2-Д1) *Плешков Д.И.*

Научный руководитель: нач. сектора 02-23-01 *Сабилов Ю.Р.*

Исследуется старт изделия из транспортно-пускового контейнера (ТПК), размещенного в шахте подводной лодки (ПЛ). Рассматривается плоское движение абсолютно жестких тел: изделия и ТПК. Учитывается система продольной и поперечной амортизации ТПК, а также нелинейность жесткости опор изделия, изменение аэродинамических характеристик и коэффициентов присоединенных масс по мере выхода изделия из ТПК.

Построена упругодинамическая модель изделия и ТПК состоящая из 12 дифференциальных уравнений первого порядка с переменными коэффициентами, которые решались с помощью оригинальной программной реализации метода Рунге-Кутты 4-го порядка. Определены реакции, возникающие в их опорах при старте изделия с ПЛ. Выполнено сравнение с результатами, полученными на модели без учета податливости опор.

Комментарий научного руководителя:



В работе студента Плешкова Д.И. рассмотрена новая схема уменьшения поперечных нагрузок на конструкцию ракеты, обусловленных внешними силами, действующими на ракету при старте.

Для уменьшения нагрузок используются упругие пояса амортизации, которые ранее предназначались только для компенсации воздействия от взрыва. Учет одновременного упругого перемещения двух тел при старте – ТПК и изделия – потребовал построения нетрадиционной схемы определения динамических реакций. В задаче появилось большое количество выбираемых проектных параметров. Целенаправленный их выбор позволяет существенно повысить весовое совершенство стартующей ракеты и расширить диапазон условий применения.

Комментарий редактора:



В НИЛ 02-23 Денис Плешков уже давно полноправный член творческого коллектива. Ему доверяют сложные задачи. И, по словам начальника отдела к.ф.-м.н., доцента Бондаренко Л.А., он это доверие оправдывает.

Денис тонко чувствует плодотворное взаимовлияние различных научных направлений. Круг его научных интересов широк: он смело берется за проблемы динамики и прочности конструкций (под руководством доцента Ключева Ю.И., 1996г.), аэрогидродинамики (под руководством доцента Бондаренко Л.А. и Сабирова Ю.Р., 1997г.), случайного разброса параметров в системе управления (под руководством профессора Тушева О.Н., 1998г.). За достижения в научной деятельности Плешков Д.И. награжден **медалью и Дипломом имени академика В.Н. Челомея**, а университет ему назначил именную стипендию Ученого совета.

3. Устойчивость и колебания оболочек вращения с осесимметрично присоединенными массами



Студент 6-го курса (АК1-Д1) *Мироненко Р.А.*

Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Клюев Ю.И.*

В работе с помощью вариационного принципа Лагранжа получены в линеаризованной постановке уравнения устойчивости и колебаний, в том числе для предварительно напряженных ортотропных оболочек, в рамках гипотезы Кирхгофа-Лява. Используются нелинейные геометрические соотношения, предложенные Л.А.Шаповаловым. В качестве допущения принято, что начальное состояние является напряженным, но недеформированным. Методом разложения Фурье система дифференциальных уравнений в частных производных приведена к системе обыкновенных дифференциальных уравнений в канонической форме для k -го члена разложения.

Решение уравнений с постоянными коэффициентами строится на основании рядов Тейлора, для уравнений с переменными коэффициентами – путем перемножения рядов Тейлора и представления интеграла по Вольтерра.

В результате решения получается система алгебраических уравнений, где в качестве неизвестных переменных выступают перемещения в интересующих сечениях.

Присоединение массы не вносит существенных изменений в алгоритм решения задачи: некоторые блоки матриц жесткости и масс в системе алгебраических уравнений подвергаются элементарным преобразованиям.

Получены численные результаты по устойчивости и колебаниям конической оболочки с присоединенной массой.

Комментарий научного руководителя:



Предложен новый метод решения краевых задач теории оболочек, основанный на методе последовательных приближений Пикара в матричной формулировке. Разработан и реализован численный алгоритм решения и программа расчета на ЭВМ. По сравнению с известными пошаговыми методами интегрирования предложенный метод отличается высокой достоверностью результатов, простотой алгоритма, экономичностью по затратам машинного времени и оперативной памяти ЭВМ.

С помощью предложенного метода решены задачи устойчивости и колебаний реального изделия. Получены результаты, которые можно использовать при проектировании новых образцов изделий.



4. Расчет динамики жидкости в канале прямоугольного сечения и постпроцессорная обработка (визуализация) полученных результатов



Студент 6-го курса (АК2-Д1) *Кропотин В.В.*

Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Грибков В.А.*

Программы Wave и Triangle предназначены для представления в наглядном виде (визуализации) результатов расчета собственных форм и частот колебаний жидкости в канале прямоугольного поперечного сечения (плоская задача).

Задача расчета собственных частот и форм колебаний жидкости в прямоугольном канале часто используется как тестовая при проверке численных методов расчета динамики жидкости в полостях.

Программа Wave основана на использовании точного аналитического решения указанной задачи и позволяет наблюдать движение жидкой среды при колебаниях для 10 низших тонов колебаний. В интерфейсе предусмотрена возможность изменения размеров канала, параметров жидкой среды, шага демонстрационной сетки, упругости (податливости) стенки канала. При разработке интерфейса использованы современные средства создания приложений с визуальной поддержкой. В качестве основного инструментального средства использован программный пакет DELPHI 3.0 стандартной комплектации.

Программа Triangle базируется на результатах численного решения той же задачи. Численное решение строится методом конечных элементов в перемещениях. Используются треугольный (плоский) конечный элемент и тетраэдрический (объемный). В интерфейсе предусмотрены возможности изменения шага сетки (количества конечных элементов аппроксимирующих жидкость), вывода в режиме «Пауза» через копирование в буфер изображения на печать, просмотра лекционного материала по методу конечных элементов, а также инструкция для пользователя программы Triangle.

При разработке интерфейса, реализованного в программе Triangle, использованы более сложные инструментальные средства. Наряду с применением стандартных компонентов программного пакета DELPHI 3.0 реализованы возможности трех мерной анимации и моделирования, предлагаемые 3D STUDIO MAX 2.0. При производстве анимации в 3D STUDIO

MAX 2.0 использовалась работа с источниками света и камерой, проецирование материалов и др. Все объекты выполнены с применением типа Bones (скелет). Использовались усовершенствованные средства управления, такие, как правка треков, ключей и т.д.; применялись программы видеомонтажа Adobe Premier 4.02 и Corel Lumiere 1.0.

В процессе работы возникли сложности, связанные с большим объемом информации клипов. Необходимо было оптимизировать алгоритмы визуализации и «сжатия» клипов с целью уменьшения объема при минимальной потере качества изображения. Данная проблема решена с использованием алгоритмов сжатия Microsoft Video 1. При демонстрации программы используется только один вариант программы Triangle – вариант со сжатием.



Комментарий научного руководителя:

Программы Wave и Triangle разработаны студентом Кропотиним В.В. в рамках НИРС. Теоретическая канва программ и алгоритмы расчета динамических характеристик основаны на кафедральном лекционном материале по курсу «Взаимодействие упругой конструкции летательного аппарата с жидкостью и газом».

В ходе работы над программами автор в полной мере проработал лекционный курс по гидроаэроупругости, а также предложенный дополнительный материал по конечно-элементной аппроксимации жидкости в задачах динамики баковых конструкций.

Он не только показал умение осваивать достаточно сложные теоретические сведения по одной из профилирующих дисциплин кафедры, но и продемонстрировал способность самостоятельно изучать современные информационные технологии (успешно применил современные средства конструирования приложений DELPHI 3.0, 3D STUDIO MAX 2.0, Adobe Premier 4.02 и Corel Lumiere 1.0.).

Разработан полноценный пользовательский интерфейс для двумерной и трехмерной анимации результатов расчета динамики жидкой среды (при использовании плоского конечного элемента в форме треугольника и объемного в форме тетраэдра). Фактически, программа Triangle – это простейший вариант постпроцессорного блока конечно-элементных программных продуктов (типа UAI/NASTRAN, MicroFE и др.).

Программы студента Кропотина В.В. Wave и Triangle внедрены в учебный процесс на кафедре СМ-2 и используются как в лабораторных работах, так и в качестве иллюстративного материала к лекционному курсу.

5. Решение задачи на собственные значения для неконсервативной динамической системы методом минимизации функционала



Студент 3-го курса (СМ2-61) *Максимов К.Е.*
Научный руководитель: д.т.н., профессор *Аринчев С.В.*

Рассматриваются неконсервативные динамические системы с парным взаимодействием степеней свободы. Парное взаимодействие степеней свободы имеет место в задачах аэроупругости, при продольных колебаниях жидкостных ракет, при колебаниях упругих управляемых конструкций, конструкций с гироскопическими элементами и др. Известно, что расчет свободных колебаний таких систем сводится к алгебраической задаче на собственные значения для действительной несимметричной матрицы.

В настоящее время наибольшее распространение при решении таких задач на собственные значения получили, главным образом, метод “степенных итераций”, разработанный В.Г.Буньковым и А.Ф.Минаевым, а также метод Молера-Стьюарта. Однако в ряде конкретных задач скорость сходимости указанных численных процедур не всегда достаточно высока. В работе рассматривается возможность использования метода

минимизации функционала для уточнения полученных решений. Изложение идеи метода содержится в книге В.А. Светлицкого.

Суть метода заключается в следующем. На комплексной плоскости значений характеристического показателя задачи произвольно выбирается некоторая прямоугольная область. Эта область “накрывается” достаточно частой сеткой узлов. Производится сканирование, перебор узловых значений характеристического показателя. Для каждого узла вычисляется значение модуля комплексного определителя частотной матрицы. Исследуется рельеф полученной поверхности в указанной области. Определяются экстремумы поверхности. Точки экстремумов и являются искомыми собственными значениями задачи. Таким образом, задача отыскания собственных значений сводится к задаче многоэкстремальной минимизации целевой функции на плоскости двух переменных.

Работа метода иллюстрируется на примере элементарной неконсервативной динамической системы с двумя степенями свободы. Численное решение сравнивается с аналитическим. Демонстрируется работа компьютерной программы.



Комментарий научного руководителя:

Студент Максимов К.Е. показал применимость метода минимизации функционала для решения алгебраической задачи на собственные значения для действительной несимметричной матрицы. Им успешно проведена апробация метода на элементарной неконсервативной динамической системе. Дано сравнение аналитического и численного решений задачи.

Студентом 1-го курса (СМ2-21) Аринчевым Н.С. была выполнена работа, в которой рассмотрена задача о свободных колебаниях упругой неконсервативной динамической системы с двумя степенями свободы. На простейшей модели рассмотрены эффекты, характерные для неконсервативных динамических систем. Разработана компьютерная программа с удобным графическим интерфейсом.

6. К вопросу оптимизации реактивной силовой установки



Студент 6-го курса (АК4-Д1) *Цымбал О.А.*

Наличие большого количества параметров, определяемых опытным путем, и сложность нелинейных связей между протекающими процессами осложняют получение динамической модели реактивной силовой установки в аналитической форме и, соответственно, затрудняют применение классических методов оптимизации.

Управление силовой установкой обычно сводится к задаче поддержания номинальных режимов работы отдельных ее элементов. Номинальные режимы и настроечные параметры определяются экспериментальным путем. В случае отклонения параметров системы от номинальных значений, например, изменения состава топлива, атмосферных условий и т.п., эффективность работы силовой установки снижается.

В настоящей работе предпринята попытка описать реактивную силовую установку моделью системы с объектом экстремального типа. Такая модель позволит разработать регулятор, оптимизирующий работу системы.

При анализе протекающих в системе динамических процессов был принят ряд упрощающих допущений. В качестве критерия оптимальности выбран КПД силовой установки. Качественный анализ зависимости КПД от управляющих параметров системы позволил сделать предположение, что она имеет вид функции с единственным экстремумом. Это заключение имеет важное значение в решении последующей задачи разработки алгоритма поиска экстремума.

Комментарий редактора:

Будучи первокурсником, на СНТК-94, которая была посвящена 80-летию академика В.Н. Челомея, Олег Цымбал делал свой первый научный доклад, связанный с проблемой искусственного интеллекта. Профессор Епифановский И.С., помню, выступая в прениях, выразил свое восхищение глубиной и корректностью ответов юного докладчика на его каверзные вопросы.

И вот, Цымбал О.А. – накануне защиты дипломного проекта. Его по-прежнему волнуют серьезные, трудные проблемы. И он по-прежнему удивляет той смелостью, с которой за них берется.

II. Проектирование

7. Многоцветная аэрокосмическая транспортная система: общее проектирование, методика и программа расчета проектных параметров



Студенты 4-го курса (СМ2-81) **Блинов А.С.** и **Боханов А.В.** (справа)
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 **Грибков В.А.**

Цель данной работы состоит в автоматизации процедуры общего проектирования и выбора проектных параметров многоцветной аэрокосмической системы (МАКС) типа Space Shuttle. Рассматривается классический вариант системы, включающий в себя орбитальный самолет, подвесной топливный отсек и твердотопливные ускорители. Используется наиболее рациональная двухступенчатая пакетная конструктивно-компоновочная схема МАКС с вертикальным стартом.

Задача общего проектирования ракеты-носителя МАКС, как известно, состоит в отыскании оптимальных значений стартовой массы, габаритных размеров отсеков и двигательных установок блоков, при которых обеспечивается выведение полезного груза с

заданными параметрами массы, высоты орбиты, скорости движения, для выбранного критерия эффективности.

Для проведения баллистического анализа разработана программа численного интегрирования дифференциальных уравнений n тел, притягивающихся друг к другу по закону Ньютона. Выполнены расчеты перелета на орбиту Луны.

Разработана программа расчета проектных параметров многоцветной транспортной системы. Алгоритм программы базируется на известных материалах учебной и научно-технической литературы. Общее проектирование выполняется с использованием блоков массового анализа, баллистического анализа и блока эффективности.

С целью проверки программы выполнен расчет проектных параметров МАКС с исходными данными, совпадающими с американским Space Shuttle, который дал хорошее совпадение. Выявленное расхождение объясняется влиянием ряда допущений, использованных для упрощения алгоритма решения задачи.

Разработанная программа является универсальной, позволяющей решать в автоматическом режиме задачу общего проектирования различных многоцветных аэрокосмических систем, относящихся к классу Space Shuttle.

Комментарий научного руководителя:

Студентами Блиновым А. и Бохановым А. решена интересная и важная задача общего проектирования многофазовой аэрокосмической системы. Для расчета проектных параметров ракетных блоков разработана компьютерная программа на Pascal'e. В качестве теоретической основы программы использованы известные методические материалы, доступная авторам отечественная и зарубежная литература и периодика.

Для решения поставленной задачи авторы самостоятельно освоили большое количество нового материала, написали и отладили программу расчета, выполнили расчет параметров аэрокосмической системы с заданными характеристиками.

Математическая модель и программа баллистических расчетов разработаны Блиновым А.С. самостоятельно. В качестве интерфейса программы им предложена визуализация траекторий трех тел: Земли, Луны и КЛА. Материалы работы могут быть полезны студентам старших курсов кафедры СМ-2 при выполнении курсовых и дипломных проектов.

8. Проект пенетратора для исследования поверхности Марса



Студент 4-го курса (СМ2-81) *Дубинкин Н.С.*

Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Зеленцов В.В.*

Разработан проект пенетратора для исследования поверхности планет с разреженной атмосферой типа Марса. Основная задача – проникание изделия в верхние слои грунта и доставка приборного контейнера с минимальными перегрузками.

Решены следующие задачи: расчет параметров траектории пенетратора при его баллистическом спуске в атмосфере с использованием надувного аэродинамического тормоза; расчет перегрузок, действующих на пенетратор при проникании в грунты различного типа; амортизация приборного контейнера с помощью надувной оболочки, являющейся аэродинамическим тормозом.

В предлагаемом проекте разработана новая схема амортизации приборного контейнера, выгодно отличающаяся от известной.



Комментарий научного руководителя:

Автор представленной работы предложил оригинальную идею использования аэродинамического надувного тормоза для амортизации приборного контейнера при посадке на поверхность Марса и успешно воплотил эту идею в рамках курсового проекта.

9. Модернизация программы моделирования атмосферного спуска с орбиты



Студенты 5-го курса (АК1-101) *Асатуров С.М., Цховребов Р.Г.*
Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Зеленцов В.В.*

В развитие представленных на конференции 1998г. исследований нами была существенно усовершенствована компьютерная программа моделирования динамики спуска возвращаемого аппарата в атмосфере планет (Марс, Земля). Новая версия программы позволяет перейти от плоских к пространственным траекториям, осуществлять выбор любой последовательности раскрытия тормозных парашютов, повысить точность численного интегрирования за счет применения метода Рунге-Кутты-Мерсона. Удобный пользовательский интерфейс дает возможность представлять расчетную информацию как в виде таблиц, так и графически. Программа разработана средствами визуального языка программирования Delphi 3.

Комментарий научного руководителя:

В процессе разработки темы наметились аспекты, которые позволили раскрыть новые перспективы в решении задач спуска космических аппаратов на поверхность планет с атмосферой. Разработанная программа позволяет прогнозировать динамику мягкой посадки аппарата, выявлять неприемлемые режимы. Она будет полезна студентам старших курсов и дипломникам при выполнении ими проектов, а также инженерам, занимающимся разработкой космической техники.

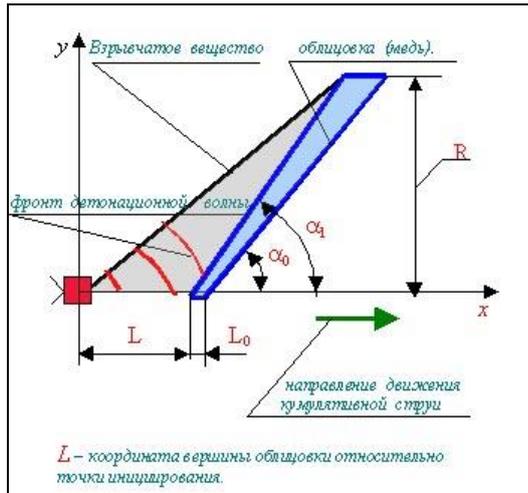
10. Оптимизация параметров кумулятивных зарядов



Студент 3 курса (АК1-61) *Фионов А.С.*
Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцент каф. ФН-4 *Герасимов Ю.В.*

При добыче нефти широко используются кумулятивные заряды для перфорирования стальных эксплуатационных колон (труб) в буровой скважине. Пакет зарядов пробивает трубу и грунтовые породы кумулятивными струями. Через образующиеся каналы и отверстия в скважину поступает нефть. Основным параметром оптимизации является глубина пробития, так как квадрат этой величины определяет эффективность работы скважины.

В работе рассмотрено действие заряда на характерную преграду, оптимизируется ряд конструктивных параметров заряда, физико-механические свойства взрывчатого вещества и используемых материалов. Например, геометрические параметры (α_0 , α_1 , R , L , L_0), показанные на рисунке, бризантное (дробящее) действие взрывчатого вещества, его энергетические характеристики. Основной целевой функцией является глубина пробития преграды.



Разработан численно-аналитический алгоритм определения различных параметров заряда на заданной глубине пробития преграды, т.е. решена так называемая «обратная задача». По полученным зависимостям проведена оптимизация параметров кумулятивного перфорационного заряда типа ЗПК-105. Его характеристики оказались существенно лучше, чем у серийно выпускаемого прототипа.

Комментарий научного руководителя:



Комментарий научного руководителя:

Работа студента Фионова А.С. актуальна и имеет практическую ценность. Существующие методики предполагают использование численного и натурального экспериментов, что сопряжено со значительными затратами денежных средств, редких дорогостоящих материалов и далеко не всегда приводит к необходимым результатам. Более того, из прямого численного расчета невозможно выявить влияние всего многообразия конструктивных,

Технологических, физико-механических и энергетических параметров на конечный результат действия кумулятивного заряда – на форму отверстия и на ее глубину.

В экспериментальных исследованиях не всегда удается измерить необходимые характеристики процессов инициирования детонации заряда, схлопывания облицовки, формирования кумулятивной струи и взаимодействия ее с преградой.

Предлагаемая методика позволяет все это делать, так как непосредственно увязывает все основные параметры кумулятивного заряда с его действием. Для оптимизации любого из параметров достаточно исследовать полученную функциональную зависимость на эксперименте.

11. Оценка работоспособности космических аппаратов блочно-модульного исполнения



Студент 6-го курса (СМ2-Д1) **Кулюкин О.В.**

Научный руководитель:

к.т.н., доцент каф. СМ-2 **Никитенко В.И.**

Принципы компоновки космических аппаратов блочно-модульного исполнения (КАМИ) позволяют существенно улучшить габаритные, массовые и эксплуатационные их характеристики, увеличить сроки активного существования. Известны КАМИ, например из

семейства базовых платформ SPACEBUS и GS-1300, с негерметичными приборными контейнерами в форме параллелепипеда с двумя плоскими радиаторами-излучателями для сброса тепла. Известна также усовершенствованная конструкция КАМИ, которая предложена НИИ ПММ при Томском государственном университете. Однако у разработчиков КАМИ нет методического инструмента для оценки компоновочного совершенства конструкции, степени их работоспособности.

В представленной работе предприняты шаги по созданию такой методики. В качестве базовой была взята конструкция КАМИ Томского университета. Разработана упрощенная математическая модель, в которой оценка производится на основе расчета температурных напряжений и деформаций верхней сотовой панели, на которой крепится антенный блок с узлами передающей аппаратуры. Деформация панели приводит к снижению точности работы антенного блока и изменению его зоны действия.

Математическая модель для расчета использует уравнения теории изотропной упругой пластины, основанной на применении гипотезы Кирхгофа-Лява и принципа Дюгамеля-Неймана. Проведенный расчет показал возможность использования предложенной схемы КАМИ. Однако в дальнейшем требуется более точное моделирование тепловых расчетов в конструкции КАМИ.



Комментарий научного руководителя:

Студент Кулюкин О.В. дал глубокий анализ конструкций существующих космических аппаратов блочно-модульного исполнения. Разработал математическую модель для оценки работоспособности КАМИ. Им успешно выполнен расчет, который показал возможность использования одной из схем КАМИ. Разработана компьютерная программа с наглядным графическим представлением, которая может успешно использоваться как в учебном процессе, так и в профессиональной работе по разработке КАМИ.



III. Системы управления

12. Исследование угловых маневров и стабилизации КА с учетом жесткости конструкции



Студент 6-го курса (АК4-Д1) *Афонин В.В.*

Научный руководитель:

к.т.н., доцент каф. ИУ-1 *Зуев А.Г.*

Консультант: инженер 1-й категории НПОМ *Чифилов И.Е.*

Для получения информации о подстилающей поверхности Земли используются различные типы датчиков: оптико-электронные, тепловые, радиолокационные и др. Чтобы увеличить полосу обзора требуется разворот чувствительной оси датчика в процессе работы на определенные углы за определенное время. Данная операция может осуществляться либо поворотом всего КА с жестко закрепленными на нем датчиками, либо поворотом датчиков относительно корпуса при их подвижном закреплении. Способ разворота зависит от требуемого угла поворота и времени, за которое его надо осуществить.

В данной работе рассматривается малый космический аппарат с радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) на борту. Проводится анализ возможных способов разворота антенны и выбирается способ, обеспечивающий характеристики по энергопотреблению, требуемому моменту управляющих органов, точности и времени разворота.

После выбора способа разворота составляется математическая модель системы корпус МКА – антенна РСА с учетом упругих свойств конструкции корпуса. Выбираются управляющие органы системы ориентации и стабилизации, формируется закон управления и определяются его настройки, обеспечивающие заданные требования по точности и времени стабилизации.

Проведено контрольное моделирование поведения системы при воздействии на нее внешних и внутренних возмущений.



Комментарий редактора:

С 1997г. студент Афонин В.В. в отделе 00-30 НПО машиностроения активно участвовал в разработке технологии первичной обработки информации, поступающей с КЛА. Им глубоко исследовались радиометрические искажения и способы их корректировки. Результаты этих исследований были доложены в 1997 и 1998г.г. на Студенческих научно-технических конференциях (научный руководитель – инженер 1-й категории Зайцев В.В.).

Достижения Афонина В.В. были высоко оценены: в 1998 году Ассоциация космонавтики России наградила его **медалью и Дипломом им. академика В.Н. Челомея**; в 1998/99 учебном году ему была присуждена именная стипендия Президента России и стипендия Ученого совета МГТУ им. Н.Э. Баумана.

На конференции 1999 года Афонин В.В. представил исследования в области анализа и синтеза системы угловой ориентации и стабилизации КЛА, широко используя накопленные в предыдущей работе знания и опыт. Работа выполнена в рамках дипломного проекта и, по мнению специалистов, представляет большую практическую ценность.

Специально для настоящего сборника Афонин В.В. и Зайцев В.В. представили краткое изложение сущности выполненной ими совместной работы, заслужившей высокую оценку отечественных и зарубежных коллег – специалистов. Ниже приведен текст этого изложения:

"Алгоритмы геометрического трансформирования космических сканерных изображений на основе полиномиальных преобразований"

Афонин В.В., Зайцев В.В. (НИЦ АЛМАЗ НПО машиностроения)

Геометрическое трансформирование космических сканерных изображений – важнейшая составная часть тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли. Операция трансформирования предназначена для перевода космических изображений из исходных координат в систему координат заданной картографической проекции.

Для проведения трансформирования космических изображений традиционно используются полиномиальные преобразования, которые строятся на основе информации о координатах опорных точек, опознаваемых на исходном изображении. Данный подход является универсальным и применим к любым типам космических изображений, однако требует обязательного знания координат опорных точек.

При трансформировании космических сканерных изображений, для учета более сложных геометрических искажений, отличных от искажений при фотографической космической съемке, рекомендуется использовать полиномы высокого порядка, что требует знания координат большого количества опорных точек.

Предлагаемые нами алгоритмы геометрического трансформирования развивают и дополняют универсальный алгоритм на основе полиномиальных преобразований. Предлагаются два алгоритма.

Первый из алгоритмов позволяет вести трансформирование космических сканерных изображений по полиномиальной модели высокого порядка без использования опорных точек, на основе знания особенностей сканирования аппаратуры, элементов внутреннего и внешнего ориентирования сканеров, положения космического аппарата на орбите и формы поверхности Земли. В данном алгоритме используется только априорная информация, содержащаяся в сопроводительной информации к изображению. Погрешность такого трансформирования будет соответствовать точности знания параметров движения и элементов ориентирования снимка.

Второй алгоритм позволяет повысить точность трансформирования за счет знания координат опорных точек. В данном алгоритме суммарный оператор преобразования сканерного изображения является произведением двух операторов (модельного и опорного). Модельный оператор описывается полиномиальным преобразованием высокого порядка и формируется по первому алгоритму. Опорный оператор определяется по координатам опорных точек и является полиномом низкого порядка (например первой степени - аффинным преобразованием). Во втором алгоритме сочетаются универсальность с высокой точностью, что позволяет применять его для прецизионного геометрического трансформирования, данные алгоритмы были апробированы в центре приема и обработки данных НПО машиностроения для сканеров МСУ-Э и МСУ-СК, установленных на российском космическом аппарате "Ресурс-0", и реализованы в составе программного комплекса ERDAS Imagine".

13. Разработка и исследование алгоритма терминального управления аэродинамическим объектом



Студент 6-го курса (АК4-Д1) **Белоусов И.В.**
Научный руководитель: к.т.н., доцент **Филимонов Н.Б.**

В докладе ставится и решается задача управления аэродинамическим объектом в вертикальной плоскости, как задача терминального управления нелинейным нестационарным аэродинамическим объектом в условиях как ресурсных, так и фазовых ограничений.

Решение данной задачи современными методами оптимизации (принцип максимума Понтрягина, метод динамического программирования Беллмана, метод Кратова-Гурмана, метод Дубовицкого-Милютинина и др.) существенно усложняется как размерностью задачи, так и необходимостью учета ограничений на управление и на фазовые координаты.

В основу синтеза алгоритма управления аэродинамическим объектом положен классический прямой вариационный метод типа Ритца-Галеркина, получивший развитие в работах Р.П.Федоренко (1986), В.Т.Тараненко и В.Г.Момджи (1979) и существенно упрощающий решение краевых задач динамики полета.

Разработанный алгоритм управления аэродинамическим объектом позволяет достаточно просто программировать пространственные траектории маневра с удовлетворением граничных условий не только по фазовым, но и по управляющим переменным. При этом возможно проводить оптимизацию по таким критериям как быстродействие маневра, минимизация интегрального показателя тяги, минимизация управляющего момента.

Апробация синтезированного алгоритма методами цифрового моделирования в системе MATLAB показала его простоту и высокую эффективность.

Комментарий научного руководителя:



Работа студента Белоусова И.В. тесно связана с тематикой отдела 02-20 НПО машиностроения в области разработки алгоритмов управления неустановившимися маневрами аэродинамических объектов.

Работа посвящена актуальному направлению современной теории и практики управления летательными аппаратами.

Разработанное студентом алгоритмическое обеспечение прямого вариационного метода управления объектом обладает большой гибкостью опорных траекторий, простотой учета ограничений на управляющие переменные, простотой удовлетворения граничным условиям без существенного ухудшения точности результатов и увеличения расчетного времени.



14. Неоднозначные моменты бифуркаций в одной динамической системе



Студенты 5-го курса (АК1-101) **Биббер С.В. и Титов В.Е.** (справа)
 Научный руководитель: к.т.н., доцент каф. СМ-2 **Симоньянц Р.П.**

В нелинейной динамической системе, включающей релейный регулятор с пространственным и временным запаздыванием и элементы с кусочно-линейными характеристиками, могут устанавливаться многочисленные автоколебательные режимы. Каждому режиму на фазовой поверхности $(x, y = dx/dy)$ отвечает определенная форма предельного цикла, а в пространстве параметров системы – определенная область. На границах этих областей при плавном изменении параметров системы происходит скачкообразное (бифуркационное) изменение предельного цикла и всех параметров автоколебаний.

Границы областей пространства параметров при определенных условиях неоднозначны, могут иметь гистерезисный характер: одной точке соответствует два предельных цикла, т.е. два режима с различными характеристиками. Это важное явление для многих прикладных задач мало изучено. В настоящей работе исследуются типичные случаи неоднозначных границ применительно к задаче реактивной стабилизации КЛА.

Методом точечных отображений найдены однократная S_1^* и двукратная S_2^* неподвижные точки кусочно-нелинейной функции последования преобразования линии без контакта в себя (рис. 1).

Первая отвечает оптимальному по расходу энергии одноимпульсному предельному циклу Γ_1^* , вторая – трехимпульсному Γ_3^* (рис. 2.). На диаграмме Ламерея и на фазовой поверхности построены соответствующие области притяжения. Аналитические результаты подтверждены численным моделированием движения на ПЭВМ.

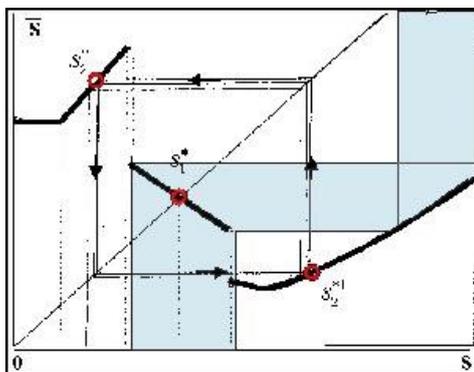


Рис. 1

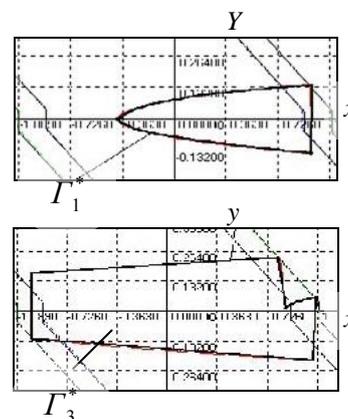


Рис. 2

Моделирование на ПЭВМ показывает, что для исследуемой динамической системы расход энергии λ на автоколебания имеет вид кусочно-непрерывной функции возмущения g с множеством разрывов первого рода в точках бифуркаций. Значительная часть этих разрывов имеет весьма широкую зону неоднозначности гистерезисного типа (рис. 3).

Топологический анализ фазовой поверхности позволил дать качественное толкование этого явления.

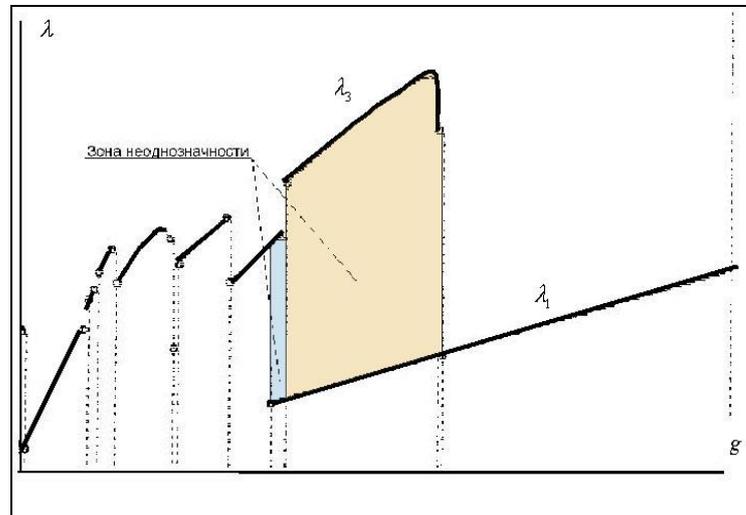


Рис. 3



Комментарий научного руководителя:

Представленному исследованию предшествовала глубокая и тонкая работа студентов по анализу топологической структуры фазовой поверхности и изучению характерных режимов движения. Полученные результаты расширяют знания о динамических свойствах этой нелинейной системы и имеют большое практическое значение.

15. Ротационные предельные циклы на фазовом цилиндре



Студент 5-го курса (АК1-101) **Булаев А.А.**
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. СМ-2 **Симоньянц Р.П.**

Исследуется нелинейная динамическая система, движение которой может быть представлено на трехлистной поверхности фазового цилиндра. Рассматривается область пространства параметров, отвечающая условиям ограниченной устойчивости

системы. Ставится задача найти границы области устойчивости и возможные периодические движения. В приложении к задачам стабилизации КЛА при нелинейных датчиках, имеющих зону нечувствительности, порог насыщения и ограничение поля зрения, и при релейном управлении с запаздыванием эта проблема имеет большое практическое значение.

Из топологического анализа структуры фазовой поверхности $(x, y = dx/dy)$ найдена искомая граница Γ_c как критическая фазовая траектория (сепаратриса), разделяющая области колебательных и ротационных движений (рис.1). Сформулированы аналитические условия ее существования.

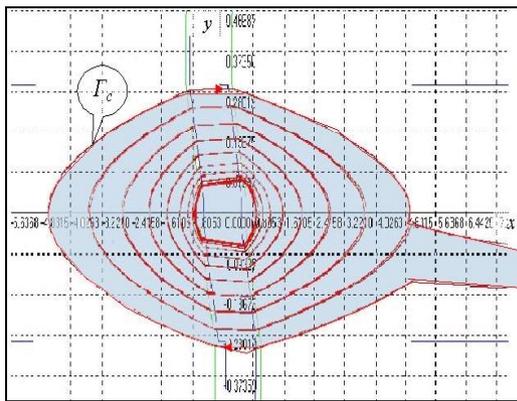


Рис. 1

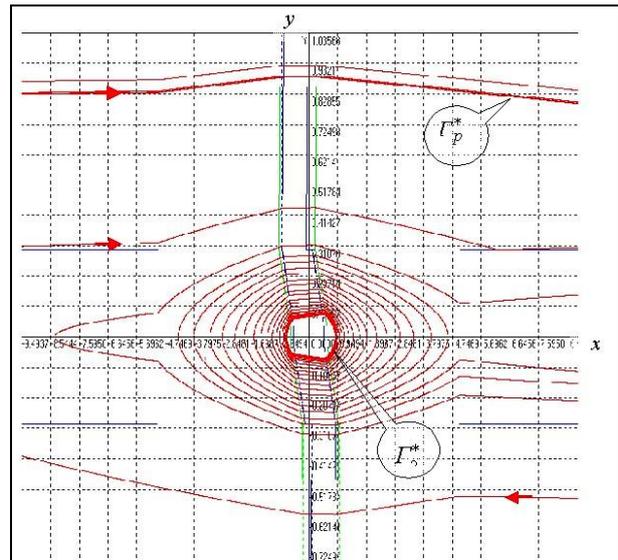


Рис. 2

С использованием теории точечных отображений найдены предельные циклы, отвечающие стационарным движениям по обе стороны от сепаратрисы. В области колебательных движений переходный процесс стягивается к тривиальному предельному циклу Γ_2^* в окрестности начала координат. Показано, что при определенных условиях (в области реальных значений параметров системы) одновременно существуют два предельных цикла, одноимпульсный Γ_1^* и двухимпульсный Γ_2^* , существенно различающиеся по частотным и энергетическим (расходным) характеристикам. (Этот случай неоднозначных режимов исследован в работе С. Бибера и В. Титова, представленной в настоящем сборнике).

В области ротационных движений (охватывающих фазовый цилиндр) построение точечного отображения линии без контакта в себя дает устойчивую неподвижную точку S_p^* . Ей отвечает ротационный предельный цикл Γ_p^* (рис.2) – образ стационарного вращательного движения вокруг оси фазового цилиндра. К нему стягивается любая фазовая траектория, начинающаяся в точке за пределами границы устойчивости.

Комментарий научного руководителя:

В учебной и научной литературе по динамике угловой стабилизации КЛА решений подобной задачи нам неизвестно. В то же время не вызывает сомнений ее практическая значимость, поскольку речь идет об устойчивости в большом этой широко распространенной системы.

16. Компьютерная модель нелинейной динамической системы



Студент 5-го курса (АК1-101) *Слюняев А.Ю.*
Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. СМ-2 *Симоньянц Р.П.*

Исследование динамики нелинейной автоматической системы, включающая в себя трехпозиционный релейный регулятор с гистерезисом и запаздыванием, датчики с кусочно-линейными характеристиками и нелинейный (в общем случае) объект управления – задача сложная. Применение приближенных методов либо не обеспечивает требуемой точности, либо не позволяет выявлять некоторых практически важных режимов и их параметров, либо сопряжено с чрезвычайными трудностями.

Применение численного моделирования не обеспечивает достаточной степени общности результатов, что затрудняет решение задач анализа и, тем более, синтеза параметров системы.

В представляемой работе разработана такая программа численного моделирования динамики рассматриваемой системы, которая позволяет сочетать достоинства как аналитических, так и численных методов исследования.

Используя методы качественного анализа движений на фазовой поверхности, теории точечных отображений, теории бифуркаций динамических систем и современные методы и приемы моделирования динамических процессов на ПЭВМ, разработана программа, которая обеспечивает: структурное разбиение фазовой поверхности статическими линиями переключений; построение динамической структуры применением операции точечного отображения сдвига вдоль соответствующих фазовых траекторий; построение фазовых траекторий, сепаратрис; построение переходных процессов и предельных циклов с определением их параметров; построение диаграммы Ламерея.

Программа позволяет исследовать все возможные в системе переходные и стационарные режимы, устойчивость, изучать пространство параметров этой системы.

Комментарий научного руководителя:

Разработанная программа – эффективный инструмент анализа большого класса нелинейных динамических систем, к которым относится и система реактивной стабилизации КЛА. Она успешно может быть использована как специалистами, занимающимися вопросами нелинейных сервомеханизмов, так и студентами старших курсов.



17. Анализ точности автоматической системы посадки беспилотного летательного аппарата (БЛА)



Студентка 7-го года обучения (каф. ИУ-1) **Майорова Т.В.**
Научный руководитель: профессор **Неусыпин К.А.**
Консультант: науч. сотр. НПОМ **Большаков М.В.**

В данной работе была поставлена задача получения количественных характеристик, определяющих точность автоматической системы посадки БЛА, основанной на использовании комплексной инерциально-спутниковой навигационной системы.

БЛА предназначен для аэрофотосъемки земной поверхности, выявления возникновения конфликтов на дорогах, пожаров и т. д. - в гражданских целях, а также для разведки - в военных целях. Для обеспечения решения этих задач БЛА имеет продолжительность полетов до 5 часов и оснащен отсеком для различных комплектов полезной нагрузки (ПН).

Одной из проблем автоматического управления полетом является режим посадки БЛА без участия оператора. В работе представлен анализ варианта автоматической системы управления посадкой на основе использования комплексной инерциально-спутниковой навигационной системы в дифференциальном режиме.

В состав навигационного комплекса БЛА предлагается включить бесплатформенную инерциально-навигационную систему (БИНС), баровысотомер, приемник сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС) и бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ). Достижения в области микромеханики позволяют минимизировать размеры бортовой навигационной системы.

В БЦВМ реализуется алгоритм оценивания на основе фильтра Калмана. Сигналы СРНС используются в алгоритме оценивания в качестве внешней информации. Для определения значений ковариационной матрицы измерительного шума проведен анализ погрешностей СРНС. В частности, рассмотрены такие погрешности, как эфемеридные, тропосферные, ионосферные, рефракционные, погрешности, обусловленные многолучевостью, а также геометрическими факторами расположения навигационных спутников (НС).

Благодаря использованию дифференциального режима СРНС в процессе математического моделирования удалось минимизировать погрешности измерений и добиться точности автоматической системы посадки, удовлетворяющую требованиям III категории ИКАО.



Комментарий научного руководителя:

Майорова Т.В. выполнила исследования в рамках квалификационной работы 7-го года обучения. Сделана попытка решения сложной технической задачи – обеспечения автоматической посадки БЛА. Предложена структура комплексной навигационной системы БЛА, которая технически может быть реализована на основе доступных серийных элементов. Осуществлен синтез комплексной инерциально-спутниковой системы навигации с использованием фильтра Калмана, определены численные значения элементов

ковариационной матрицы измерительного шума в алгоритме оценивания.

Результаты математического моделирования подтверждают возможность обеспечения точности автоматической посадки по предложенной схеме.

IV. Информационные технологии

Программный комплекс для обработки и анализа данных радиолокационного зондирования земной поверхности:



*Предисловие научного руководителя,
вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцента **Елизаветина И.В.**,
к циклу студенческих работ №№18-22*

Группой студентов Аэрокосмического факультета в течение последних трех лет разрабатывался программный комплекс для профессиональной обработки спутниковых данных дистанционного зондирования, полученных при помощи радара с синтезированием апертуры. За последний год комплекс был значительно усовершенствован добавлением в него важных функциональных возможностей: орторектификации и геокодирования радиолокационных снимков, моделирования изображений. Работа, проводимая на предприятии с пользователями радиолокационных данных показала заинтересованность различных государственных и коммерческих организаций в использовании полученных студентами результатов. Студенты провели большую теоретическую и практическую работу, показали глубокие знания математических дисциплин и способность к самостоятельной научной и производственной деятельности. Ими был изучен большой объем научной литературы, протестирован целый ряд предлагаемых алгоритмов обработки. Наиболее эффективные из них были адаптированы под требуемые условия обработки. Ряд использованных в программном комплексе методов обработки был предложен самими студентами.

18. Восстановление фазы стохастического двумерного сигнала применительно к задаче радиолокационной интерферометрии



Студент 6-го курса (АКЗ-Д1) **Виноградов М.В.**
Научный руководитель:
вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент **Елизаветин И.В.**

Рассматриваемая проблема восстановления фазы стохастического двумерного сигнала находит применение в различных прикладных областях, где используются интерферометрические измерения. Каждое из приложений характеризуется своими особенностями, но наибольшую сложность и одновременно актуальность на сегодняшний день имеют приложения к радиолокационной интерферометрии. Радиолокационная интерферометрия – это

технология получения информации о трехмерном измерении поверхности Земли - рельефе. Она использует фазовую информацию, содержащуюся в сигнале радара высокого разрешения. (Радар является источником когерентных радиоволн сантиметрового диапазона). Ключевым моментом в обработке радиолокационных интерферометрических данных является рассматриваемая нами процедура восстановления полной фазы сигнала.

Ежегодно в научных изданиях, посвященных обработке изображений и дистанционному зондированию, печатаются десятки статей по данной тематике. Их авторы предлагают новые методики и подходы к рассматриваемой нами задаче. Однако, как правило, эти работы написаны на невысоком математическом уровне и предлагают интуитивные практические подходы. Точность и адекватность этих подходов не оцениваются. Доказательство их применимости основывается на обработке небольшого набора искусственно полученных данных.

В данной работе представлен строго обоснованный подход восстановления фазы. При помощи аппарата теории поля на реальных данных проведено исследование причин неработоспособности классических среднеквадратических алгоритмов восстановления фазы. Впервые дано строгое обоснование выбора размера окна и маски предварительного фильтра в зависимости от статистических характеристик исходных данных.

Комментарий научного руководителя:

Выполненная студентом Виноградовым М.В. работа актуальна для НПО Машиностроения. Технологии восстановления рельефа подстилающей поверхности по космическим данным дистанционного зондирования устойчиво развиваются в последние десятилетия, а их практическое применение находит отражение в существующем в настоящее время рынке цифровых моделей рельефа.

По результатам работы сделаны следующие публикации:

1. ***Vinogradov M.V., Elizavetin I.V.***

Phase unwrapping method for the multifrequency and multibaseline interferometry. This Paper Appears in: Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 1998. IGARSS '98. 1998 IEEE International.

2. ***Елизаветин И.В., Виноградов М.В.***

Создание цифровой модели рельефа интерферометрическим методом по данным много частотного космического локатора SIR-C/X / Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования. М., 1997.

19. Оценка точности метода построения рельефа местности по данным стереоскопической радиолокационной съемки



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

Научный руководитель:

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

Восстановление геометрических характеристик поверхности (высоты) по ее изображениям – одна из основных задач радиолокационного зондирования Земли. Радиолокационные данные позволяют выделять информацию о рельефе исследуемой поверхности, но решение этой задачи в большой степени связано с проблемой качества информации о рельефе местности на снимках.

Принцип стереоскопической радиолокационной съемки основан на получении пары радиолокационных изображений при различных направлениях визирования. Цель, возвышающаяся над некоторой опорной поверхностью, представляется на снимках, сделанных с разными углами визирования, двумя точками. Точки смещены относительно друг друга.

Это смещение, называемое радиолокационным параллаксом, зависит от параметров съемки (главным образом от разности углов визирования поверхности).

Радиолокационная стереопара формируется за два прохода носителя с одной и той же РЛС на разных витках для космических радиолокаторов или на разных пролётах для самолетных локаторов.

Классическим подходом для решения задачи построения рельефа местности по данным радиолокационной съемки является применение процедуры вычисления корреляции участков для идентификации одинаковых точек поверхности на разных снимках и определения взаимного смещения точек зондируемой поверхности на изображениях. На основании результатов вычисления корреляции производится пересчет параллакса в абсолютные высоты, для чего необходимо иметь информацию о параметрах съемки поверхности (углах визирования и высотах).

Одним из недостатков, проявляющихся при использовании данного подхода, является обстоятельство, что не учитывается информация о качестве снимков в целом и качестве отдельных участков изображений. Для устранения этого недостатка мной предложен метод оценки точности, использующий понятие качества стереоскопических снимков. Благодаря этому появилась возможность не только отсеивать участки снимков с плохим качеством, но и использовать характеристики качества снимков при обработке стереопары, тем самым повышая точность генерации высот рельефа поверхности.

Результатом настоящей работы является компьютерная программа автоматического построения рельефа местности, которая в сравнении с известными методами решения этой задачи дает более высокую точность.

Комментарий научного руководителя:

Практическая ценность работы Федорова В.А. заключается в предложенном им методе улучшения точности корреляционного анализа радиолокационных снимков. Корреляционный анализ (сопоставление) снимков, полученных с разными углами визирования, является одним из ключевых этапов стереоскопической обработки для получения цифрового рельефа зондируемой поверхности.

20. Математическое моделирование взаимодействия СВЧ излучения с поверхностью Земли для определения удельной эффективной площади рассеяния земной поверхности (УЭПР)



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

Научный руководитель:

Вед. инж. отдела 00-30, к.т.н., доцент ***Елизаветин И.В.***

Восстановление физических параметров исследуемой поверхности по ее изображениям – одна из основных задач дистанционного зондирования. В большой степени эта задача

связана с решением проблемы достоверности выделенной из снимков информации. Радиолокационные данные позволяют выделять информацию о геометрических свойствах поверхности (рельеф), структурных (шероховатость) и электрических (диэлектрическая константа). Главное препятствие на пути достоверного оценивания параметров зондируемой поверхности – неопределенность вклада каждой характеристики в общий отклик системы на зондирующий сигнал. Классическим подходом для решения этой проблемы являются выбором тестового участка, характеристики которого хорошо известны, и исследование РСА - изображений этого участка (рис. 1).

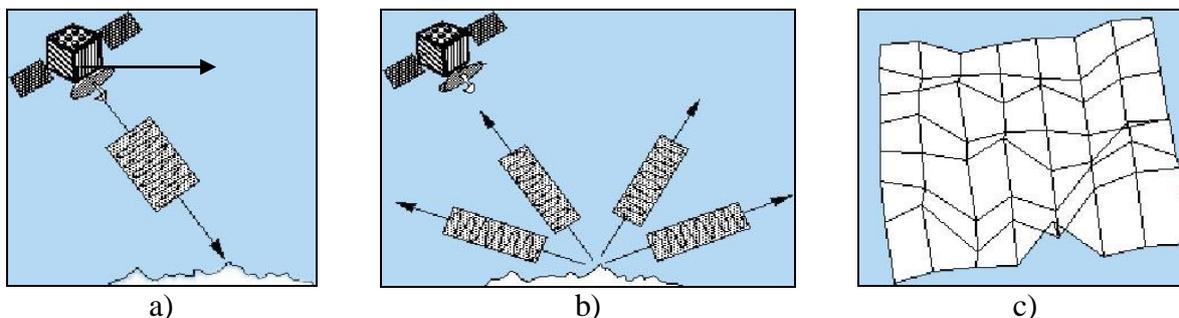


Рис. 1. а) облучение поверхности; б) отражение радиоволн; в) фацетная модель поверхности

Облучаемую поверхность представляем в виде совокупности фацетов и делим на зоны с разными уровнями шероховатости. В зависимости от шероховатости, корреляции поверхности и длины волны при численном решении волнового уравнения на каждом фацете используем следующие модели отражения: Кирхгофа, Брегга, Кирхгофа со стационарно - фазовой аппроксимацией, Ламберта.

На каждом фацете решается волновое уравнение. Затем находится УЭПР и определяются типы подстилающей поверхности (зоны геологических формаций и т.п.). Построенная модель позволила создать искусственное радиолокационное изображение, хорошо совпадающее с реальным по яркостным и пространственным параметрам. При решении данной задачи о нахождении УЭПР использованы следующие допущения: отсутствует объемное отражение; земная поверхность электрически однородна; константы электрической и магнитной проницаемости не зависят от степени увлажненности земной поверхности.

Ограничения, присущие построенной модели процесса формирования радиолокационного изображения, напрямую связаны с ограничениями, принятыми для решения задачи. Искусственное радиолокационное изображение хорошо совпадает с реальным для лишенных растительности засушливых регионов земной поверхности.

Комментарий научного руководителя:

Исследования, проведенные студентом Кононовым М.А., результаты которых изложены в настоящем докладе, имеют не только теоретическое, но и практическое значение. Адекватная модель отражения сигнала от земной поверхности – это ключ к достоверной интерпретации данных, без чего невозможна цифровая классификация и формирование тематических карт для анализа в геоинформационных системах.

21. Многоспектральная классификация радиолокационных изображений



Студент 5-го курса (АКЗ-101) *Десятов Р.Е.*

Научный руководитель:

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

Мультиспектральная классификация – это процесс сортировки пикселей изображения на конечное число индивидуальных классов или категорий, основанный на индивидуальных значениях данных.

Основываясь на типе информации, которую мы хотим извлечь из исходных данных, классы могут быть ассоциированы с известными свойствами поверхности. В компьютерных системах обработки спектральное выделение шаблонов основано на научных методах. Сначала извлекаются статистические данные из спектральных характеристик всего изображения, затем пиксели рассортировываются на основании математических критериев. Процесс обработки информации делится на две части: обучение и классифицирование.

Компьютерная система должна быть обучена извлечению шаблонов из данных. Необходимо организовать процесс определения критерия, при помощи которого шаблоны будут извлекаться. Обучение может быть наблюдаемым, т.е. полностью контролируемым человеком-аналитиком, и ненаблюдаемым автоматизированным. Оно позволяет указать некоторые параметры, которые компьютер будет использовать для определения статистических шаблонов, заложенных в данных. Шаблоны необязательно будут соответствовать выявляемым характеристикам сцены. Это могут быть просто связанные наборы пикселей с похожими спектральными характеристиками. Ненаблюдаемое обучение основано на данных самих по себе и обычно используется, когда известно очень мало сведений об исходных данных. Результат обучения – набор ключей. Каждый ключ соответствует определенному классу.

После того, как ключи определены, пиксели изображения по индивидуальным значениям рассортировываются на классы, основываясь на правиле принятия решения. Это математический алгоритм, который, используя содержащиеся в ключах данные, выполняет собственно сортировку пикселей по индивидуальным для класса значениям. Сортировка основана на применении математического алгоритма, реализующего правило принятия решений. Каждый пиксел анализируется независимо. Измеряемый вектор для него в соответствии с алгоритмом сравнивается с каждым ключом. Пиксели, которые прошли оценку по критерию, установленному правилом принятия решений, связываются с классом для данного ключа.

Несколько способов классификации были реализованы в программном пакете по обработке данных дистанционного зондирования Radar Vision.

Комментарий научного руководителя:

Реализация студентом Десятовым Р.Е. некоторых алгоритмов классификации многоспектральных изображений может явиться началом серьезной работы в области интерпретации данных дистанционного зондирования. Реализованные алгоритмы необходимо адаптировать к конкретным типам данных и на этой основе создавать библиотеку классификаторов, реализующих полнофункциональную интерпретацию снимков.

22. Исследование влияния сжатия радиолокационной информации в формате JPEG на качество последующей обработки



Студент 2-го курса (АК4-41) *Рудяев В.А.*

Научный руководитель:

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

Радиолокационная информация, как правило, имеет большой объем. Один радиолокационный снимок с космического аппарата содержит примерно 600 Мбайт информации. Такие объемы затрудняют ее хранение и перенос. Этим обусловлена проблема сжатия (уменьшение объема) информации.

Для уменьшения объема информации изображение можно записать в известном формате JPEG, который использует эффективный механизм сжатия. Алгоритм сжатия в формате JPEG был разработан для записи фотографических изображений и позволяет уменьшать размер файлов более чем в 100 раз. Однако этот алгоритм осуществляет сжатие с потерей данных (lossy), что приводит к снижению качества изображения.

В работе исследовано применение формата JPEG для сжатия радиолокационных изображений. Найдены оптимальные для последующей обработки параметры сжатия. Результаты работы будут использованы в программном пакете Radar Vision, разработанном студентами Аэрокосмического факультета.

Комментарий научного руководителя:

Проблема, затронутая студентом Рудяевым В.А. в его работе, имеет неординарный характер. Сжатие радиолокационных данных в силу преобладания в них высокочастотной компоненты всегда было достаточно проблематичным и не приносило столь очевидного эффекта как сжатие, например, оптических данных. Оценка применимости того или иного алгоритма сжатия к использованию в радиолокационной обработке, степень потерь и качество восстановленных изображений – это вполне актуальная тематика, по которой в научной литературе ведется оживленная дискуссия.



23. Разработка информационной системы хранения и обработки единиц размерностей



Студент 3-го курса (АКЗ-61) *Дзагания А.Ю.*

Научный руководитель: вед. инж. отд. 11-04 *Соболев А.В.*

Потребность в информационной системе хранения и обработки единиц размерностей становится все более актуальной. Ее необходимость ощущается особенно при работе с глобальной информационной базой данных. Известна, например, система MathCAD, которая выполняет операции над единицами размерностей. Она может преобразовывать одну единицу в другую путем домножения. Однако в этой системе набор единиц ограничен лишь введенными физическими единицами. Дополнительный ввод пользовательских единиц невозможен. Кроме того, размерные единицы в этой системе не могут преобразовывать коэффициенты, связанные между собой нелинейными зависимостями, и не могут работать с категориями (единицами, не имеющими физического смысла).

Перед автором данной разработки была поставлена задача создать такую информационную систему, которая функционально обеспечивала бы: ввод и хранение единиц размерностей; возможность проведения вычислений, содержащих единицы размерностей; удаление единиц размерностей с сохранением целостности всей системы; обработку ситуаций нарушения целостности информационной системы.



Рис. 1

Принципиальная схема системы показана на рисунке. Для внесения единиц размерностей служит блок ввода. Так как вносимая информация представляет собой символьные строки, то на этом этапе необходим синтаксический анализатор, который распознает строку ввода и передает извлеченную информацию обратно.

Блок операций служит для нахождения результата при оперировании с выражениями, содержащими единицы размерностей. Он также использует функции синтаксического анализатора в силу того, что выражение вводятся пользователем в виде строки.

Система позволяет работать с любыми наборами единиц измерений. При этом различают фундаментальные и производные единицы. Последние связаны формулами зависимостей с фундаментальными и другими производными.

Также существуют единицы с преобразованием коэффициента. Для возможности работы с такими единицами предусмотрено хранение строк преобразования коэффициентов, где записаны математические формулы. Это позволяет корректно работать с выражениями, в которых содержатся (явно или в составе других единиц) производные единицы с преобразованием коэффициентов.

Комментарий научного руководителя:

Система показала свою работоспособность при оперировании с разнообразными единицами измерений. При этом ее функциональность отвечает требованиям, предъявляемым СХРИЕ – рабочим проектом отдела 11-04. При разработке Дзаганя А.Ю. Использовал собственные алгоритмы синтаксического и семантического анализатора, которые могут с успехом быть применены в строковых выражениях разного характера (например, формулы). Система обладает способностью следить за своей целостностью и корректно обрабатывать исключительные ситуации. Разработка студента Дзаганя А.Ю. сможет быть включена в глобальную систему СХРИЕ.

V. Математическое моделирование

24. О нетрадиционных возможностях интегрирования в банаховых пространствах



Студент 3-го курса (АКЗ-61) *Корпанов А.С.*
Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцента каф. ФН-2 *Кутыркин В. А.*

При описании реальных физических процессов могут использоваться модели сложных динамических систем, состояния которых представлены элементами бесконечномерного несепарабельного пространства, а динамические траектории – кусочно-непрерывны. Например, при описании процесса образования трещин в полимерном или композиционном материале, его состояние можно представить кусочно-непрерывной функцией от точек матрицы материала. Аналогичные модели сложных систем могут описывать и процессы кристаллизации аморфного вещества. Для количественной обработки моделей таких сложных систем необходимо разработать математический аппарат, в рамках которого возможно построение корректных численных методов решения возникающих задач.

В настоящей работе рассматривается задача интегрирования функций со значениями в несепарабельном банаховом пространстве, определенными на некотором подмножестве пространства R^n . Такая задача возникает, например, при поиске средних характеристик динамических траекторий в сложной системе. Для поставленных целей невозможно использовать понятия интеграла Бохнера (сильного) и интеграла Петтиса (слабого).

В общем случае, не существует конструктивных методов вычисления таких интегралов. На практике, как правило, информация о значениях интегрируемой функции содержит некоторую погрешность, что приводит к некорректности определения интегралов Лебега даже в теоретическом смысле. Кроме того, для функций со значениями в несепарабельном банаховом пространстве возможны следующие ситуации: (а) существуют измеримые по Лебегу функции, для которых аппарат интеграла Бохнера не работает; (б) существуют

неизмеримые по Лебегу функции, для которых существует традиционный интеграл (т-интеграл) Римана. Такие ситуации реализуют функции: $f_H \in B(T, B(S, R'))$, где: $T = S$ $[0,1]$, $H \subset S$; $B(X,Y)$ – банахово пространство ограниченных функций

$$f_H(t) = \delta_t^H; \quad \delta_t^H(s) = \begin{cases} 1, & t = s \in H \\ 0, & s \notin H \text{ или } t \neq s. \end{cases} \quad (1)$$

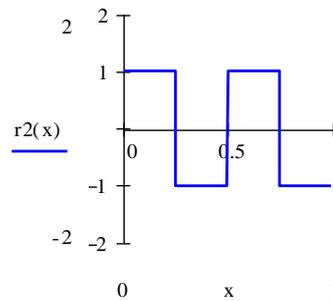
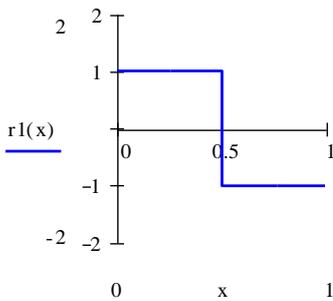
Например, f_S реализует ситуацию (а) и f_H , где H – неизмеримое по Лебегу множество, – ситуацию (б).

Изложенные выше аргументы приводят к необходимости использования понятия интеграла Римана, тем более что, как хорошо известно, вычисление интеграла Римана, основанное на суммах Дарбу, – корректно поставленная задача, допускающая конструктивные методы решения.

Особо отметим, что для функции f_H , где H – неизмеримое по Лебегу множество, существует т-интеграл Римана, однако ее норма неинтегрируема даже по Лебегу.

Приведём ещё один пример, демонстрирующий логическую незавершённость т-интеграла Римана.

Пусть $f \in B([0,1], B(N^l, R^l))$, где $B(X,Y)$ – банахово пространство ограниченных функций; $f(t) = \{r_1(t), r_2(t), \dots\}$ и $r_n(t)$ – n-ая функция Радемахера (см. рисунок); ($r_n(t)$ – функция “гребёнка” на $[0,1]$, принимающая значения +1 или -1 на 2^n двоичных интервалах. Тогда т-интеграл Римана для f расходится, но т-интеграл от её нормы равен 1.



Эти замечания и ситуации (а), (б) примера (1) демонстрируют преимущества т-интеграла Римана (по отношению к интегралу Бохнера), но, с нашей точки зрения, проявляют логическую незавершённость его определения. Поэтому для функций вводятся понятия измеримости по Риману, причем нетрадиционный интеграл Римана (нт-интеграл) определяется только для измеримых по Риману функций. Определение т-интеграла обобщается с сохранением всех его преимуществ.

В результате нт-интеграл Римана будет частным случаем интеграла Бохнера, и обобщение т-интеграла Римана приведет к слабому интегралу Петтиса. Кроме того, для ранее указанных задач выделяются необходимые несепарабельные пространства функций, измеримых по Риману.



Комментарий научного руководителя:

Во многих прикладных задачах, связанных с описанием случайных процессов и систем управления, возникает проблема вычисления интегралов (математических ожиданий, средних величин) в несепарабельных линейных пространствах, где невозможно использовать понятие интеграла Лебега-Бохнера.

В работе предложен подход, основанный на введении понятия измеримости по Риману

для функций в таких пространствах, позволяющий конструктивным образом определять необходимые величины.

Следует отметить, что данная работа интересна не только в прикладном, но и в фундаментальном математическом смысле, поэтому сформулированные результаты и выводы являются очень важными.

С нашей точки зрения выбранный подход обладает интересной перспективой развития, например, в области обыкновенных дифференциальных и интегральных уравнений.



Комментарий редактора:

Корепанов А.С. в 1998/99 учебном году за успехи в научной работе и учебе был награжден *медалью имени академика В.Н. Челомея*. На Студенческой научно-технической конференции в 1998 году он выступал с научной работой «Алгоритм растущих областей» по теме отдела 00-30 НПО машиностроения.

25. Математическое моделирование рассеяния лазерного излучения шероховатой поверхностью



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

В основе исследования лежит разработка математической модели рассеяния лазерного излучения слабошероховатой поверхностью на основе дифракционного интеграла Кирхгофа в приближении Фраунгофера.

В рамках построенной модели рассматриваются прямая и обратная задачи. Прямая задача состоит в определении электромагнитного поля, рассеянного на шероховатой поверхности одномерной регулярной структуры с заданными параметрами профиля. Дифракционная теория света позволяет найти рассеянное излучение в приближении Фраунгофера. При этом дифракционный интеграл Кирхгофа сводится к преобразованию Фурье. Анализ решения прямой задачи выявил непосредственную зависимость интенсивности рассеянного поля от параметров профиля поверхности: амплитуды и периода. В связи с этим возникает обратная задача: восстановление параметров профиля шероховатой поверхности по известному распределению рассеянного излучения. Возникающая обратная задача сводится к решению нелинейного интегрального уравнения. Для построения его решения используется метод регуляризации Тихонова. Применение данного метода позволило получить решение, восстанавливающее предпочтительный параметр слабошероховатой поверхности R_z с точностью 5%.



Комментарий редактора:

Работа Колготина А.В. выполнена в рамках тематики НИЛ О5-55 НПОМ. Им получены результаты, имеющие большой практический интерес. Автору рекомендовано продолжить исследования.

26. Моделирование колебаний ЛЭП СВН при ветровом воздействии и обледенении



Студент 6-го курса (АКЗ-Д1) *Можонкин В.С.*

В работе рассматривается задача моделирования колебаний линии электропередачи тока сверхвысокого напряжения (ЛЭП СВН), состоящей из пучков проводов (расщепленных фаз), возникающие при ветровом воздействии. Эти колебания, называемые пляской, характеризуются относительно большой амплитудой (до 10 метров) с не более чем с тремя полуволнами в пролете (длина пролета 200–1500 метров). Моделирование пляски расщепленной фазы ЛЭП позволяет еще на стадии проектирования оценить качество конструкции ЛЭП.

В данной модели расщепленная фаза (р.ф.) рассматривается, как некоторый эквивалентный провод, который обладает свойствами, зависящими от свойств проводов и расщеплений составляющих конструкцию р.ф. Эквивалентный провод представляет собой гибкую тяжёлую нить, сопротивляющуюся растяжению и кручению. Считается, что провод имеет четыре степени свободы, и с учетом начальных и граничных условий ставится краевая задача.

Аэродинамические силы, возбуждающие колебания, как известно, представляются в виде $L=0.5 \cdot C_y \rho_0 d V_r^2$, $D=0.5 \cdot C_x \rho_0 d V_r^2$, где ρ_0 – плотность воздуха, d – диаметр провода, V_r – относительная скорость провода, C_x , C_y – аэродинамические коэффициенты. В связи с тем, что расщеплённая фаза состоит из пучка проводов, в модели колебательного процесса необходимо учитывать аэродинамическое влияние проводов друг на друга. Данное условие реализуется с помощью коррекции аэродинамических коэффициентов, которые представляются в виде суммы $C_x = C_x^0 + C_x^{\Delta}$, $C_y = C_y^0 + C_y^{\Delta}$, где C_x^0 , C_y^0 – собственные аэродинамические коэффициенты, C_x^{Δ} , C_y^{Δ} – аэродинамические коэффициенты взаимного влияния проводов друг на друга.

В процессе реальной эксплуатации ЛЭП подвергается обледенению, которое изменяет метрические, механические и аэродинамические свойства р.ф. Влияние обледенения на аэродинамические свойства р.ф. учитывается, при моделировании в аэродинамических коэффициентах, которые представляют собой функции, зависящие от формы поперечного сечения обледенелого провода (F) и расположения проводов относительно друг друга (ζ), т.е. $C_x^{\Delta} = C_x^{\Delta}(F, \zeta)$, $C_y^{\Delta} = C_y^{\Delta}(F, \zeta)$.

Решение поставленной задачи производилось методом Галеркина–Бубнова, представленным в интерпретации Канторовича (Метод приведения к обыкновенным дифференциальным уравнениям). Далее используется метод матричной экспоненты.

Программная реализация данной модели входит в состав технологической линии проектирования ЛЭП СВН, которая включает в себя также электротехнические и конструкторские расчеты.

27. Модернизация программной обработки измерений автоматического рефрактометра



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

Научный руководитель:

к.т.н., доцент каф. ФН-2 *Алехнович В.И.*

Сигналы измерения автоматического оптического рефрактометра определяются положением проходящего через исследуемый раствор луча света и интенсивностью освещения чувствительного элемента. В результате формируется кривая распределения интенсивности освещения, соответствующая оптическим свойствам раствора. Затем реализуется итерационный процесс совмещения кривой распределения эталонного раствора с кривой исследуемого. Коррекция формы кривой эталонного раствора при этом осуществляется в соответствии с теоретическими формулами.

В настоящей работе предложена новая версия программной обработки измерений рефрактометра, в которой используется уточненная формула коррекции кривой эталонного раствора и введен отрицательный начальный сдвиг.

В процессе итераций вычисляется квадратичное отклонение кривых распределения и формируется массив значений, характеризующих это отклонение. Полученный массив методом наименьших квадратов аппроксимируется полиномом третьего порядка.

Процесс итерации завершается при достижении минимума корреляционной функции. Минимум ищется в два этапа: сначала без учета коррекции, затем – с учетом. Корреляционный сдвиг определяется с точностью, которую задает пользователь. По корреляционному сдвигу и известному коэффициенту преломления эталонного раствора вычисляются искомые параметры исследуемого раствора.

Комментарий редактора:

В НИЛ 05-55 НПО машиностроения студентами Аэрокосмического факультета уже несколько лет под руководством к.т.н., доцента кафедры ФН-2 Алехновича В.И. ведутся работы по созданию высокоточного автоматического рефрактометра большой производительности для контроля состава и свойств жидких сред. На Студенческих научно-технических конференциях в 1996-1998 г.г. о результатах своих исследований докладывали студенты Макатров С.Л., Булганин П.А., Сагомонов Д.С., Федоров В.А., Тюменцев С.Ю..

Важный этап многолетнего цикла студенческих исследований в 1997 году был завершён дипломной работой Дерезовского Д.В.. Опытный образец разрабатываемого прибора прошел испытания и подготовлен к производству на предприятии. Однако разработка и исследование математической модели взаимодействия оптического излучения с жидкими средами продолжены. В 1998 году в рамках 7-го года обучения Дерезовский Д.В. и Тюменцев С.Ю., выполнив системный анализ погрешностей рефрактометрических измерений и решая задачу редукции к идеальному прибору, получили результаты, открывающие новые возможности улучшения эксплуатационных характеристик рефрактометра.

Дальнейшие исследования по данному направлению ведутся студентами 4 курса Алексеевой В.А. и Сысенко Д.В.. Последний представлен на конференции 1999 года новые результаты, которые по отзыву научного руководителя, позволят существенно уменьшить погрешности измерения.

28. Расчет газопроницаемости пористых сред методом конечных элементов



Студент 6-го курса (АКЗ-Д1) *Глазиков М.Л.*

Научный руководитель:

академик РАИН, профессор, д.ф.-м.н. *Димитриенко Ю.И.*

Рассматривается задача о численном определении коэффициентов газопроницаемости пористых сред с учетом реальной микро-геометрии пор. Рассматриваются задачи динамики течения вязкого газа с периодическими граничными условиями. Используется метод асимптотической гомогенизации периодических структур.

Для пористых сред с осевой симметрией разработана конечно-элементная 2-D методика получения численного решения задачи, с помощью которой рассчитываются коэффициенты газопроницаемости пористых сред различных типов. Реализована программа расчета газопроницаемости в зависимости от геометрических параметров микроструктуры.

Результаты работы позволяют численным путем без проведения экспериментальных исследований рассчитывать коэффициенты газопроницаемости пористых сред, таких как композиционные материалы, фильтры, сыпучие среды и др., исходя только из реальной геометрической микроструктуры сред и свойств фильтрующегося газа или жидкости.

Комментарий научного руководителя:



Работа студента Глазикова М.Л. посвящена разработке численных методов расчета газопроницаемости пористых структур. Рассматривается подход, основанный на решении специального математически достаточно сложного класса задач – с периодическими граничными условиями. Особенностью этого класса задач является то, что они имеют интегродифференциальный тип, что затрудняет непосредственное применение для их решения таких эффективных численных методов, как метод конечного элемента.

Разработан оригинальный математический подход к решению этих задач, который в конечном итоге позволил свести исходную интегро-дифференциальную задачу к решению серии более простых задач газодинамики, для которых возможно применение процедур метода конечного элемента.

Результаты работы имеют не только несомненную математическую ценность, но и непосредственное прикладное значение, связанное с разработкой фильтров. Особое значение методика имеет для расчета газопроницаемости сред, у которых непосредственное определение газопроницаемости принципиально невозможно или затруднено, например, для композиционных материалов, в условиях интенсивного теплового воздействия и термомодеструкции. В этом случае расчетные методики, позволяющие связать макропараметры, например, газопроницаемость с микрогеометрией материала, становятся практически единственным средством определения характеристик материала.

В цикле работ направленных на создание комплексной методики моделирования термомеханического поведения конструкций из композиционных материалов при различных высокотемпературных воздействиях можно отметить и работу студентки

Резниковой А.А. (АКЗ-Д1). Особенностью этой работы является то, что в единой методике и программной реализации завязаны не только параметры внутреннего теплопереноса в конструкции, но и параметры внешнего потока, изменяющиеся по траектории ВА, а также термомеханические напряжения в конструкции.

29. Приближенная методика расчета глубины промерзания грунта



Студентка 4-го курса (АКЗ-81) *Алексеева В.А.*

В работе решается одна из практически важных задач, относящихся к известной в горном деле проблеме промерзания (оттаивания) грунта. В специальной литературе описаны решения классической задачи Стефона для определенных краевых и начальных условиях. Наиболее полное и достоверное решение получено профессором Г.Г. Каркашадзе совместно с горным инженером Е.Л. Бельченко. Ими получена в неявном виде аналитическая зависимость глубины промерзания грунта от времени с учетом произвольной многослойной теплоизоляции на поверхности.

Однако, инженерные расчеты по формуле Г.Г. Каркашадзе и Е.Л. Бельченко на практике оказываются не всегда удобными, так как требуют применения специальной программы решения нелинейных уравнений на ЭВМ.

Автором настоящей работы методом последовательных приближений была получена в явном виде приближенная формула, позволяющая производить прямой расчет глубины промерзания. Методическая ошибка расчета не превышает 5%.

Комментарий редактора:

Студентка Алексеева В.А. выполнила представленную работу по заданию профессора Московского государственного горного университета д.т.н. Г.Г. Каркашадзе. Результаты работы получили высокую оценку специалистов горного университета и нашли применение на практике. Формула Алексеевой В.А. со ссылкой на автора опубликована Г.Г. Каркашадзе и Е.Л. Бельченко в 1999г.





МГТУ им. Н.Э. Баумана – НПО машиностроения, Аэрокосмический факультет. СНТК-99



Тезисы докладов и комментарии

Студенческая научно-техническая конференция
Аэрокосмического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана
при НПО машиностроения, 26 мая 1999

Изд. лиц. №020523 Подписано в печать 28.06.99
Формат 60x90/8. Усл. печ. л 5,5. Уч.-изд. л. 5,21
Изд. № 127. Заказ № Тираж

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005 Москва, 2-я Бауманская, 5.

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