

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Н.Е. ЖУКОВСКОГО
"ХАРЬКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ"**

**ОТКРЫТЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

Сборник научных трудов

Выпуск 29

**Харьков
«ХАИ»
2005**

ББК 32.973.3
О 83
УДК 629.7.01; 681.327.11

Утверждено к печати ученым советом Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», протокол № 3 от 24.11.2005 г.

Редакционная коллегия: А. И. Бабушкин, П. В. Балабуев, В. К. Борисевич, В. Е. Гайдачук, А. Г. Гребеников, В. В. Кириченко, Б. М. Конорев, В. С. Кривцов, А. К. Мялица, О.И. Парфенюк, В. И. Рябков, И. Б. Сироджа, В. Г. Сухоребрий, О. Е. Федорович, В. Н. Фурашев

Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 29. - Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2005. 197 с.

ISBN 966-662-123-1

Освещены вопросы аэродинамики, прочности, конструкции и технологии производства авиационной техники, методы интегрированного проектирования, подготовки производства, инженерного анализа с помощью систем CAD/CAM/CAE. Представлены методы обеспечения безопасности конструкций при длительной эксплуатации, системы информационного обеспечения жизненного цикла самолетов, системы обеспечения безопасности жизнедеятельности для летательных аппаратов, вопросы экономического анализа рисков, методы поддержки, принятие управленческих решений

Для специалистов промышленных и научных организаций, преподавателей и студентов.

**Адрес редакционной коллегии: 61070, г. Харьков, ул. Чкалова, 17,
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»,
тел. (057) 707-43-63**

**Свидетельство о государственной регистрации КВ №7975 от 09.10.2003 г.
Журнал печатает статьи на украинском и русском языках**

ISBN 966-662-123-1

**© Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2005**

Содержание

П. О. Науменко, И. В. Бычков. Применение эквидистантных областей для технологического контроля поверхностей общего вида	5
В.Н.Фурашев, Д.В.Ландэ, С.М.Брайчевский. Системная информатизация избирательных и референдумных процессов: методологические основы статистических исследований электронных информационных ресурсов в период избирательной кампании	11
А. Н. Нарожный, Г. Г. Высокогляд, А. И. Шелудько, Н. И. Стефанишин. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 1.	16
В.Д. Доник. Численные исследования модели процессов истечения газа из отсека	27
В.В. Тюрев, В.А. Тараненко. Определение погрешности приближённого вычисления потенциала двойного слоя и его производных	35
В.С. Проценко, Я.П. Бузько, Т.В. Денисова. Теоремы сложения для решений уравнения Гельмгольца в декартовой системе координат и системе координат эллиптического цилиндра	39
В.Г. Сухоребрый, А.С. Стерлева. Выбор коэффициента перекрытия для ускоренного статистического моделирования НДС конструкций	46
А.Г. Гребеников, В.Н. Клименко. Методика определения влияния фреттинг-коррозии на усталостную долговечность гладких конструктивных элементов из титанового сплава ВТ6	57
В.И. Гончаренко, В.А. Гончаренко. Решение задачи о возможности опробования тяги двигателя самолета	69
А.Р. Емад. Методы управления подсистемами программы развития авиационной техники	75
В.О. Повгородний. Испытания на безотказность бортовой аппаратуры с учетом термостойкости и влажности	81
В.Г. Сухоребрый, М.И. Никифорова. Оценка влияния корреляции на хвосты распределений функций случайных аргументов	92
А.Н. Колесников, А.Б. Куренко, А.В. Приймак. Синтез алгоритма автоматического квантования знаний для принятия решений при планировании технической эксплуатации радиотехнических систем и комплексов	98
Л.С. Глоба, М.В. Лапа. Інформаційна підтримка прийняття управлінських рішень	106
О.В. Телепнев. Подійно-орієнтована інформфційно-аналітична система підтримки життєвого циклу продуктів. Блок подання даних	113
П.О. Науменко, Т.И. Крахмалёва. Развитие инновационного бизнеса в Харьковском регионе на основе использования интеллектуальных активов	121
А.В. Ксендзук, И.А. Евсеев. Разработка алгоритма когерентного приема сигналов с учетом пространственного разнесения приемных и передающих элементов РСА	126
В.И. Лахно, И.И. Брык, В.Ж. Яценюк. Ограничения адаптивной пространственно-временной обработки сигналов в условиях априорной параметрической неопределённости	132

А.А. Красноруцкий, А.И. Тимочко, А.В. Коломийцев. Обоснование возможности снижения времени доведения информации на основе сжатия трансформант дискретного преобразования Уолша	138
Н.В. Нечипорук, Е.А. Полищук. Состояние проблемы утилизации авиационных боеприпасов для систем вооружения летательных аппаратов	144
С.В. Россоха. Знаниеориентированный метод автоматизированного синтеза расписаний учебных занятий	149
И.Е. Россоха. Принцип построения и структура многосекционной базы знаний для поддержки решений при планировании учебных расписаний	155
С.Ю. Мелешенко, В.С. Пигнастая, А.В. Чечуй, И.В. Власенко, М.И. Луханин. Модель оценки качества учета товарно-материальных ценностей	160
Д.В. Ландэ, С.М. Брайчевский. Определение тематической направленности запросов путем анализа наборов рейтинговых источников	169
А.Г. Гребеников, А.М. Гуменный, И.Н. Дубров. Методика определения характеристик локального НДС и податливости элементов срезного соединения заклепками с корончатым и цилиндрическим компенсаторами	175
Рефераты	187
Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»	196

**За достоверность информации несет ответственность автор.
При перепечатывании материалов сборника ссылка на «Открытые
информационные и компьютерные интегрированные технологии»
обязательна**

Применение эквидистантных областей для технологического контроля поверхностей общего вида

Харьковское государственное авиационное производственное предприятие

В данной работе рассматривается применение эквидистантных областей допустимых размеров поверхностей общего вида в качестве аналитических контрольно-измерительных шаблонов.

В работах [1, 2] изучалась возможность применения эквидистантных областей для задания технологических допусков в виде поверхностей общего вида. Задание допусков в виде эквидистантной области допустимых положений центра тактильной сферической головки позволяет уменьшить методическую погрешность координатных измерений и приблизить ее к приборной. Этот метод косвенного контроля соответствия формы и размеров изготовленной поверхности конструкторской документации дает возможность по контролю положений центра тактильной головки относительно эквидистантной области допусков дать заключение о положении точек поверхности относительно ее области допусков. Одно из основных применений эквидистантной области допустимых размеров – замена при технологическом контроле различных шаблонов и калибров. Однако отсутствие практики использования этих областей в этом качестве не позволяет дать рекомендации их применения в технологическом контроле.

Так, замена калибров для контроля отверстий аналитическими калибрами позволяет не только сэкономить на производстве калибров, но и получить более точные результаты их проверки. Рассмотрим случаи контроля отверстий калибрами, приведенные на рис. 1.

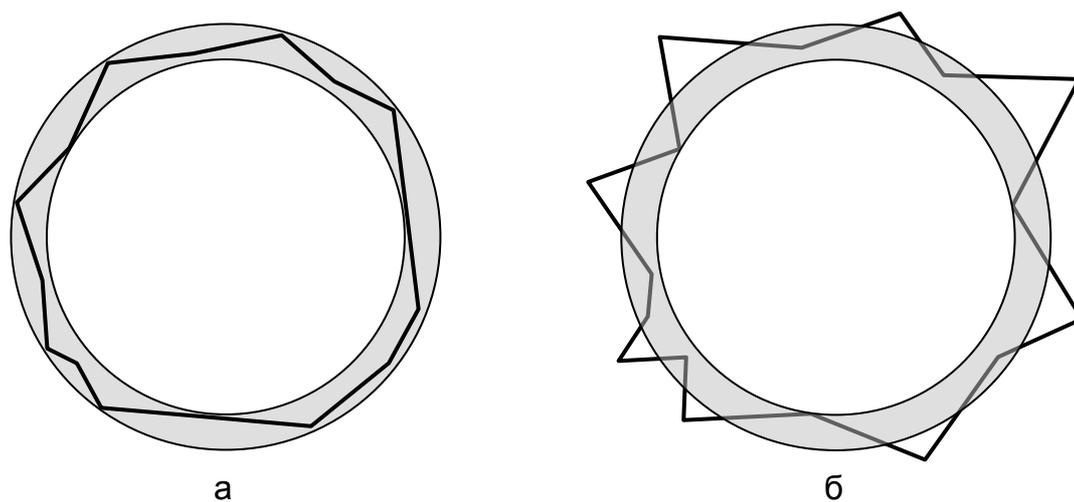


Рис. 1. Контроль отверстия проходным и непроходными калибрами:
а – расчетный случай; б – реальный случай

Расчетный случай применения калибров предполагает, что ни одна точка границы отверстия не выходит за непроходной калибр (см. рис. 1, а). Однако

вполне возможен случай, приведенный на рис. 1, б, когда граница отверстия содержит как точки не выходящие за непроходной калибр, так и точки, выходящие за него.

Таким образом, применение метода контроля отверстия проходным и непроходным калибрами не дает гарантии того, что граница отверстия удовлетворяет случаю, приведенному на рис.1, а. Тем самым такие методы контроля не позволяют дать достоверное заключение о пригодности детали. Для повышения достоверности контроля с целью исключения случая, показанного на рис.1, б, с другой стороны в отверстие направляется пучок света. Деталь признается годной, если отверстие не просвечивается при закрытии его непроходным калибром.

Целью данной работы является доказательство возможности использования эквидистантных областей допустимых значений в качестве контрольно-измерительных шаблонов для проверки точности изготовления поверхностей общего вида.

Для изучения особенностей проведения технологического контроля непосредственно на станке с ЧПУ были выбраны детали, имеющие контролируемые поверхности общего вида: кронштейны 140.00.3205.931.005 и 140.00.3315.011.00.

Внешний вид кронштейна 140.00.3205.931.005 представлен на рис. 2. Технологический контроль этой детали осуществляется по поверхности Б, имеющей контур А, показанной на рис. 3. Контур детали А представляет собой пространственную линию, а поверхность Б – плоские участки, расположенные под углом друг относительно друга.

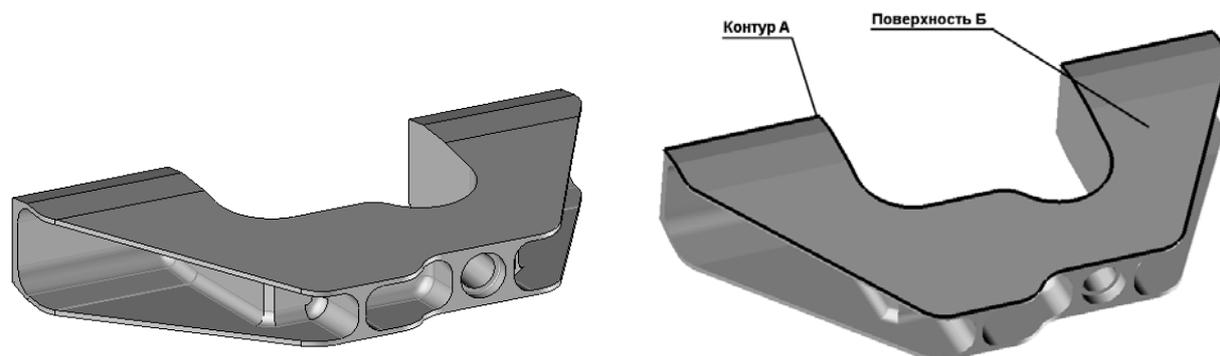


Рис. 2. Внешний вид кронштейна 140.00.3205.931.005 и участки контроля

Технологический контроль поверхности кронштейна 140.00.3205.931.005, совпадающей с теоретической поверхностью самолета, осуществлялся не с помощью шаблонов, а непосредственно на фрезерном станке с ЧПУ ФП-17М, оборудованном приставкой «Сканер-2». Для этого в рабочем органе закреплялся щуп с тактильной сферической головкой и предлагаемым косвенным методом проводился технологический контроль координат точек поверхности. Фактически контроль координат точек поверхности, как указывалось выше, реализован через контроль положений центра тактильной сферической головки, т.е. с помощью эквидистантной области допусков.

Технологическая подготовка технологического контроля непосредственно на станке ФП-17М включает в себя построение аналитического эталона эквидистантной области допусков. Контур А поверхности Б и построенный контур, эквиди-

стантный к контуру А, а также расчетные положения сферической тактильной головки приведены на рис. 3 и 4; на последнем для детального рассмотрения отдельно представлена область В.

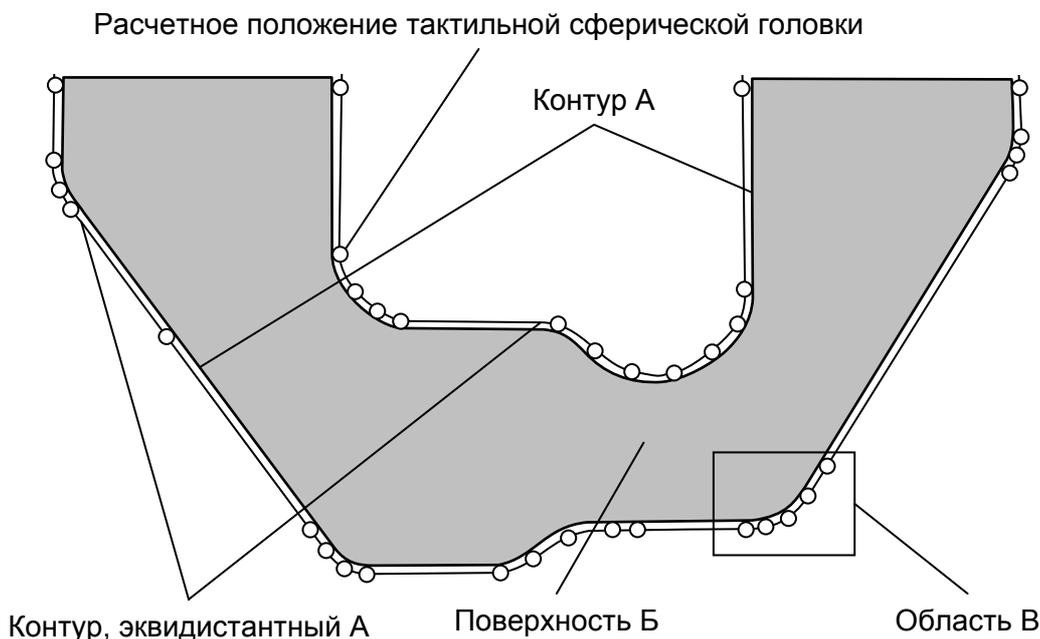


Рис. 3. Положение контура, эквидистантного А относительно контура аналитического эталона кронштейна

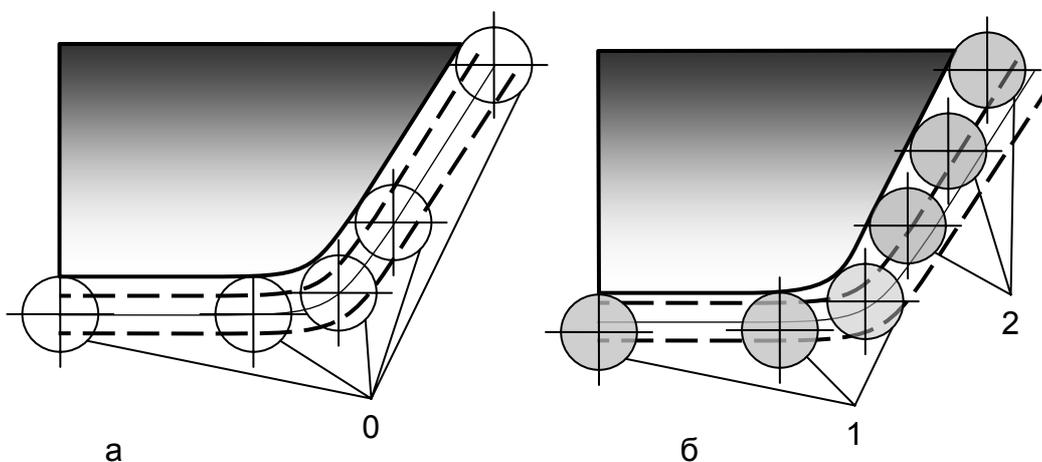


Рис. 4. Область В: точки идеальные (0), в поле (1) и вне поля (2) допуска

На рис. 4 границы полей допусков для контура А показаны штриховой линией. Идеальное (расчетное) положение центров тактильной головки изображено на рис. 4, а, поз. 0. Центры лежат на поверхности, эквидистантной к контуру А (сплошная тонкая линия). Для точек контура А, находящихся в поле допуска, соответствующее им положение центров тактильной головки изображено на рис. 4, б, поз. 1. Для точек контура А, находящихся вне поля допуска, соответствующее им положение центров тактильной головки показано на рис. 4, б, поз. 2.

Директивное допустимое максимальное отклонение поверхности детали от эталона равно 0,2. После построения эквидистантных областей допустимых разме-

ров детали были проведены измерения координат центров тактильной головки щупа при сканировании внешнего периметра (контур А) и поверхности детали (поверхность Б) (см. рис. 2). Результаты измерений положений центров относительно аналитического эталона показаны на рис. 5.

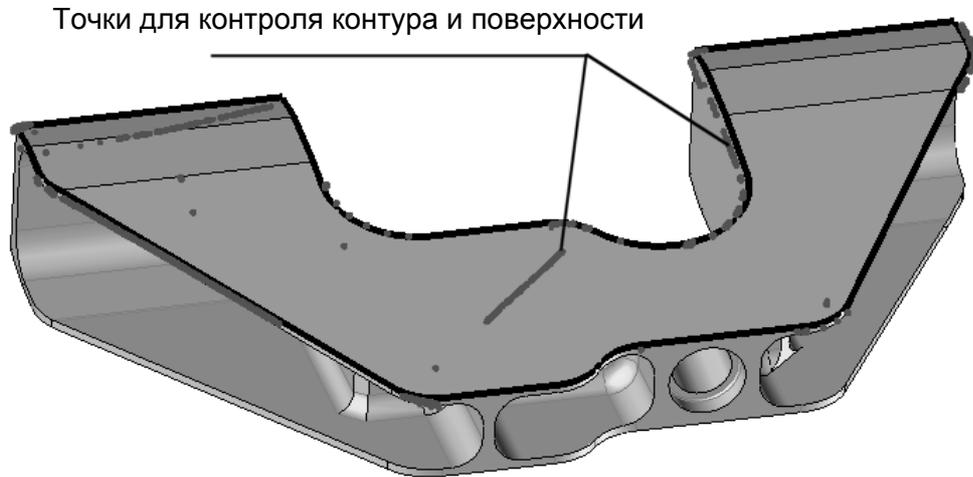


Рис. 5. Положения центров тактильной головки

Результаты отклонений всех измеренных точек от расчетных при технологическом контроле обработанной поверхности кронштейна 140.00.3205.931.005 приведены на диаграмме (рис. 6).

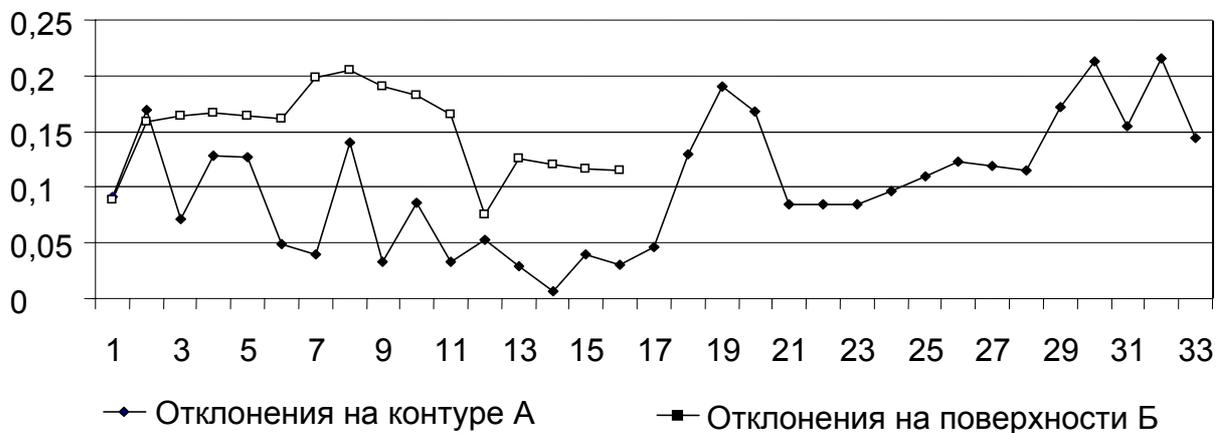


Рис. 6. Диаграмма отклонений измеренных точек от эталонных

При обработке результатов контроля оказалось, что два положения центра головки при касании контура А и одно при касании поверхности Б выходят за пределы допустимых эквидистантных областей. Машинные номера точек, не прошедших контроль, на контуре А – 30а, 32а, на поверхности Б – 5б. В связи с этим были определены кратчайшие расстояния между расчетными точками касания, восстановленными по результатам измерений.

Отклонение в точке 30а равно 0,2125, в точке 32а – 0,2150, в точке 5б – 0,205. Следует заметить, что при визуальном контроле с помощью шаблонов та-

кие отклонения практически не могут быть зафиксированы, так как точность изготовления шаблона 0,1.

Таким образом, точность технического контроля непосредственно на станке ФП-17М с помощью его позиционирующей системы находится в пределах директивных требований к точности изготовления деталей.

Далее рассмотрим технологический контроль кронштейна 140.00.3315.011.00 (рис. 6, а). Эта деталь геометрически схожа с вышерассмотренной деталью – кронштейном 140.00.3205.931.005 – представленной на рис. 2. Основное отличие кронштейна 140.00.3315.011.00 от кронштейна 140.00.3205.931.005 представляет геометрия контура А, который вместе с контролируемой поверхностью В показан на рис. 6, б.

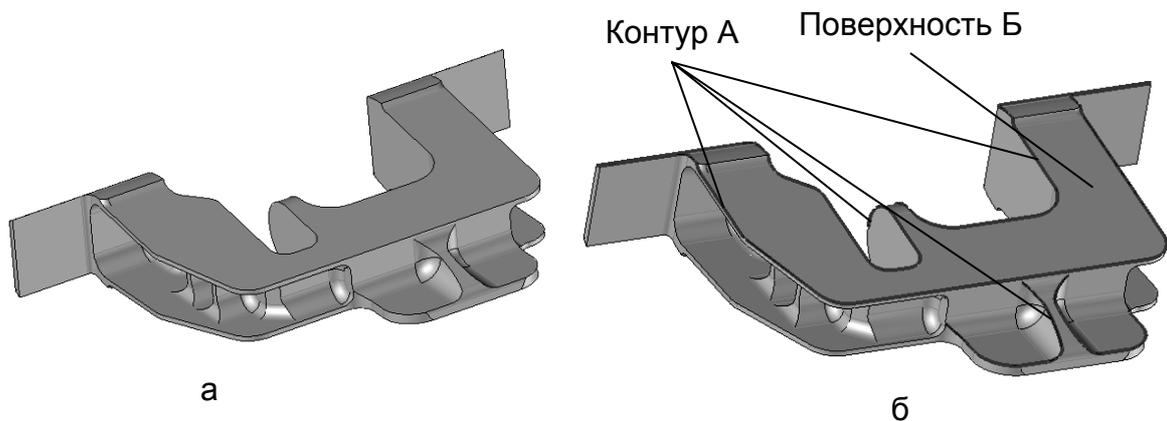


Рис. 6. Внешний вид и контролируемые участки кронштейна 140.00.3315.011.00

Так же, как и для детали кронштейн 140.00.3205.931.005, была построена поверхность, эквидистантная к контролируемой поверхности, и определено расчетное положение контролируемых точек для непосредственного проведения технологического контроля соответствия изготовленной поверхности конструкторской документации (рис. 7, а и 7, б).

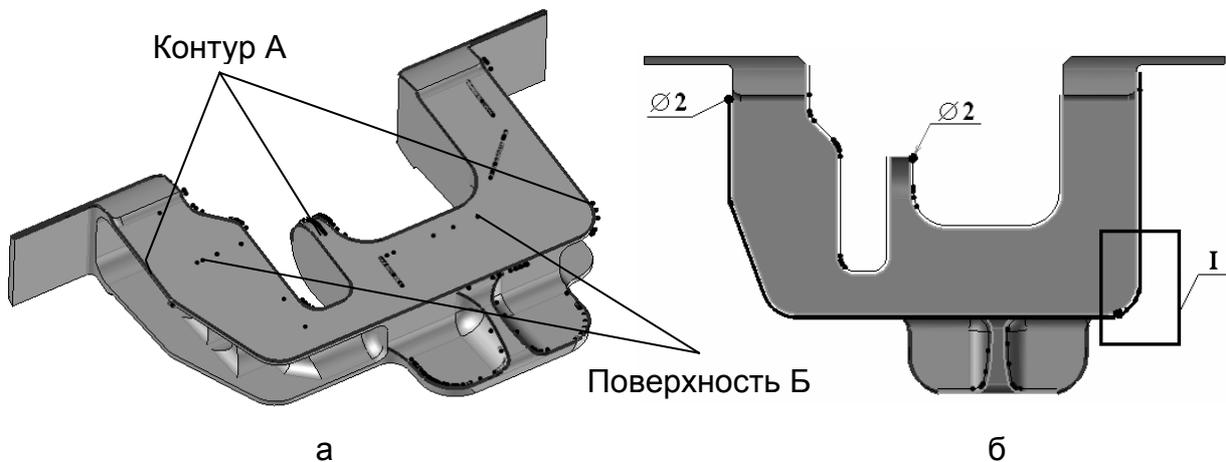


Рис. 7. Расчетное положение контролируемых точек на контуре А и поверхности Б

В процессе технологической подготовки проведения технологического контроля детали кронштейн 140.00.3315.011.00 в соответствии с заданными конструкторскими допусками была построена эквидистантная область допустимых положений центра тактильной сферической головки щупа (эквидистантная область допусков). Детальное изображение сечения этой области в зоне I (см. рис. 7, б, поз. I) показано на рис. 8.

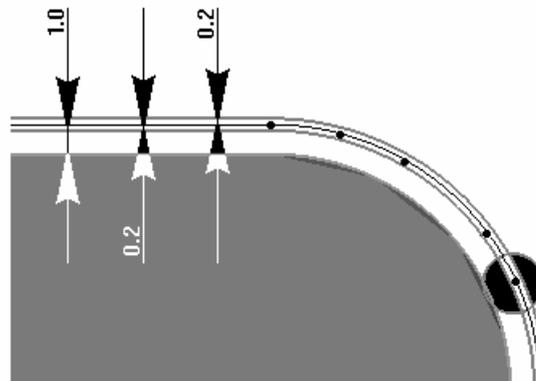


Рис. 8. Эквидистантная область допустимых положений центров тактильной сферической головки области I

Опорную эквидистантную поверхность строят на расстоянии радиуса тактильной сферической головки ($r = 1$ мм). Затем согласно допуску на изготовление $\Delta = 0,2$ мм строят границы области допустимых положений центра измерительного щупа, как эквидистанты к опорной поверхности. Контроль осуществляется проверкой принадлежности центра тактильной головки в момент касания контролируемой поверхности области допустимых положений. Протокол контроля может быть выведен на печать.

Таким образом, для технологической подготовки контроля поверхностей и контуров общего вида непосредственно на фрезерном станке необходимо с помощью компьютерных помощников инженера выбрать на анэте представительное множество точек контроля поверхности или контура, построить эквидистантную область допусков положений центра измерительной сферической головки заданного радиуса и подготовить программу сканирования для контроля детали в этих точках.

Список литературы

1. Бычков И. В. Переустановка детали с использованием позиционирующей координатной системы станка в качестве измерительной / И. В. Бычков, П. О. Науменко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2005. – Вып. 27. – С. *
2. Науменко П. О. Определение области допустимых значений для технологического контроля поверхности // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2005. – Вып. 28. – С. 64-69.

Системная информатизация избирательных и референдумных процессов: методологические основы статистических исследований электронных информационных ресурсов в период избирательной кампании

Одним из перспективных направлений исследований в области современных информационных технологий, несомненно, является изучение различных статистических характеристик, на основе компьютерного анализа информационных потоков [1]. В первую очередь, это обусловлено тремя причинами:

- достаточно большие объемы данных, обеспечивающие надежное применение статистических методов;
- наличие групп источников с низким уровнем корреляции;
- естественное распределение данных во времени, позволяющее отслеживать динамику событий.

Действительно, обычно ключевой проблемой статистических исследований является недостаточно большие наборы доступных данных, при которых статистические методы не дают необходимой точности, что, в свою очередь, не позволяют зафиксировать реальные тенденции. В этом плане сетевые информационные потоки обладают неисчерпаемыми возможностями.

Разумеется, в первую очередь сказанное относится к статистическим исследованиям общественных процессов, к которым, с полным основанием, относятся процессы, связанные с организацией и проведением выборов и референдумов.

Влияние результатов статистических исследований имеет исключительно большое значение для организации и проведения выборов и референдумов в силу их определенной специфики. С одной стороны, результаты статистических исследований. В определенной мере, позволяют обеспечивать и поддерживать определенный уровень демократичности и прозрачности этих процессов практически на всех его этапах. С другой стороны, производить постоянную оценку избранной стратегии и тактики построения и проведения избирательной кампании и, при необходимости, оперативно вносить соответствующие коррективы. Это в равной степени относится как к организаторам этих процессов, так и к непосредственным участникам.

Как известно, специфика исследований общественных процессов, в частности, состоит в том, что далеко не всегда ясно, какие именно аспекты представляют интерес. Часто это выясняется после того, как произойдет значительное событие, о котором до его наступления никто не подозревал. Именно тогда становится понятно, что требуется анализировать.

С этой точки зрения процессы организации и проведения выборов и референдумов не только специфичны, но и, по-своему уникальны.

Во-первых, процессы организации и проведения выборов и референдумов очень скоротечны (официальный срок их проведения не превышает 120 календарных дней), но с далеко идущими последствиями. Поэтому получение и анализ результатов объективных статистических исследований имеет первостепенное значение.

Во-вторых, пожалуй, из всех общественных процессов, именно процессы организации и проведения выборов и референдумов носят максимальный субъективистский характер. Но, как известно, объективность – это сумма субъективностей и чем выше эта сумма, тем выше уровень объективности. Поэтому получение результатов статистических исследований по максимально широкому кругу событий, источников информации резко повышает уровень достоверности оценки этих событий и принятия правильных решений.

Именно эти соображения в сочетании с возрастающей политизацией общества, особенно накануне выборов и референдумов, резкое увеличение информационных электронных ресурсов, не подверженных цензуре и «приглаживаниям», возможностями средств вычислительной техники и рядом других аспектов приводят к необходимости самого широкого применения развитых информационных технологий в процессах организации и проведения выборов и референдумов.

Необходимо отметить, что в силу скоротечности процессов организации и проведения выборов и референдумов, зачастую далеко не все участники, да и организаторы этих процессов, успевают адекватно реагировать на те или другие события. Это приводит к судебным, политическим, человеческим «разборкам», причем, зачастую, без достаточной и аргументированной доказательной базы.

Поэтому особый интерес представляет своего рода «обратная задача» восстановления динамических характеристик по ретроспективным базам данных. Обработка больших релевантных выборок документов, упорядоченных по датам за соответствующий промежуток времени также в определенном смысле порождает «вторичный» информационный поток, причем ориентированный на отражение вполне определенных явлений и тенденций. Таким образом, работа с ретроспективными базами данных позволяет моделировать динамику отражения в медиа-пространстве исследуемых общественных процессов.

Дополнительным преимуществом является возможность отбирать наборы источников, дающих наиболее полную и адекватную картину интересующих нас явлений. Дело в том, что заранее не всегда известно, как тот или иной источник будет описывать данные события. Использование же ретроспективных баз данных позволяет вначале изучить имеющиеся в распоряжении источники применительно к поставленной задаче и выяснить, какие из них наиболее информативны.

Отметим также, что анализ сразу всех отобранных данных позволяет «в один проход» выполнить и обработку с использованием агрегатных функций, что существенно ускоряет процесс машинной обработки данных.

Естественно, для реализации подобной программы необходима соответствующая технологическая база, включающая в себя следующие компоненты:

- ретроспективная база данных, содержащая достаточный объем структурированных общественно важных данных;
- средства обработки этой базы, позволяющие извлекать из нее релевантные наборы данных;
- средства статистической обработки построенных релевантных наборов.

В своих исследованиях авторы использовали большие массивы сетевой новостной информации, которые накапливались в течение последнего десятилетия в архивах системы контент-мониторинга InfoStream, которая

использовалась также в качестве инструментальной базы исследования [2]. В настоящее время системой InfoStream ежедневно охватывается свыше 30 тысяч новостных сообщений с открытых веб-сайтов сети Интернет. Профессиональное использование возможностей этой системы, доступное ее пользователям, обеспечивает качественно новые возможности информационно-аналитической работы. В частности, авторами проводился сравнительный анализ динамических характеристик освещения актуальных тем в медиа-пространстве Интернет. При этом анализировались следующие аспекты:

- корреляция между «интенсивностью» освещения данной темы и связанными с ней объективными событиями для каждого источника;
- выявление выраженных локальных экстремумов;
- корреляция между локальными максимумами и минимумами соответственно по группам источникам;
- сдвиг по фазе локальных экстремумов между различными источниками;
- аналогичные характеристики одновременно по набору сопряженных тем (т. е. тем, формально представляемых по-разному, но имеющих одну и ту же смысловую нагрузку в рамках поставленной задачи).

Простейшая методика заключается в определении для каждой группы источников рейтинга темы – нормализованного уровня цитирования основных смысловых блоков данной темы. Сама тема представляется в виде запроса к информационно-поисковой системе, которая извлекает требуемые материалы из комплекса ретроспективных баз данных [3]. Предполагается, что релевантные выборки сортируются по датам.

При построении релевантных выборок в зависимости от поставленной задачи может также дополнительно учитываться частота (как абсолютная, так и относительная) встречаемости поисковых терминов в каждом документе.

Именно, осуществим сказанное для случая оценки справедливости неоднократно звучавших утверждений о широком применении административного ресурса во время подготовки и проведении выборов Президента Украины в 2004 году на примере статистических исследований электронных информационных источников.

Источников 551: Российских – 214; Украинских – 337

Количество документов по месяцам 2005 года

По всем источникам:

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Ющенко	20558	54286	49411
Янукович	20400	47863	43731

По украинским источникам:

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Ющенко	18493	41828	38461
Янукович	18061	36775	34586

По российским источникам:

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Ющенко	2065	12458	10950
Янукович	2339	11088	9145

Распределение количества публикаций о кандидатах по дням трех месяцев (октябрь, ноябрь и декабрь 2004 г., Рис.1). Для получения этих данных использовались такие запросы к системе InfoStream: “Ющенко&2004.ММ.ДД” и “Янукович&2004.ММ.ДД”.

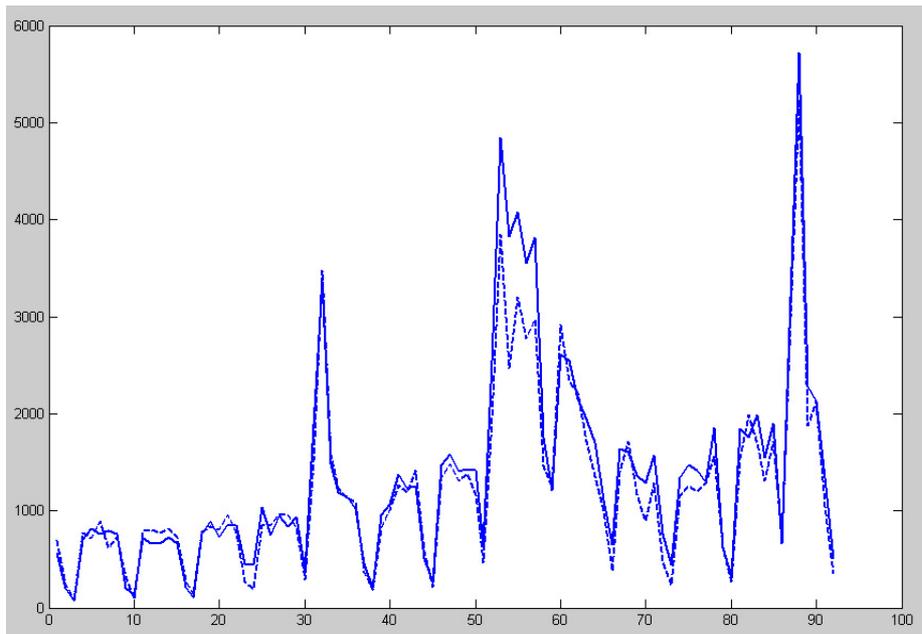


Рис. 1. Динамики совместного упоминания кандидатов:

- сплошная линия – Ющенко;
- пунктирная – Янукович.

Пики соответствуют событиям:

- 1-й тур
- 2-й тур
- переголосование 1-го тура
- 3-й тур

Значительная часть публикаций содержит упоминание сразу о двух кандидатах. Поэтому определенный интерес представляет изучение распределения количества документов, в которых упоминался только один из кандидатов.

Во всем исследуемом массиве электронных СМИ Ющенко без Януковича упоминался 48682 раза (40449 раз в украинских источниках и 8233 – в российских). Янукович без Ющенко упоминался 36420 раз (310088 раз в украинских источниках и 5332 – в российских). Для получения этих данных использовались такие запросы к системе InfoStream: “(Ющенко!Янукович)&2004.ММ.ДД” и “(Янукович!Ющенко)&2004.ММ.ДД”.

Предложенный методологический подход особенно актуален в настоящее время в связи с официальным началом процесса подготовки к выборам народных депутатов Украины.

Итак, очевидно, что с помощью описанного подхода действительно выявляются устойчивые временные зависимости заданных характеристик. На них отчетливо видны как локальные экстремумы, так и фазовые соотношения.

Приведенные данные показывают, что данная методика обеспечивает вполне приемлемое разрешение по времени. Поэтому временная шкала может строиться произвольно (в плане выбора масштаба), что удобно для сопоставления полученных кривых с локализацией общественнозначимых событий, однако из приведенных графиков видно, что даже при распределении по дням общие тенденции вполне выражены (т. е., нет нужды суммировать данные по более длительным временным промежуткам).

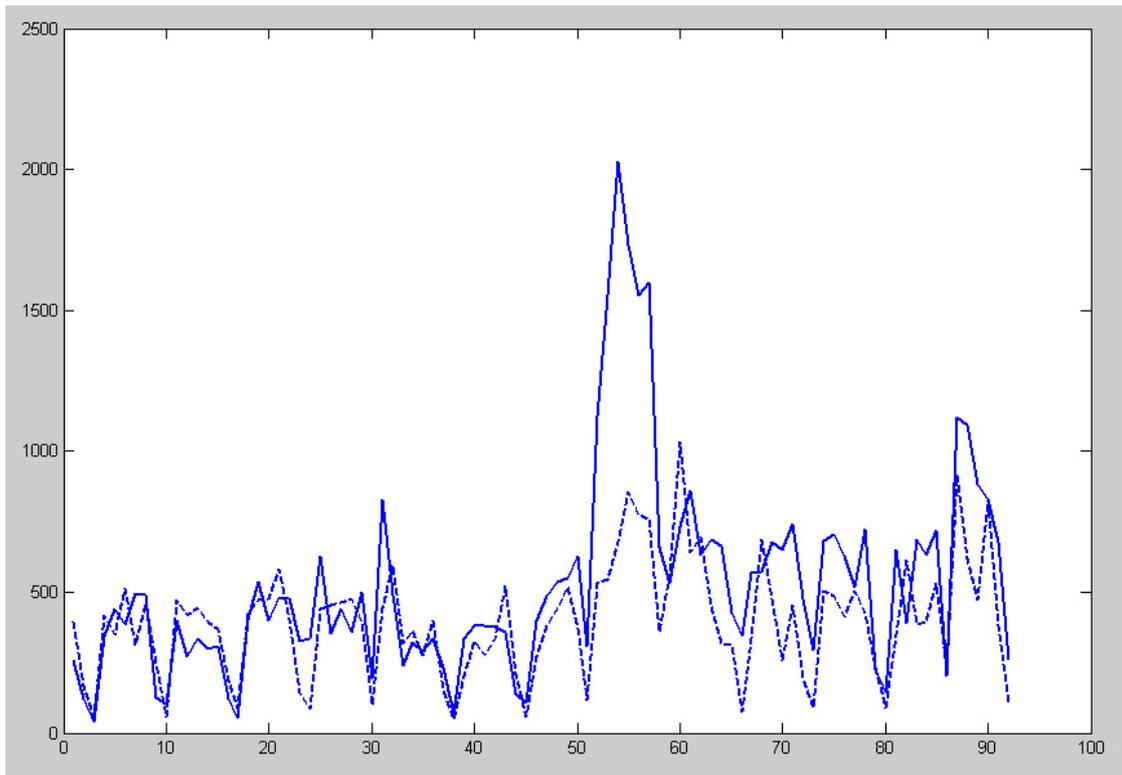


Рис. 2. Динамики раздельного упоминания кандидатов:

- сплошная линия – Ющенко без Януковича;
- пунктирная – Янукович без Ющенко

Описанная методика может применяться также итерационно: вначале используется мелкий временной масштаб, что позволяет выделить характерные участки на значительных временных отрезках. А затем для каждого из таких отрезков строить подробную картину процесса с требуемой точностью.

Отметим также, что используемая технология позволяет формировать промежуточные наборы числовых данных в форматах, пригодных для загрузки в стандартные пакеты статистической обработки.

Список литературы

1. Фурашев В.М., Ланде Д.В., Григор'єв О.М., Фурашев О.В. Електронне інформаційне суспільство України: погляд у сьогодення і майбутнє: Монографія. – К.: Преса України, 2005. – 166 с.
2. Григорьев А.Н., Ландэ Д.В. Адаптивный интерфейс уточнения запросов к системе контент-мониторинга InfoStream/ Труды международной конференции "Диалог'2005", с. 109-111
3. Д.В. Ланде, В.М. Фурашев. Інформаційне середовище нового суспільства. ДНІ НАУКИ: Зб. тез. доповідей: В 3 т. / Гуманітарний університет "ЗІДМУ", 27-28 жовтня 2005; - Запоріжжя: ГУ "ЗІДМУ", 2005. -Т.1. - с. 300-303

Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета Часть 1.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Представлены результаты исследований проблемы рациональной организации летных испытаний транспортного самолета в части определения его летно-технических характеристик (ЛТХ) с целью уменьшения объема испытаний и финансовых затрат на их проведение. Первые алгоритмы, ранее апробированные на разных исходных данных [1 – 4], доработаны и собраны в общую логическую схему, комплексная работа и новые открывающиеся возможности которой продемонстрированы на основе единого гипотетического самолета.

В исследованиях в качестве базы для получения ЛТХ выбраны стационарные аэродинамические коэффициенты подъемной силы и сопротивления самолета, а также предположение о соответствии реальных характеристик двигателя паспортным данным. Исследования основаны на математическом моделировании главных фрагментов процесса летных испытаний и компьютерных вычислительных экспериментах.

1.1. Проблема и постановка задачи

Временные и финансовые затраты, связанные с определением летно-технических характеристик нового самолета, зависят от выбранных методов планирования и проведения испытаний, методов обработки получаемых результатов, а также от точности измеряемых параметров в испытаниях, которые ниже именуются как переменные. Решение задачи уменьшения затрат даже в рамках частичной оптимизации, когда из общего технологического процесса вычлняются только его методические компоненты и для них предлагаются рациональные решения, логически увязанные в общую схему действий, может дать ощутимые результаты. Эти результаты будут напрямую зависеть как от уровня продвижения каждого компонента в направлении минимизации затрат и получения более качественного конечного результата, так и от глубины их логической интеграции в комплексную схему.

Польза от такого решения будет более значимой, если центры тяжести как подготовки к испытаниям, так и непосредственно летных испытаний окажутся максимально смещенными из чисто эмпирической области в область расчетно-аналитическую. Такое смещение акцентов позволит службам, участникам подготовки испытаний и непосредственно их исполнителям участвовать в процессах, которые в значительной степени будут осуществляться параллельно процессам проектирования самолета и создания его опытных образцов, а на стадию испытаний будет выноситься лишь минимально необходимый объем опытных проверок. Подобное смещение акцентов и использование временных ресурсов стадий проектирования и изготовления самолета может осуществляться

лишь в рамках действующих нормативных документов, регламентирующих необходимый объем испытаний в части определения ЛТХ самолета.

Решение поставленной задачи – построение логически увязанного расчетно-аналитического подхода с переносом центра тяжести из эмпирической области в область предварительных вычислений - вполне реально и в своей основе должно базироваться на общепринятом подходе к анализу технологических процессов. Последнее, применительно к рассматриваемой проблеме, означает математическое моделирование главных компонентов процесса летных испытаний, компьютерные вычислительные эксперименты на базе проектной информации самолета, анализ полученных результатов и принятие решений. Это и есть основная задача и методическая основа проводимых исследований.

1.2. Объект исследования

В рамках намеченных работ в качестве базового объекта удобно брать гипотетический самолет, так как требуемый объем исследований предполагает наличие исходных данных, изменяющихся в достаточно широких диапазонах. На практике такая ситуация частично может реализоваться в случае присутствия ошибок проектирования, технологии изготовления или наличия первых и вторых, вместе взятых. Однако в необходимом для исследований объеме такая информация не может соответствовать никакому реальному самолету.

Последнее замечание в меньшей степени касается двигателя. Тем не менее для решения поставленной задачи в работе использован гипотетический двигатель, тяговые характеристики которого приведены в соответствии принятым характеристикам гипотетического самолета.

Исходя из вышесказанного, в качестве базового объекта, на котором апробировались математические модели и вычислительные алгоритмы, выбран гипотетический транспортный самолет с двумя гипотетическими двухконтурными турбореактивными двигателями (ТРДД), установленными на пилонах под крылом, для исключения влияния обдувки крыла струями двигателей на аэродинамические характеристики самолета на данном этапе исследований.

Характеристики гипотетического самолета: максимальный взлетный вес – 200 т, площадь крыла – 350 м², угол заклинивания крыла – 3 град, угол установки двигателя относительно средней аэродинамической хорды крыла – 4 град, максимальное эксплуатационное число Маха – 0.80.

Характеристики гипотетического двигателя: двухконтурный турбореактивный, тяга на номинальном режиме - 20 т; имеются автомат ограничения подачи топлива по предельной температуре в зависимости от режима работы двигателя, а также автомат ограничения подачи топлива по максимальной скорости вращения вентилятора.

1.3. Системы координат и единиц измерения

В исследованиях рассматриваются установившиеся движения самолета в вертикальной плоскости, что позволяет использовать следующую основную систему координат: центр системы координат расположен в центре тяжести самолета, ось Ox направлена вдоль проекции вектора скорости на плоскость, параллельную плоскости горизонта и проходящую через центр системы

координат, ось OY – вертикально вверх. Направление оси OZ определяется векторным произведением ортов осей OX и OY . Кроме указанной системы применяется также скоростная система координат.

В исследованиях используется стандартная атмосфера, принятая в авиации, а в качестве расчетной системы единиц – Международная система (СИ). Однако промежуточные результаты вычислений приводятся, как правило, в привычной для практики технической системе.

1.4. Пространство переменных

При решении прямых задач практической аэродинамики в качестве основных переменных, используемых в вычислительных экспериментах и измеряемых в фактических условиях летных испытаний, были взяты следующие:

- температура наружного воздуха (T);
- атмосферное давление (F);
- полный вес самолета (G);
- режим работы двигателя (R);
- истинная скорость (V);
- угол атаки (α);
- угол наклона траектории (θ);

Во второй части алгоритмов, связанных с решением обратных задач, вместо переменной “режим работы двигателя (R)” используется переменная “тяга двигателя (P)”, что непосредственно определяется постановкой задач первого этапа исследований, где тяга считается известной из ВСХ или непосредственно измеренной в летных испытаниях. Для наглядности и удобства работы с входными данными и получаемыми результатами расчетов к семи указанным независимым переменным добавляется вспомогательная – барометрическая высота H .

Наличие скорости V и температуры наружного воздуха T дает полетное число Маха M , для которого совместно с углом атаки α вводится эксплуатационная область их изменения W для рассматриваемой конфигурации самолета. Для исследований в качестве основной конфигурации самолета была выбрана полетная конфигурация как наиболее сложная с точки зрения получения аппроксимирующих выражений для аэродинамических коэффициентов в W . Эта сложность определяется большими размерами самой эксплуатационной области изменения переменных α и M , а также наличием основных нелинейностей по этим переменным среди аэродинамических данных.

После задания для гипотетического самолета ограничений по прочности, числу M , устойчивости, управляемости и сваливанию в полетной конфигурации была определена эксплуатационная область изменения углов атаки в зависимости от полетного числа Маха, которая представлена на рис. 1. Эксплуатационная область рис. 1 формировалась посредством решения прямых задач при пошаговом движении по числу Маха M от 0.30 до 0.80 с учетом указанных выше ограничений, которые определяли границы изменения угла атаки, т. е. формировали замкнутую ломаную, определяющую саму область W . В этой области на рис. 1 дополнительно показаны опорные точки, которые рассчитывались аналогичным образом и использовались ниже при формировании планов испытаний.

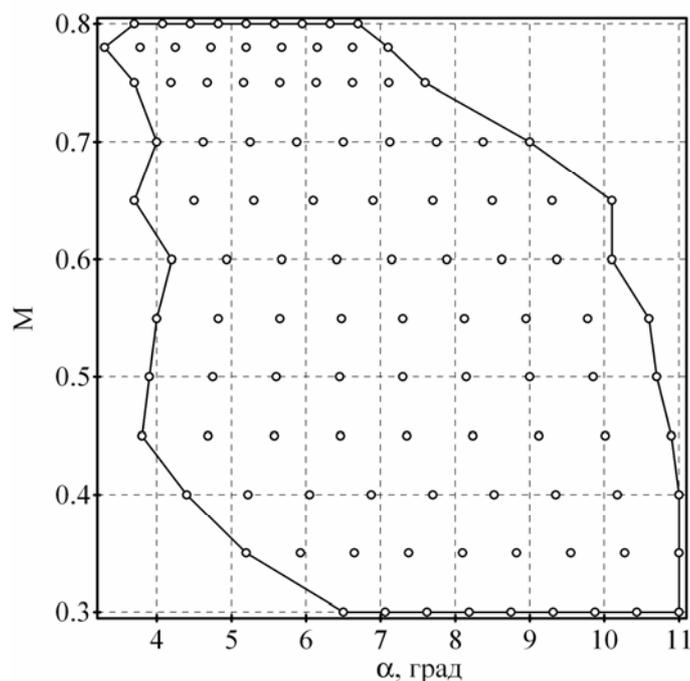


Рис.1. Эксплуатационная область полетной конфигурации гипотетического самолета с набором опорных точек для построения планов

1.5. Режимы полетов

В исследованиях первого этапа использовались установившиеся режимы полетов, рекомендуемые авиационными правилами АП-25 при определении ЛТХ самолета в летных испытаниях. Поэтому разработанные и апробированные на этих режимах алгоритмы и схемы действий могут быть распространены на иные режимы полета, возможно, более выгодные с точки зрения дальнейшего уменьшения затрат на испытания. Такое расширение потребует соответствующей модификации некоторых алгоритмов в связи с предстоящей их переориентацией на динамические уравнения движения, содержащие производные по времени.

1.6. Аэродинамические данные по гипотетическому самолету

Известно, что для определения ЛТХ самолета необходимо наличие зависимости коэффициента аэродинамической подъемной силы от угла атаки и полетного числа Маха, поляры самолета и высотно-скоростных характеристик (ВСХ) двигателя. Формирование коэффициентов аэродинамических сил для гипотетического самолета осуществлялось на основании имеющегося опыта. Он включает в себя использование для их определения методов вычислительной аэродинамики, позволяющих рассчитать реальное обтекание планера самолета с учетом сжимаемости и вязкости, а также экспериментальных исследований моделей в аэродинамических трубах.

Для полетной конфигурации гипотетического самолета на рис. 2 приведены характерные зависимости аэродинамического коэффициента подъемной силы $C_y(\alpha)$ при разных значениях числа Маха, а набор соответствующих поляр

представлен на рис. 3. На кривых рис. 2 - 3 проставлены маркеры, координаты которых являются исходными сеточными данными для получения указанных характеристик самолета в расчетных условиях. При получении значений аэродинамических коэффициентов в расчетной точке области W была использована линейная интерполяция сеточных данных.

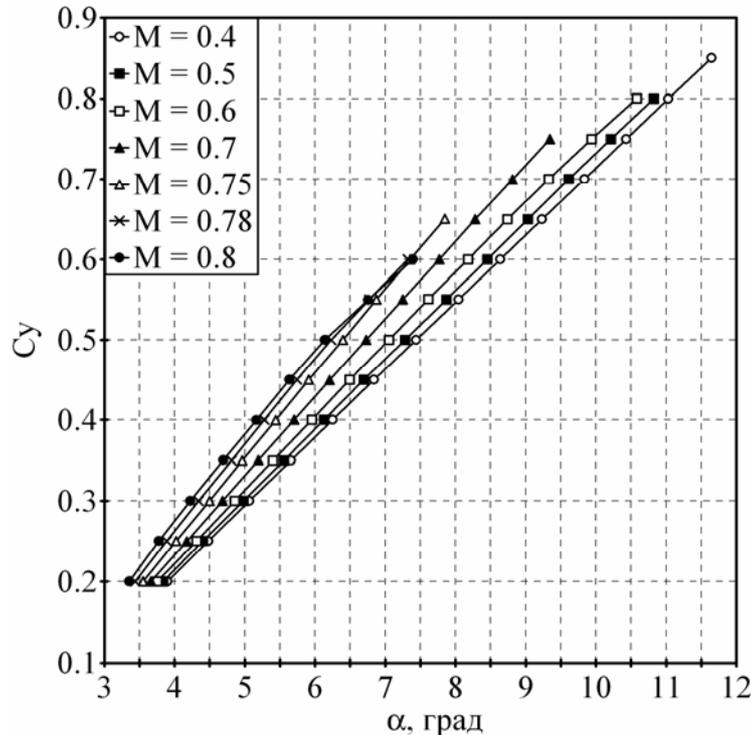


Рис. 2. Графики зависимости $C_y(\alpha)$ гипотетического самолета при постоянном M . Полетная конфигурация, исходные данные

1.7. Данные по гипотетическому двигателю

В исследованиях основой для расчета тяги P гипотетического двигателя служат табличные значения тяг, заданные на системе точек в области определения Ω функции $P(T, H, M, R)$. Эти табличные значения содержат в себе точки включения в работу автомата ограничения подачи топлива по предельной температуре. Ограничение подачи топлива по предельной скорости вращения вентилятора вводится как дополнительное внешнее условие, используемое на конечной стадии расчета тяги.

Область определения Ω состоит из двух подобластей Ω_1 и Ω_2 . Область Ω_1 содержит точки, в которых не работает автомат ограничения подачи топлива по предельной температуре, а область Ω_2 - точки, в которых указанный автомат работает. Деление на две подобласти осуществляется поверхностью $T_*(H, M, R)$, которая восстанавливается по системе точек, также входящих в набор исходных данных расчета тяги двигателя. Для приведения тяги к фактическим условиям использована интерполяция Лагранжа сеточных значений.

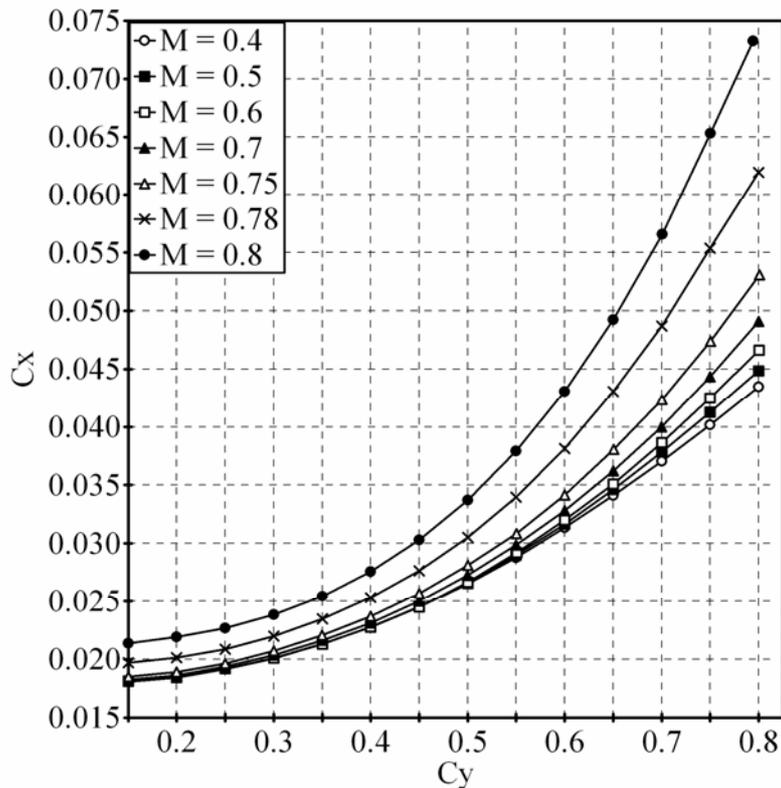


Рис. 3. Поляры гипотетического самолета. Полетная конфигурация, исходные данные

Интерполяция тяги двигателя осуществляется по двум разным схемам в зависимости от принадлежности точки расчета к одной из подобластей Ω_1 , Ω_2 или разделяющей их поверхности. Если исходным данным H, R и M будет соответствовать температура включения автомата $T_*(H, M, R)$, которая выше исходной температуры T , то расчетная точка (T, H, R, M) принадлежит подобласти Ω_1 и интерполяция тяги происходит по трем переменным H, R, M . В противном случае интерполяция тяги проводится по всем четырем переменным. Расчет температуры включения автомата ограничения подачи топлива в заданных условиях осуществляется также на основе интерполяции Лагранжа. В качестве примера интерполяции Лагранжа с ограничениями на используемые степени переменных, т. е. интерполяции с заранее указанным количеством используемых исходных точек по каждой переменной, на рис. 4 приведены следы разделяющей поверхности при разных условиях. Условия, при которых построены следы поверхности, показаны непосредственно на рисунке.

Выбор нелинейной интерполяции тяговых усилий двигателя определялся фактом использования достаточно разреженной сетки исходных данных в пространстве переменных, от которых зависит тяга. Линейная же интерполяция на такой сетке, в сравнении с нелинейной интерполяцией, дает ошибку в определении тяги до 2 % в сторону завышения последней [4], что, по причине чувствительности алгоритма решения обратной задачи к ошибкам входных данных, может существенно сказаться на точности определения некоторых характеристик самолета.

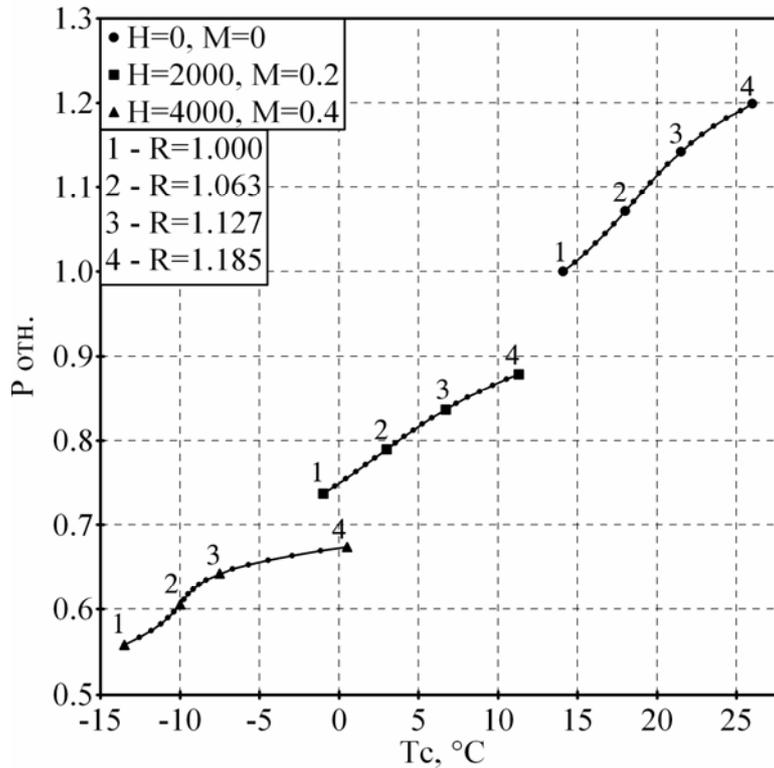


Рис. 4. Следы поверхности, разделяющей подобласти Ω_1 и Ω_2 , при указанных условиях

ПРЯМЫЕ ЗАДАЧИ

1.8. Математическая модель летных испытаний

Исходя из определения прямой задачи как задачи поиска следствий по имеющимся причинам, прямая задача, применительно к решаемой проблеме, означает решение системы уравнений установившегося движения самолета, в результате которого по заданным значениям “свободных” переменных и аэродинамических коэффициентов определяются значения “зависимых” переменных.

Уравнения установившегося движения самолета в скоростной системе координат имеют вид:

$$\begin{aligned} P \cos(\alpha - \chi) - G \sin \theta - R_x &= 0, \\ P \sin(\alpha - \chi) - G \cos \theta + R_y &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где угол установки двигателя относительно средней аэродинамической хорды обозначен как χ , а аэродинамические силы представляются стандартно через соответствующие коэффициенты, плотность воздуха ρ , скорость V и площадь крыла S :

$$\begin{aligned} R_y &= C_y(\alpha, M) \rho V^2 S / 2, \\ R_x &= C_x(C_y(\alpha, M), M) \rho V^2 S / 2. \end{aligned} \quad (2)$$

Учитывая, что функция тяги $P(T, H, M, R)$ зависит от четырех переменных, среди которых только три независимые, а в соотношениях (1) – (2) дополнительно имеются еще четыре переменные α , θ , G и F (атмосферное давление входит через определение плотности воздуха), для решения прямой задачи имеется семь переменных, на которые соотношения (1) налагают две связи.

В практике летных испытаний значения пяти свободных переменных рассматриваются как условия проведения летного эксперимента, а значения двух зависимых переменных определяются опытными измерениями. Как правило, в качестве двух зависимых выбирают угол наклона траектории θ , который летчик выдерживает при выполнении установившегося набора высоты (“зубца”), и угол атаки α . Если выделить из семи переменных пять в качестве независимых, значения которых задаются исходя из условий задачи, а значения двух других переменных определяются решением системы уравнений (1) при наличии соотношений (2) и исходных аэродинамических коэффициентов самолета, то получается математическая модель летного эксперимента. Эта математическая модель отражает суть идеального летного эксперимента, т. е. эксперимента, в котором ошибки измерений всех переменных равны нулю.

1.9. Алгоритм решения системы уравнений

С точки зрения построения алгоритмов вычислительных экспериментов нет особой разницы в выборе двух зависимых переменных из тех, которые входят нелинейным образом в систему (1). Поэтому в исследованиях в качестве таковых были выбраны угол атаки α и угол наклона траектории θ , значения которых при заданных условиях находятся решением (1) с использованием метода Ньютона. При этом для заданных значений переменных T, F, G, R и M на каждом шаге последовательного приближения вычисляются α и θ , которые с заданной точностью в евклидовой метрике оцениваются на близость к их значениям на предыдущем шаге. При удовлетворении требуемого условия близости двух последних точек процесс решения заканчивается и в результате получается набор значений всех переменных, который полностью согласован относительно уравнений движения. Полученное решение проверяется на удовлетворение приведенным выше эксплуатационным ограничениям для полетной конфигурации самолета и в случае, когда полученное решение не удовлетворяет ограничениям, решение игнорируется.

Основой для таких расчетов служит исходная информация по гипотетическому самолету в форме зависимостей $C_y(\alpha)$ при разных значениях числа Маха, набор соответствующих поляр и сеточная информация по тягам.

1.10. Планирование летного эксперимента

При условии отсутствия значимых возмущений атмосферы движение самолета является детерминированным процессом, и поэтому в исследованиях планирование летного эксперимента сводится к такому распределению точек проведения экспериментов, при котором для заданного их числа по полученным опытными результатам с максимальной точностью восстанавливаются зависимости аэродинамических коэффициентов $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$ в области их определения W . Наличие проектной аэродинамической информации самолете

существенно облегчает формирование такого плана, так как предположение о достаточно корректном аэродинамическом проектировании позволяет по имеющимся проектным данным восстановить поверхности $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$, а по ним предварительно исследовать наиболее оптимальное распределение плановых точек с точки зрения точности конечного результата. С общих позиций эти плановые точки должны располагаться таким образом, чтобы участки поверхностей с наибольшей кривизной были достаточно рационально (оптимально) представлены точками рассматриваемого плана. Такой алгоритм автоматической генерации плана испытаний с заранее заданным числом плановых точек в данных исследованиях не может рассматриваться, так как он сам должен опираться на все нижеисследуемые алгоритмы, т. е. содержать их в себе в качестве составляющих элементов.

Учитывая сказанное, в проведенной работе планирование экспериментов осуществлялось по следующей упрощенной схеме, определяемой многомерными табличными представлениями исходных аэродинамических данных гипотетическом самолете. В эксплуатационной области полетной конфигурации генерируется распределенная сеть опорных точек (α_i, M_i) в количестве 108 (набор точек представлен на рис. 1). Для каждой такой точки решается серия прямых задач, в которых каждая свободная переменная меняется дискретно таким образом, чтобы на каком-то шаге решения системы уравнений (1) относительно угла атаки α_i^k и соответствующего ему угла наклона траектории θ_i^k значение α_i^k было близко к α_i (значение M_i^k в исходных данных берется близким к значению M_i с абсолютной ошибкой не более чем 0.0012). Таких допустимых точек, близких в евклидовой метрике по α_i^k и M_i^k к их опорным значениям, для каждой пары (α_i, M_i) формируется несколько десятков, что и отражает верхний индекс k . В каждом наборе таких точек значения свободных переменных дискретно изменяются от минимальных до максимально возможных в эксплуатационной области. Такие наборы значений переменных, допустимые для формирования плана, позволяют проводить дополнительные исследования по сравнительной оценке влияния той или иной свободной переменной на конечную точность идентификации аэродинамических коэффициентов.

В итоге получается двумерная сеть в плоскости «угол атаки – число Маха» из допустимых точек $(T_i^k, F_i^k, G_i^k, R_i^k, M_i^k, \alpha_i^k, \theta_i^k)$, где нижний индекс i - глобальный номер опорной точки ($1 \leq i \leq 108$) в эксплуатационной области указанной плоскости, а верхний индекс k – номер конкретной точки в наборе, соответствующем глобальной точке i . Конкретный план испытаний формируется выбором минимального для заданной точности количества точек. Затем для каждой выбранной опорной точки из соответствующего ей набора выделяется одна конкретная точка (например, соответствующая номинальному режиму работы двигателей, т. е. $R=1$) и записывается в план эксперимента. Такой план испытаний с 20 точками изображен на рис. 5, а соответствующий ему набор исходных данных и результатов решения прямых задач при номинальном режиме работы двигателя (расширенный дополнительными характеристиками самолета) приведен в

Таблице 1. В ней литерой K обозначено аэродинамическое качество самолета, определяемое соответствующими значениями C_y и C_x .

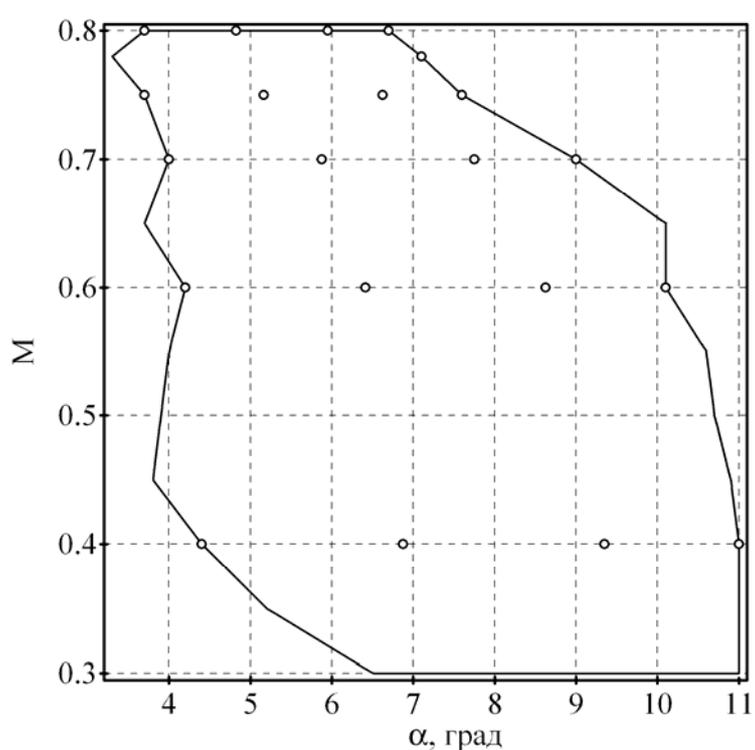


Рис. 5. План испытаний из 20 точек

Благодарности

Авторы благодарят Ю. В. Алябьева за многочисленные консультации в области высотно-скоростных характеристик турбореактивных двигателей, а также В. С. Полевичка за помощь в компьютерном оформлении результатов исследований.

Список литературы

1. Narozhnyy A. N., Nikonov D. A., Sheludko A. I. The optimization problem of flight aerodynamic experiments: cargo transport aircraft. - PROCEEDINGS of the 32nd Annual International Symposium, September 10-14, 2001, Seattle, USA.
2. Narozhnyy A. N., Nikonov D. A., Onopchenko M. I., Stefanyshyn M. I. The Optimization Problem Of Flight Aerodynamic Experiments II: cargo transport aircraft. - PROCEEDINGS of the 14-th European SFTE symposium, June 10-12, 2003, Toulouse, France.
3. Narozhnyy A. N. Computer modeling and preparation of the aerodynamic flight testing of an aircraft. - PROCEEDINGS of the 8-th International Symposium, October 26-28, 2003, Moscow, Russia.
4. Нарожный А. Н., Никонов Д. А., Стефанишин Н. И. Интерполяция тяги турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) // Технологические системы. 2003. – № 2 (18),

Набор исходных данных и результатов решения прямой задачи для плана с 20 точками (идеальный эксперимент).

25

N	H	T	G	V	θ	P	F	α	Cy	Cx	R	M	Vy	K
1	0.	258.1	981000.	128.5	0.1862	260200.	101300.	0.0768	0.24312	0.01905	1.000	0.3989	24.213	12.76
2	4000.	232.1	1118340.	121.9	0.1417	219234.	61580.	0.1204	0.45504	0.02468	1.000	0.3991	17.389	18.44
3	6000.	249.1	1236060.	126.6	0.0935	180504.	47184.	0.1623	0.65579	0.03445	1.000	0.3999	11.873	19.03
4	9000.	229.6	981000.	121.6	0.0730	124979.	30790.	0.1920	0.79753	0.04330	1.000	0.4002	8.894	18.42
5	6000.	279.1	1000620.	200.9	0.0337	113031.	47184.	0.0733	0.24009	0.01904	1.000	0.5998	6.780	12.61
6	10000.	223.1	1039860.	179.9	0.0473	105968.	26391.	0.1117	0.44180	0.02420	1.000	0.6008	8.518	18.26
7	9000.	229.6	1746180.	182.5	0.0170	123616.	30790.	0.1501	0.63774	0.03434	1.000	0.6008	3.109	18.57
8	10000.	253.1	1785420.	191.2	-0.0090	85769.	26391.	0.1763	0.76254	0.04350	1.000	0.5993	-1.717	17.53
9	8000.	206.1	1000620.	201.6	0.0599	141862.	35588.	0.0698	0.23315	0.01911	1.000	0.7004	12.090	12.20
10	9000.	199.6	1549980.	198.1	0.0242	125558.	30790.	0.1030	0.41924	0.02385	1.000	0.6991	4.803	17.58
11	10000.	253.1	1922760.	223.3	-0.0119	82208.	26391.	0.1361	0.60312	0.03302	1.000	0.7001	-2.664	18.26
12	11000.	246.6	1962000.	220.5	-0.0194	75527.	22659.	0.1571	0.71791	0.04158	1.000	0.7003	-4.272	17.26
13	8000.	236.1	1059480.	231.0	0.0391	135388.	35588.	0.0646	0.21581	0.01913	1.000	0.7497	9.047	11.28
14	10000.	223.1	1373400.	224.8	0.0195	110480.	26391.	0.0908	0.37519	0.02292	1.000	0.7506	4.374	16.37
15	10000.	253.1	1903140.	239.1	-0.0134	81335.	26391.	0.1152	0.52111	0.02927	1.000	0.7497	-3.196	17.80
16	11000.	246.6	1962000.	236.4	-0.0199	74536.	22659.	0.1326	0.62516	0.03622	1.000	0.7509	-4.699	17.26
17	9000.	199.6	1157580.	226.4	0.0173	128089.	30790.	0.0646	0.24053	0.02244	1.000	0.7990	3.916	10.72
18	10000.	253.1	1491120.	254.7	-0.0174	80471.	26391.	0.0838	0.36036	0.02572	1.000	0.7984	-4.420	14.01
19	11000.	246.6	1726560.	251.7	-0.0245	73585.	22659.	0.1047	0.48578	0.03265	1.000	0.7994	-6.168	14.88
20	11000.	246.6	1942380.	251.9	-0.0308	73575.	22659.	0.1169	0.54552	0.03753	1.000	0.7999	-7.758	14.54

Примечание.

[H] - м; [T] – °K; [G] - Н; [V] – м/с; [θ] - рад; [P] - Н; [F] – Па; [α] - рад; [Vy] – м/с

Численные исследования модели процессов истечения газа из отсека

Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова

Введение

При решении многих практических задач по газодинамике зачастую используют различные математические модели. Реализация математических моделей на персональном компьютере (ПК) осуществляется путем переложения ее в рабочие программы с использованием различных языков программирования. Для некоторых моделей используют несколько языков программирования, что позволяет существенно повысить качество обрабатываемой информации и представления выходных параметров.

Переход от математической модели к рабочим программам включает решение следующих основных задач: выбор численного метода, составление алгоритма, написание программы на выбранном языке программирования, согласование методов решения задачи и возможностей стандартных программ ПК, выбор точности решаемой задачи. Без решения этих задач математические модели во многих случаях не могут быть использованы на практике для решения конкретных задач. При реализации математической модели на ПК преимущества такой модели зачастую сводятся к минимуму, что существенно суживает область ее применения, а в некоторых случаях использование такой модели на практике зачастую не представляется возможным. Перечисленные задачи перехода от математической модели к реализации на ПК иногда требуют решения специальных задач, что обусловлено спецификой математической модели и классом решаемых задач.

1. Анализ публикаций

При решении многих практических задач широко используются основные уравнения, описывающие процесс истечения воздуха из объема. Такие уравнения получены в результате решения классических задач математического анализа [1,2,3,4]. Простота и удобство таких уравнений позволяет довольно просто получить решения и с достаточной для практики точностью производить инженерный анализ процессов перетекания воздуха. Одним из существенных недостатков таких уравнений является ограничение области их использования, что обусловлено, прежде всего, принятыми допущениями при их выводе и методами решения исследуемого процесса.

Реализация математических моделей на ЭВМ, некоторые проблемы и методы решения задач представлены в работе [5]. Автором рассмотрены специальные математические модели и подходы к решению задач, способы анализа и состояния измерения объекта, исследуются частные задачи управления. Рассмотрено решение этих задач, методов реализации программ и расчета параметров сложных моделей, что позволяет существенно продвинуться на пути к описанию исследуемых процессов.

В работе [6] предпринята попытка создать руководство по практическому применению методов вычислительной математики для решения различных инженерных задач. При анализе практических задач особое внимание уделено выбору оптимальных алгоритмов с использованием программ, которые входят в

математическое обеспечение ЭВМ. В работе рассмотрены различные задачи и методы решения по созданию конструкции, которая обладает оптимальными свойствами. Именно это является главной задачей инженерного проектирования.

В работе [7] рассмотрен класс решения некорректно поставленных задач. Сложность решения таких задач связана с тем, что необходимо решать во взаимосвязи задачу из раздела некорректных задач классической математики и различных практически важных прикладных задач. Проанализованы различные методы получения решения данного класса задач. Предложены методы регулирования решения задач оптимального планирования.

Для оптимизации процессов в авиации и технологических процессов сложной структуры в работе [8] рассмотрены методы оптимизации. Теория оптимального управления позволила получить более точные решения линейных и нелинейных исследуемых задач. Проанализованы задачи на экстремум и приведены примеры решения на базе единой теории задач. Такой подход позволил расширить область практического применения полученных результатов.

Учитывая специфику применения математических моделей к физическому процессу, в работе [9] проведены исследования по разработке моделей для энергетических систем. Отмечается, что электрические системы относятся к сложным системам и математическое описание таких явлений требует разработки модели-алгоритма. На основании модели-алгоритма разрабатываются программы, которые реализуются на ЭВМ. В основе рассмотренных задач предлагается использовать метод кибернетического моделирования. В работе показано, каким образом представляется возможным снять ограничения на размерность решаемой задачи.

Широкое распространение получают высокоэффективные компьютерные программные средства MATLAB, STAR-CD, FlowVision и другие программные комплексы. Эти программы предназначены для решения задач в области анализа процессов тепломассопереноса, энергетики, газодинамики. В качестве основных уравнений при решении газодинамических задач используются уравнения Навье-Стокса. Наличие такой модели позволяет решить большое количество теоретических и практических задач. Несмотря на это, разработать универсальную математическую модель для всех практических задач не представляется возможным. Возрастающие требования к создаваемой продукции и специфика решения тех или иных задач приводят к необходимости модификации, уточнения имеющихся программ и разработки новых программных средств.

2. Актуальность проблемы

При решении задач по определению параметров газа внутри отсеков самолета используются основные уравнения движения газовой среды. Внедрение математических моделей для обеспечения безопасной эксплуатации самолета тормозилось различными ограничениями, которые накладывались на разработанные математические модели. Для некоторых исходных данных и расчетных случаев решение практических задач не представлялось возможным. Численные исследования таких моделей по выявлению этих условий, уточнение математической модели и доработка программ занимает огромное количество времени и приводит к большим материальным затратам.

Несмотря на наличие большого числа публикаций по разработке и эксплуатации моделей различных процессов, эта задача решена не полностью. Отсутствие научной теории, позволяющей делать обоснованный переход от математической модели к рабочим программам, ставит решение этой задачи в зависимость от интуиции и опыта разработчика математической модели. Практика разработки новой техники показывает, что такие задачи не потеряли своей актуальности и до настоящего времени.

3. Цель и задачи исследований

В данной работе необходимо провести исследования математической модели, которая представлена в работе [10]. Целью и задачами настоящих исследований являются:

1. Определение области применения разработанной математической модели.
2. Расширение области практического применения математической модели.
3. Уточнение математической модели и программы расчета параметров движущегося потока для процессов истечения газа(воздуха) из отсека.
4. Определение адекватности математической модели реальному процессу истечения газа из отсека.

4. Исследование математической модели

В соответствии с работой [10] изменение давления ($\frac{dP_i}{d\tau}$), температуры ($\frac{dT_i}{d\tau}$) газа (воздуха) в объеме (отсеке) при подводе воздуха с расходом (G_{nji}) и температурой (T_{nji}), отводе воздуха с расходом (G_{mi}) и температурой воздуха (T_{mi}) для i -го отсека многообъемной кабины запишем в таком виде:

$$\frac{dP_i}{d\tau} = \frac{R}{C_v V_i} \left(\frac{dQ_i}{d\tau} + \sum_{j=1}^n C_p G_{nji} T_{nji} - \sum_{m=1}^s C_p G_{mi} T_{mi} \right);$$

$$\frac{dT_i}{d\tau} = \frac{1}{C_v \rho_i V_i} \left(\frac{dQ_i}{d\tau} + \sum_{j=1}^n C_p G_{nji} T_{nji} - \sum_{m=1}^s C_p G_{mi} T_{mi} \right) - \frac{T_i}{\rho_i} \frac{\sum_{j=1}^n G_{nji} - \sum_{m=1}^s G_{mi}}{V_i}; \quad (1)$$

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \sum_{j=1}^r q_{ji} + \sum_{j=1}^m W_{ji}(1-\eta_{ji}) + \sum_{j=1}^k \alpha_{ji} S_{ji} (T_{obji} - T_i) + \sum_{j=1}^c K_{ji} F_{ji} (T_{hi} - T_i);$$

$$C_{obji} M_j \frac{dT_{obji}}{d\tau} = \alpha_{ji} S_{ji} (T_i - T_{obji}), j=1, \dots, k,$$

где R - универсальная газовая постоянная; C_v - удельная теплоёмкость воздуха при постоянном объеме; V_i - объем i -го отсека; Q_i - внешнее подведенное тепло; C_p - удельная теплоёмкость воздуха при постоянном давлении; n - количество втекающих потоков; s - количество вытекающих потоков; ρ_i - плотность воздуха; q_{ji} - тепловыделение j -го человека в i -ом объеме; r - количество людей; W_{ji} - электрическая мощность потребляемая оборудованием j -го элемента; η_{ji} - КПД; α_{ji} - коэффициент теплоотдачи поверхности оборудования; S_{ji} - площадь отдающей тепло поверхности оборудования; T_{obji} - температура поверхности оборудования; k - количество оборудования; K_{ji} - коэффициент теплопередачи;

F_{ji} - площадь теплопередающей поверхности; T_{ni} - температура наружного воздуха; $C_{обji}$ - теплоёмкость оборудования; M_{ji} - масса оборудования.

Система дифференциальных уравнений (1) с известными начальными данными $P_i, T_i, Q_i, T_{обji}$ в каждом объеме имеет решение. Упрощенная блок-схема расчета параметров воздуха в процессе истечения воздуха из объемов представлена на рис. 1.

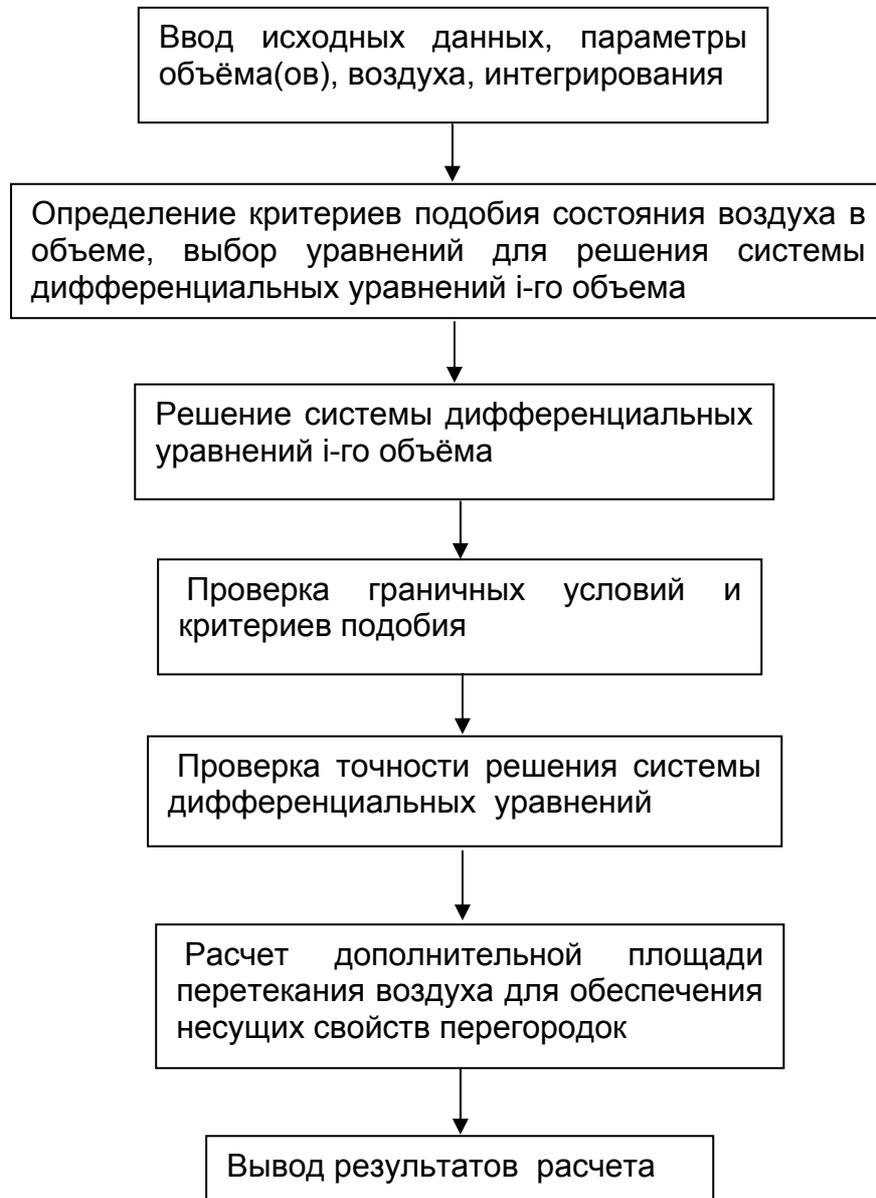


Рис. 1. Упрощенная блок-схема расчета параметров воздуха при истечении из объемов

Исходными данными для расчета являются: количество отсеков, максимальное количество отверстий между отсеками; признак изменения площади между отсеками; признак расчета дополнительной площади для обеспечения прочности перегородки; признак постоянства параметров атмосферы, начальная и конечная высоты полета; максимальное количество

итераций; шаг интегрирования по времени; погрешность интегрирования; объём отсека; начальное давление, начальная температура; расход входящего воздуха в объём; площадь для перетекания воздуха между отсеками; несущие способности элементов конструкции, начальное время разгерметизации. Для расчета изменения внешнего подведенного тепла вводятся дополнительные параметры, входящие в $dQ_i/d\tau$ и $dT_{o\partial ji}/d\tau$. Для каждого объёма с помощью стандартной программы численным методом решается система дифференциальных уравнений (1) относительно искомых величин P_i , T_i , Q_i , $T_{o\partial ji}$. На каждом шаге интегрирования производится проверка граничных условий и критериев подобия по температуре. При нарушении граничных условий происходит уменьшение шага интегрирования и расчет начинается сначала. Если выполняется условие критерия подобия по поддержанию постоянной температуры, то решение системы уравнений (1) существенно упрощается. Величина критерия определяется в соответствии с работой [7]. Кроме того, на каждом шаге интегрирования уравнений (1) производится проверка точности расчета по давлению или температуре. При достижении перепада давления между отсеками меньше заданной величины интегрирование системы уравнений (1) в этих отсеках прекращается, в противном случае расчет продолжается до выполнения требований по достижению заданной точности расчета давления в отсеке. По результатам расчета определяется давление (P_i) и температура (T_i) воздуха в отсеках в зависимости от высоты полета, времени и атмосферного давления. Расчет давления, температуры, плотности воздуха осуществляется при постоянных или переменных параметрах окружающей среды. Если параметры атмосферы изменяются в процессе перетекания воздуха из одного объема в другой, то в этом случае необходимо задать программе вертикальную скорость набора или снижения летательного аппарата и начальную высоту. При этом, на каждом шаге итерации производится расчет текущих параметров атмосферы. Расчет прекращается, когда давления воздуха в объемах выравниваются.

Для расширения области применения разработанной математической модели в программе предусмотрена возможность изменять по заданному закону площадь истечения воздуха из отсека и вертикальную скорость набора или снижения летательного аппарата. Расчет параметров воздуха в отсеках в процессе истечения воздуха из отсека с изменением площади перетекания воздуха зачастую сопровождался сбоями в работе программы или необоснованным изменением характера течения воздуха. Неточности в работе программы также подтверждались сопоставлением полученных результатов расчета с экспериментальными данными. Уменьшение шага интегрирования более чем в четыре раза позволило повысить точность расчета.

В программе предусмотрен расчет по обеспечению прочности перегородок между отсеками. На каждом шаге интегрирования определяется перепад давления на перегородках между смежными отсеками и сравнивается с заданными несущими способностями этих перегородок. При превышении перепада давления на рассматриваемых перегородках устанавливаются дополнительные площади перетекания воздуха и итерационный цикл газодинамических расчетов начинается сначала с увеличением дополнительной площади перетекания воздуха. По результатам расчета на печать выводятся дополнительные площади для перетекания воздуха между отсеками. Если же не достигнуты результаты расчета по обеспечению несущих способностей

перегородок, то расчет продолжается, а в качестве исходных данных вводятся полученные дополнительные площади.

Практическое использование разработанной математической модели позволило выявить ряд существенных недостатков расчета расхода воздуха. Поиск этих недостатков потребовал провести большое количество численных экспериментов. Так, в соответствии с работой [2] расчет расхода воздуха предлагается выполнять по отдельным формулам для докритического и закритического течения. При проведении расчетов в области критических течений происходит скачкообразное изменение расхода воздуха, что вызывает изменение давления воздуха в отсеках в сторону его увеличения или уменьшения. На рис. 2 эта область расчета показана линией 1. Расчет параметров газа в отсеке прекращается или продолжается, но при этом оценки математической модели не

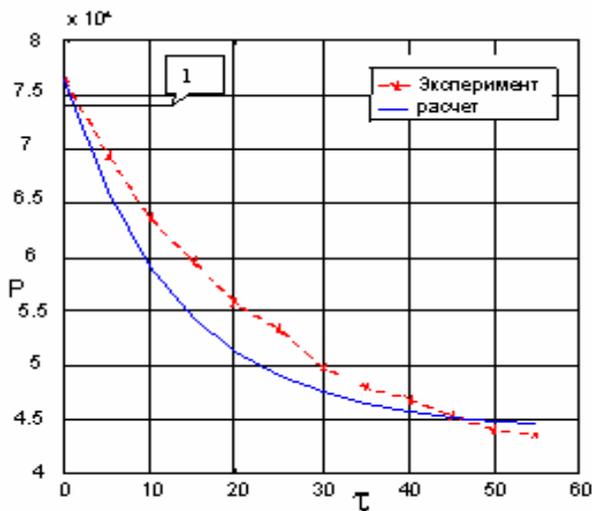


Рис. 2. Изменение давления (P , Па) воздуха в отсеке по времени (τ , с) при разгерметизации отсека самолета

имеют физического объяснения. Направление изменения давления существенно зависит от шага интегрирования и от конкретных условий расчета. В разработанной программной модели была использована формула расчета расхода воздуха, полученная на основе политропного процесса течения. Особенности применения такой модели и сопоставление с результатами эксперимента представлены в работе [11]. Уточнение математической модели и алгоритма расчета давления газа вблизи критического течения позволило устранить ранее выявленные недостатки.

Дальнейшие исследования эффективности разработанного алгоритма позволили выявить и

другие недостатки алгоритма при проведении расчета расхода вытекающего в объем и вытекающего из объема воздуха. Расчет вытекающего воздуха в i -й объем производился из условия, когда $P_i < P_j$, где P_j - давление в смежном j -ом объеме.

Если же $P_i > P_j$, то определяется расход вытекающего воздуха из i -го объема. Неточности расчета были выявлены на режиме, когда производная расхода воздуха по времени изменяет свой знак. В этом случае необходимо определять для каждого объема на каждом шаге интегрирования величину $\frac{dG_i}{d\tau} = R_i$.

Изменение величины R_i может быть вызвано закономерностями исследуемого физического процесса или величиной шага интегрирования. Рассмотрение этой задачи для всех отсеков позволяет правильно определить закономерности протекания процесса для отдельного объема и выбрать действительный знак производной. Если же расчетный знак R_i не совпадает с полученным знаком R_i с учетом анализа всех объемов, то необходимо уменьшить шаг интегрирования и расчет параметров газа в объеме производить сначала. Достичь такого

результата можно и другим путем. Для этого следует увеличить значение заданной точности расчета давления в объеме, но при этом точность расчета уменьшится, и для некоторых граничных условий задачи математическая модель не отражает физических закономерностей исследуемого процесса.

Проведенные расчеты процессов истечения воздуха из объема при различных граничных условиях позволили выявить неточности при расчете теплового потока в объеме. Анализ уравнений (1) показывает, что тепловой поток в объеме, вызванный влиянием оборудования, определяется изменением теплосодержания оборудования и изменением температуры оборудования во времени $\left(\frac{dT_{обij}}{d\tau}\right)$. Поэтому уравнение теплового потока в объеме запишем в таком

виде:

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \sum_{j=1}^r q_{ji} + \sum_{j=1}^m W_{ji}(1-\eta_{ji}) + \sum_{j=1}^k C_{обji} M_{ji} \frac{dT_{обji}}{d\tau} + \sum_{j=1}^c K_{ji} F_{ji} (T_{ni} - T_i). \quad (2)$$

При решении многих практических задач возникает необходимость определить тепловой поток в объеме при отсутствии информации о коэффициенте теплоотдачи, но при известной массе и теплоемкости оборудования. При этом изменение температуры оборудования происходит пропорционально изменению температуры воздуха в объеме. Поэтому

$$\frac{dQ_i}{d\tau} = \sum_{j=1}^r q_{ji} + \sum_{j=1}^m W_{ji}(1-\eta_{ji}) + \sum_{j=1}^k C_{обji} M_{ji} \frac{dT_i}{d\tau} + \sum_{j=1}^c K_{ji} F_{ji} (T_{ni} - T_i). \quad (3)$$

Подставив уравнение (3) в $\frac{dT_i}{d\tau}$ системы уравнений (1) и после преобразований имеем

$$\frac{dT_i}{d\tau} = \frac{1}{L} \left(\frac{H}{C_v \rho V_i} - M \right), \quad L = 1 + \frac{1}{C_v \rho V_i} \sum_{j=1}^k C_{обji} M_{ji},$$

$$H = \sum_{j=1}^r q_{ji} + \sum_{j=1}^m W_{ji}(1-\eta_{ji}) + \sum_{j=1}^c K_{ji} F_{ji} (T_{ni} - T_i), \quad M = \frac{T_i}{\rho_i} \frac{\sum_{j=1}^n G_{nji} - \sum_{m=1}^s G_{mi}}{V_i}. \quad (4)$$

Уравнения (2), (4) и изменение давления газа в отсеке $\left(\frac{dP_i}{d\tau}\right)$ в системе уравнений (1) представляют собой математическую модель истечения воздуха из объема с учетом ранее принятых ограничений. Такая математическая модель истечения воздуха из объема по сравнению с работами [1 – 11] расширяет область решаемых задач. Разработанная математическая модель дополнительно учитывает особенности и структуру влияния параметров оборудования на процессы внутри объема при втекании и вытекании воздуха из отсека. На основании такой модели был уточнен алгоритм расчета параметров газа в объеме вблизи критического режима течения и с помощью численных методов решения данного класса задач была получена программная модель истечения газа из отсека. Уточнение математической модели позволило расширить класс решаемых задач и решить практически важные задачи при проектировании многообъемных отсеков.

Сравнительная оценка результатов расчета и эксперимента (см. рис. 2) указывает на адекватность разработанной модели. Погрешность расчета не превышает 9 %.

Выводы

Таким образом, проведенные численные исследования с применением разработанной математической модели позволили выявить неточности в модели (1), изучить особенности применения численного метода для решения системы уравнений (1) с различными граничными условиями. Сочетание разработанной математической модели и методов решения задачи вблизи граничных условий с учетом методов программирования позволяет получить параметры решаемой задачи. Устранение выявленных недостатков в математической модели и алгоритме программы расчета с помощью численных методов привело к расширению области практического применения разработанной математической модели истечения воздуха из объема и повысить точность расчетов. Определена адекватность этой модели. Разработанная математическая модель и алгоритмы по обеспечению расчета параметров движущегося потока вблизи граничных условий, которые реализованы в виде рабочих программ для ПК, описывают процесс истечения газа из отсека с достаточной для практики точностью.

Необходимо продолжить исследования по изучению области практического применения разработанной модели для других классов решаемых задач и на основании ее провести исследования по оптимизации конструкции отсеков самолета.

Список литературы

1. Мамонтов М.А. Вопросы термодинамики тела переменной массы. – М.: Оборонгиз, 1961. - 56 с.
2. Быков Л.Т., Ивлентиев В.С., Кузнецов В.И. Высотное оборудование пассажирских самолетов.– М.: Машиностроение, 1972. - 332 с.
3. Гершкович А.М. Метод расчета времени истечения газа из резервуара постоянного объема. // Кислород. – 1948. – N 1.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Изд 3-е. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
5. Леонтьев В.А. Реализация математических моделей на ЭВМ. – М.: Энергия, 1981. - 176 с.
6. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. –238 с.
7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. Изд. 3-е, испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.
8. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М.: Наука, 1979. – 430 с.
9. Веников В.М., Суханов О.А. Кибернетические модели электрических систем. – М.: Энергоиздат, 1982. – 328 с.
10. Доник В.Д. Математическая модель истечения воздуха из объема//Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. – К.: 2001. – С. 38-49.
11. Доник В.Д. Математическая модель определения расхода воздуха при разгерметизации отсека самолета. Матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф. "АВІА-2002" 23-25 квітня 2002 року. Т. 3. Секція конструкція та міцність літальних апаратів. К., 2002. С. 32.19-32.21.

Определение погрешности приближённого вычисления потенциала двойного слоя и его производных

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Решается задача определения аэродинамических характеристик крыла. Классические работы Н.Е. Жуковского и С.А. Чаплыгина по теоретическим профилям, основанные на введении отображающих функций, дали возможность построить точное решение для ограниченного класса профилей [1]. Разрабатывается метод, позволяющий решить задачу для двумерного [2] и трехмерного обтекания крыла произвольной формы.

В различных задачах аэродинамики нашло широкое применение метода потенциала двойного слоя [3]. При использовании этого метода на поверхности обтекаемого тела непрерывным образом распределяется двойной слой, интенсивность которого определяется из условия непротекания. Обтекание тел произвольной формы строится на основе численного метода. Вопросы сходимости и устойчивости численного метода, рассматриваемые в общем виде, до настоящего времени не решены.

Потенциал скорости, индуцируемый элементом двойного слоя dS (рис. 1) в произвольной точке K , определяется по телесному углу $d\vartheta$, под которым из точки K виден элемент dS . В численных расчётах угол $d\vartheta$ вычисляется по формуле $d\vartheta = dS'/r^2$, где dS' – проекция элемента dS на плоскость, перпендикулярную радиусу.

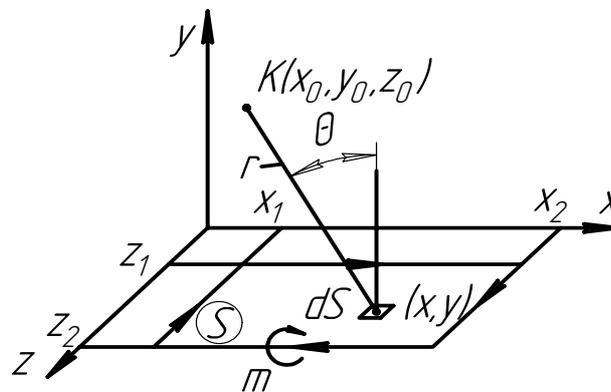


Рис. 1. Схема вычисления потенциала двойного слоя

В общем случае потенциал скорости, индуцируемый ячейкой S , определяем по формуле

$$\varphi(x_0, y_0, z_0) = \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{m \cdot \cos \theta}{r^2} dS, \quad (1)$$

где $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + y_0^2 + (z - z_0)^2}$, $\cos \theta = \frac{y_0}{r}$,

m – константа внутри ячейки S (см. рис. 1).

Заметим, что интеграл в формуле (1) равен телесному углу, под которым из точки $K(x_0, y_0, z_0)$ видна вся ячейка S .

$$\varphi = \frac{m \cdot y_0}{4\pi} \sum_{z_1}^{z_2} dz \sum_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\sqrt{[(x-x_0)^2 + y_0^2 + (z-z_0)^2]^3}}. \quad (2)$$

Учитывая, что

$$\left(\frac{x}{a^2 \sqrt{x^2 + a^2}} \right)' = \frac{1}{\sqrt{(x^2 + a^2)^3}}, \quad a = y_0^2 + (z - z_0)^2,$$

получаем

$$\varphi = \frac{m \cdot y_0}{4\pi} \left\{ (x-x_0) \cdot \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{\sqrt{[y_0^2 + (z-z_0)^2] \sqrt{(x-x_0)^2 + y_0^2 + (z-z_0)^2}}} \right\}_{x_1}^{x_2}.$$

При $a^2 > b^2$ интеграл равен

$$\int \frac{dz}{(z^2 + b^2) \sqrt{z^2 + a^2}} = \frac{1}{b \sqrt{a^2 - b^2}} \cdot \operatorname{arctg} \frac{z \sqrt{a^2 - b^2}}{b \sqrt{z^2 + a^2}}.$$

С другой стороны,

$$\left(\operatorname{arctg} \frac{z \sqrt{a^2 - b^2}}{b \sqrt{z^2 + a^2}} \right)' = \frac{b \sqrt{a^2 - b^2}}{(z^2 + b^2) \sqrt{z^2 + a^2}},$$

$$b^2 = y_0^2, \quad a^2 = y_0^2 + (x - x_0)^2, \quad a^2 \geq b^2, \quad a^2 - b^2 = (x - x_0)^2.$$

С учётом предложенных выше преобразований формула (2) примет вид

$$\varphi = \frac{m}{4\pi} \cdot \operatorname{arctg} \frac{(z-z_0)(x-x_0)}{y_0 \sqrt{(x-x_0)^2 + y_0^2 + (z-z_0)^2}} \Bigg|_{x_1}^{x_2} \Bigg|_{z_1}^{z_2},$$

или

$$\begin{aligned} \varphi = \frac{m}{4\pi} & \left[\operatorname{arctg} \frac{(z_2 - z_0)(x_2 - x_0)}{y_0 \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + y_0^2 + (z_2 - z_0)^2}} - \right. \\ & - \operatorname{arctg} \frac{(z_1 - z_0)(x_2 - x_0)}{y_0 \sqrt{(x_2 - x_0)^2 + y_0^2 + (z_1 - z_0)^2}} - \\ & - \operatorname{arctg} \frac{(z_2 - z_0)(x_1 - x_0)}{y_0 \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + y_0^2 + (z_2 - z_0)^2}} + \\ & \left. + \operatorname{arctg} \frac{(z_1 - z_0)(x_1 - x_0)}{y_0 \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + y_0^2 + (z_1 - z_0)^2}} \right]. \quad (3) \end{aligned}$$

При $y_0 \rightarrow 0$ телесный угол в формуле (1) занимает половину пространства (если точка (x_0, z_0) попадает внутрь ячейки (см. рис. 1)), и равен $\pm 2\pi$; следовательно, $\varphi = \pm m/2$. Такой же результат должна давать полученная формула (3).

Действительно, при $y \rightarrow +0$ и если точка (x_0, z_0) находится внутри ячейки, $x_1 < x_0 < x_2$, $z_1 < z_0 < z_2$. Следовательно, $z_2 - z_0 > 0$, $z_1 - z_0 < 0$, $x_2 - x_0 > 0$, $x_1 - x_0 < 0$ и получим

$$\varphi_{+0} = \frac{m}{4\pi} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \right) = +\frac{m}{2}.$$

$$\text{При } y \rightarrow -0 \quad \varphi_{-0} = \frac{m}{4\pi} \left(-\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2} \right) = -\frac{m}{2}.$$

Очевидно, что если (x_0, y_0) лежит вне ячейки, то $\varphi = 0$.

Определим область применения вычисления потенциала двойного слоя. Для этого примем ячейку со следующими параметрами (см. рис. 1):

$$x_0 = z_0 = x = z = 0, \quad x_1 = -\Delta, \quad x_2 = \Delta, \quad z_1 = -\delta, \quad z_2 = \delta.$$

Точка (x_0, y_0, z_0) лежит над центром ячейки $2\Delta \cdot 2\delta$.

Учитывая это, формулу (3) можно записать так:

$$\varphi = \frac{m}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\delta \cdot \Delta}{y_0 \sqrt{y_0^2 + \Delta^2 + \delta^2}} = \frac{m}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \frac{\bar{\Delta} \cdot \bar{\delta}}{\sqrt{1 + \bar{\Delta}^2 + \bar{\delta}^2}}, \quad (4)$$

$$\text{где } \bar{\Delta} = \frac{\Delta}{y_0}, \quad \bar{\delta} = \frac{\delta}{y_0}.$$

При использовании численных методов вычисления потенциал скорости равен

$$\varphi_{\text{числ}} = \frac{m}{\pi} \cdot \bar{\delta} \cdot \bar{\Delta}. \quad (5)$$

Если принять, что ячейка квадратная ($\bar{\delta}^2 = \bar{\Delta}^2 = t$), то формула (4) примет вид

$$\varphi = \frac{m}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{t}{\sqrt{1+2t}}.$$

Разложим в ряд Тейлора функцию φ (при $|\bar{\Delta}| < 1$):

$$\varphi(t) = \frac{m}{\pi} \cdot \left(\varphi(0) + \varphi'(0) \cdot t + \frac{\varphi''(0) \cdot t^2}{2} + \dots \right) = \frac{m}{\pi} \left(t - \frac{3}{2} t^2 \right).$$

Подставив полученное выражение в формулу (5), получим

$$\varphi = \varphi_{\text{числ}} \left(1 - \frac{3}{2} \cdot t \right) = \varphi_{\text{числ}} \left(1 - \frac{3}{2} \cdot \bar{\Delta}^2 \right) = \frac{\varphi_{\text{числ}}}{\left(1 + \frac{3}{2} \cdot \bar{\Delta}^2 \right)}. \quad (6)$$

Если считать, что ошибка вычисления составляет менее 5%, то, учитывая выражение, (6) определяем область применения формулы (3):

$$\frac{3}{2} \cdot \bar{\Delta}^2 > 0.05 \quad \text{или} \quad \bar{\Delta}^2 > 0.03.$$

Относительная ошибка метода в случае $\Delta \neq \delta$ составит величину

$$\frac{\bar{\Delta}^{-2} + \bar{\delta}^{-2}}{2} = \frac{\Delta^2 + \delta^2}{8 \cdot y_0^2}.$$

Формулой (3) можно пользоваться для проверки численных методов вычисления потенциала по выражению (1).

По предложенной методике рассчитываем серию крыльев, параметры, которых представлены на рис. 2.

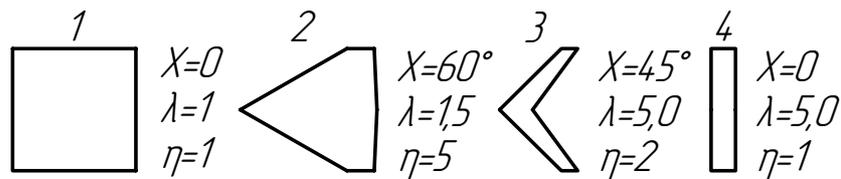


Рис. 2. Серия рассчитываемых крыльев

Сравнивая полученные результаты с результатами расчета крыльев с таким же числом подобных ячеек, можно сделать вывод, что результаты для плоского крыла отличаются незначительно (рис.3,4:Т – значения величины c_y^α согласно [4], П – значения величины c_y^α , полученные предлагаемым методом).

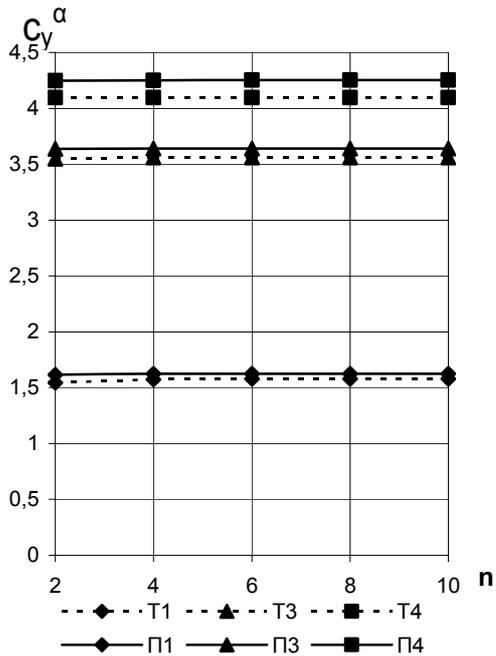


Рис. 3. Влияние числа ячеек n по хорде на величину c_y^α

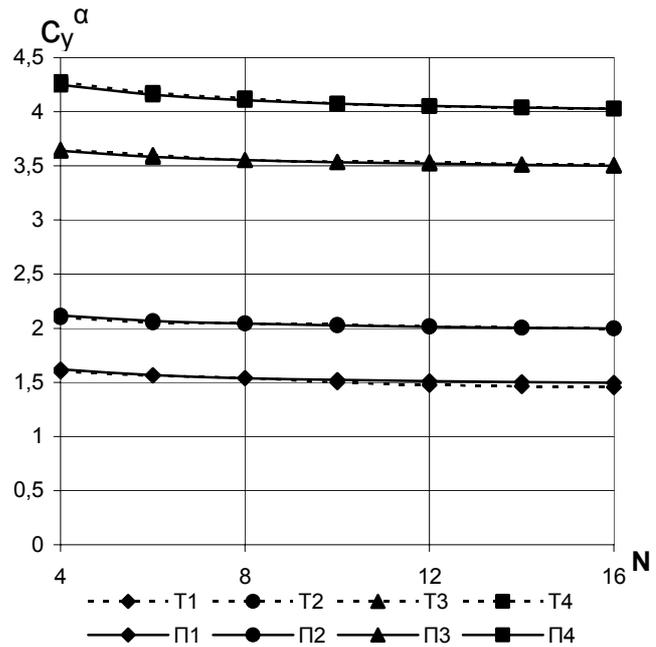


Рис. 4. Влияние числа ячеек N на полуразмахе на величину c_y^α

Вывод. Данный метод является теоретически более строго обоснованным, чем метод дискретных вихрей, и позволяет делать расчеты производных потенциала двойного слоя с большей точностью. При использовании теоретической основы этого метода решаются вопросы вычисления аэродинамических характеристик толстого крыла, а также влияния поверхности земли при посадке и взлете самолета и много других подобных задач.

Список литературы

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.– М.: Наука,1987.– 840 с.
2. Тюрев В.В. Метод расчёта обтекания несущей поверхности, испытывающей произвольные деформации // Доповіді Національної академії наук України. Математика. Природознавство. Технічні науки. – 2001. – №4. – С.56 – 60.
3. Сретенский Л.Н. Теорія ньютонівського потенціала. – М.: Гостехиздат, 1946. – 318 с.
4. Белоцерковский С.М. Тонкая несущая поверхность в дозвуковом потоке газа. – М.: 1965. – 242 с.

Теоремы сложения для решений уравнения Гельмгольца в декартовой системе координат и системе координат эллиптического цилиндра

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
Харьковский национальный экономический университет

Введение. Предложенный ранее [1] одним из авторов настоящей статьи метод вывода (доказательства) теорем сложения базисных решений уравнения Лапласа применяется к выводу теорем сложения уравнения Гельмгольца $\Delta u - \mu^2 u = 0$, где Δ – двумерный оператор Лапласа, $\mu > 0$. Получены теоремы сложения в декартовой системе координат и системе координат эллиптического цилиндра. Отметим, что теоремам сложения в различных парах ортогональных криволинейных координат посвящена книга [2]. В настоящей статье получены теоремы сложения, которых нет в работе [2].

Постановка задачи. Получить представления (в интегралах или рядах) решений уравнения Гельмгольца, записанных в декартовой системе координат, по решениям этого же уравнения в системе координат эллиптического цилиндра, и обратные им.

Основной результат. Будем рассматривать два случая расположения эллипса по отношению к полуплоскости, где решения являются регулярными: а) большая ось эллипса параллельна границе полуплоскости; б) большая ось эллипса перпендикулярна этой границе.

Декартовы координаты и координаты эллиптического цилиндра связаны соотношениями

$$x = a \operatorname{ch} \xi \cos \theta, \quad z = a \operatorname{sh} \xi \sin \theta \quad (0 \leq \theta \leq 2\pi, \xi \geq 0).$$

1. Группа формул относится к случаю “а”.

Разложение внешних решений в координатах эллиптического цилиндра по решениям в декартовой системе координат.

Решения уравнения Гельмгольца $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \mu^2 u = 0$, $\mu > 0$ для полуплоскости $z > 0$ выбираем в виде интеграла Фурье

$$u = \int_{-\infty}^{\infty} A(\lambda) e^{-\gamma z} \begin{cases} \cos \lambda x \\ \sin \lambda x \end{cases} d\lambda, \quad \gamma^2 = \lambda^2 + \mu^2. \quad (1)$$

Будем рассматривать отдельно четные и нечетные решения по переменной x .

Внешние решения уравнения Гельмгольца в системе координат эллиптического цилиндра [3] выражаются через радиальные и угловые функции Матье. Они имеют вид:

$$Fek_n(\xi, -q) \cdot ce_n(\theta, -q), \quad Gek_n(\xi, -q) \cdot se_n(\theta, -q), \quad q = \frac{1}{4} a^2 \mu^2.$$

Четные решения по переменной x даются формулами

$$Fek_{2n}(\xi, -q) \cdot ce_{2n}(\theta, -q), \quad Gek_{2n+1}(\xi, -q) \cdot se_{2n+1}(\theta, -q). \quad (2)$$

Будем искать в полуплоскости $z > 0$ решение задачи Дирихле для уравнения Гельмгольца по граничным значениям функции $Fek_{2n}(\xi, -q) \cdot ce_{2n}(\theta, -q)$ при $z = 0$. Такое решение существует в классе функций с ограниченным интегралом Дирихле и может быть представлено интегралом (1). В силу теоремы единственности решения краевой задачи Дирихле в рассматриваемом классе функций равенство двух решений будет иметь место не только на границе области $z = 0$, но и в полуплоскости $z > 0$, где эти решения регулярны (не имеют особых точек). Таким образом, при $z \geq 0$ имеет место равенство

$$Fek_{2n}(\xi, -q) ce_{2n}(\theta, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} A_{2n}(\lambda) \frac{e^{-\gamma z}}{\gamma} \cos \lambda x d\lambda. \quad (3)$$

Положим в этом равенстве $x = 0$, $\theta = \pi/2$ и сделаем замену $\lambda = \mu sh t$. В результате получим

$$Fek_{2n}(\xi, -q) ce_{2n}(\pi/2, -q) = 2 \int_0^{\infty} A_{2n}(\mu sh t) e^{-a\mu sh \xi ch t} dt.$$

Сравним это выражение с формулой (1) [3], с 244. Окончательно имеем

$$A_{2n}(\lambda) = \frac{(-1)^n ce_{2n}(\pi/2, -q) ce_{2n}(\pi/2, q)}{2\pi A_0^{(2n)}} Ce_{2n}(t, q), \quad t = Arsh \frac{\lambda}{\mu}. \quad (4)$$

Аналогично находим интегральное представление для второго решения (2):

$$Gek_{2n+1}(\xi, -q) se_{2n+1}(\theta, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} B_{2n+1}(\lambda) \frac{e^{-\gamma z}}{\gamma} \cos \lambda x d\lambda, \quad z \geq 0, \quad (5)$$

$$B_{2n+1}(\lambda) = \frac{(-1)^{n+1} se_{2n+1}(\pi/2, -q) ce'_{2n+1}(\pi/2, q)}{2\pi \sqrt{q} A_1^{(2n+1)}} Ce_{2n+1}(t, q), \quad t = Arsh \frac{\lambda}{\mu}. \quad (6)$$

В формулах (4), (6) $Ce_n(t, q)$ – четная по t модифицированная функция Матье, $A_r^{(n)}$ – коэффициенты разложения периодических функций Матье в ряды Фурье по косинусам [3].

Формулы (3), (5) получены в предположении законности всех формальных действий, выполненных выше. Эти действия легко обосновываются, если учесть,

что $Ce_n(t, q) \sim c_n e^{-\frac{1}{2}t}$ при $t \rightarrow \infty$. В этом случае интегралы в (3), (5) сходятся абсолютно и равномерно при $z \geq 0$. При $z > 0$ эти интегралы можно дифференцировать любое число раз.

Решения, нечетные по x , даются формулами

$$Fek_{2n+1}(\xi, -q) ce_{2n+1}(\theta, -q), \quad Gek_{2n+2}(\xi, -q) se_{2n+2}(\theta, -q). \quad (7)$$

Решая задачу Дирихле для полуплоскости $z > 0$, найдем

$$Fek_{2n+1}(\xi, -q) ce_{2n+1}(\theta, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} A_{2n+1}(\lambda) \frac{e^{-\gamma z}}{\gamma} \sin \lambda x d\lambda, \quad z \geq 0. \quad (8)$$

Это равенство справедливо во всей полуплоскости $z \geq 0$ по тем же причинам, что и в предыдущем пункте. Положить $x = 0$, $\theta = \pi/2$ в нем можно, но это ничего не дает для определения $A_{2n+1}(\lambda)$, так как левая и правая части обращаются в нули. Найдем производную по x в (8) и положим $x = 0$, $\theta = \pi/2$. В результате получим

$$Fek_{2n+1}(\xi, -q) ce'_{2n+1}(\pi/2, -q) (-ach\xi)^{-1} = \int_{-\infty}^{\infty} A_{2n+1}(\lambda) \frac{\lambda}{\gamma} e^{-\gamma ach\xi} d\lambda. \quad (9)$$

Предположим, что функция $A_{2n+1}(\lambda)$ ограничена, $A_{2n+1}(0) = 0$ и проинтегрируем (9) по частям. Равенство (9) при этом перейдет в другое

$$Fek_{2n+1}(\xi, -q) ce'_{2n+1}(\pi/2, -q) = -2cth\xi \int_0^{\infty} A'_{2n+1}(\lambda) \frac{e^{-\gamma ash\xi}}{\gamma} d\lambda.$$

Сделаем замену $\lambda = \mu sh t$, $A_{2n+1}(\lambda) = M_{2n+1}(t)$, где $M_{2n+1}(t)$ – новая неизвестная функция. В итоге получим

$$Fek_{2n+1}(\xi, -q) ce'_{2n+1}(\pi/2, -q) = -2cth\xi \int_0^{\infty} M'_{2n+1}(t) e^{-a\mu cht sh\xi} dt. \quad (10)$$

Примем во внимание разложение [3]

$$Fek_{2n+1}(\xi, -q) = (-1)^n \frac{se_{2n+1}(\pi/2, q)}{\pi\sqrt{q} B_1^{(2n+1)}} cth\xi \sum_{r=0}^{\infty} (2r+1) B_{2r+1}^{(2n+1)} K_{2r+1}(a\mu sh\xi)$$

и формулу $\int_0^{\infty} e^{-xcht} chrt dt = K_r(x)$, $x > 0$.

Сравнивая теперь (10) с этим разложением, найдем

$$A_{2n+1}(\lambda) = M_{2n+1}(t) = (-1)^{n+1} \frac{ce'_{2n+1}(\pi/2, -q) se_{2n+1}(\pi/2, q)}{2\pi\sqrt{q} B_1^{(2n+1)}} Se_{2n+1}(t, q), \quad (12)$$

$$t = Arsh(\lambda\mu^{-1}).$$

В формуле (12) $Se_n(t, q)$ – нечетная по t модифицированная функция Матье.

Из последней формулы следует, что сделанные ранее предположения относительно функции $A_{2n+1}(\lambda)$ выполняются. Законность всех формальных действий обосновывается тем, что интеграл (8) и его производная по x сходятся абсолютно и равномерно при $z \geq 0$.

Формула для второго нечетного решения (7) получается аналогично и имеет вид

$$Gek_{2n+2}(\xi, -q) se_{2n+2}(\theta, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} B_{2n+2}(\lambda) \frac{e^{-\gamma z}}{\gamma} \sin \lambda x d\lambda, \quad z \geq 0, \quad (13)$$

где

$$B_{2n+2}(\lambda) = (-1)^n \frac{se'_{2n+2}(\pi/2, -q)}{\pi q B_2^{(2n+2)}} se'_{2n+2}(\pi/2, q) Se_{2n+2}(t, -q), \quad (14)$$

$$t = \operatorname{Arsh} \frac{\lambda}{\mu}, \quad B_r^{(n)} - \text{коэффициенты разложения периодических функций}$$

Матье в ряд Фурье по синусам [3].

Итак, формулы (3)-(6), (8), (12) и (13), (14) дают искомые интегральные представления внешних решений уравнения Гельмгольца через решения этого же уравнения в декартовых координатах.

Обратные формулы разложения декартовых решений уравнения Гельмгольца по внутренним решениям этого уравнения в координатах эллиптического цилиндра.

Здесь рассмотрим отдельно решения, четные и нечетные по координатам x и z , а также решения разной четности по этим переменным.

Решение задачи Дирихле для внутренности эллипса $\xi < \xi_0 > 0$ с граничной функцией $ch \gamma z \cos \lambda x$ может быть представлено в виде ряда

$$u = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_{2n} Ce_{2n}(\xi, -q) ce_{2n}(\theta, -q), \quad q = \frac{1}{4} \mu^2 a^2.$$

В силу регулярности этих решений и теоремы единственности для краевой задачи Дирихле равенство гармонических функций будет иметь место не только на границе $\xi = \xi_0$, но и внутри эллипса. А так как ξ_0 – произвольное, то это означает, что равенство справедливо в любой конечной области плоскости xOz .

Итак, имеем

$$ch \gamma z \cos \lambda x = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_{2n} Ce_{2n}(\xi, -q) ce_{2n}(\theta, -q). \quad (15)$$

В (15) положим $z = 0$, $|x| \leq a$, что соответствует $\xi = 0$. В результате получим равенство

$$\cos(\lambda a \cos \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_{2n} Ce_{2n}(0, -q) ce_{2n}(\theta, -q), \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi,$$

которое можно обратить. С учетом полноты и ортогональности системы функций $ce_{2n}(\theta, -q)$ находим

$$\alpha_{2n} = 2(-1)^n \frac{A_0^{(2n)} Ce_{2n}(t, q)}{ce_{2n}(0, q) Ce_{2n}(0, -q)}, \quad t = \operatorname{Arsh} \frac{\lambda}{\mu}.$$

Разложение нечетных по z решений ищем в виде

$$sh \gamma z \cos \lambda x = \sum_{n=0}^{\infty} \beta_{2n+1} Se_{2n+1}(\xi, -q) se_{2n+1}(\theta, -q). \quad (16)$$

Это разложение справедливо, как и разложение (15), в любой конечной области плоскости xOz . Дифференцируем его по z и положим $z = 0$, ($\xi = 0$):

$$\gamma a \sin \theta \cos(\lambda a \cos \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \beta_{2n+1} Se'_{2n+1}(0, -q) se_{2n+1}(\theta, -q).$$

Обращаем этот ряд и находим

$$\beta_{2n+1} = 2(-1)^{n+1} \frac{\sqrt{q} A_1^{(2n+1)} Ce_{2n+1}(t, q)}{ce_{2n+1}(0, q) Se'_{2n+1}(0, -q)}. \quad (17)$$

Разложения для решений $ch \gamma z \sin \lambda x$ и $sh \gamma z \sin \lambda x$ определяем аналогично. Выпишем окончательно результаты:

$$ch \gamma z \sin \lambda x = \sum_{n=0}^{\infty} \alpha_{2n+1} Ce_{2n+1}(\xi, -q) ce_{2n+1}(\theta, -q); \quad (18)$$

$$\alpha_{2n+1} = 2(-1)^n \frac{\sqrt{q} B_1^{(2n+1)} Se_{2n+1}(t, q)}{se'_{2n+1}(0, q) Ce_{2n+1}(0, -q)}; \quad (19)$$

$$sh \gamma z \sin \lambda x = \sum_{n=0}^{\infty} \beta_{2n+2} Se_{2n+2}(\xi, -q) se_{2n+2}(\theta, -q); \quad (20)$$

$$\beta_{2n+2} = 2(-1)^n \frac{q B_2^{(2n+2)} Se_{2n+2}(t, q)}{se'_{2n+2}(0, q) Se'_{2n+2}(0, -q)}. \quad (21)$$

Абсолютная и равномерная сходимость найденных разложений при $\xi \geq 0$ следует из асимптотических формул [3] ($n \rightarrow \infty$) для коэффициентов $A_r^{(n)}$, $B_r^{(n)}$. Более того, эти разложения можно дифференцировать любое число раз.

Из формул (15), (16), (18), (20) можно получить разложения для решений $e^{\pm \gamma z} \cos \lambda x$, $e^{\pm \gamma z} \sin \lambda x$.

Разложения, приведенные в этом пункте, могут быть применены к решению задач математической физики для уравнения Гельмгольца в полуплоскости и полосе с эллиптической неоднородностью в случае, когда большая ось эллипса параллельна границе области.

2. Группа формул относится к случаю "б".

Разложения внешних решений эллиптического цилиндра.

Для функции $Fek_n(\xi, -q) ce_n(\theta, -q)$, которую будем считать граничной на линии $x = a$, решаем задачу Дирихле для полуплоскости $x > a$. Это решение существует и представимо в виде

$$u = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{C(k)}{\gamma} e^{-\gamma x} \cos kz dk, \quad \gamma = \sqrt{\mu^2 + k^2}.$$

В силу теоремы единственности решения задачи Дирихле в классе функций с ограниченным интегралом Дирихле, заключаем, что равенство

$$Fek_n(\xi, -q) ce_n(\theta, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} C_n(k) \frac{e^{-\gamma z}}{\gamma} \cos kz dk \quad (22)$$

справедливо не только на границе полуплоскости $x = a$, но и в полуплоскости $x > a$.

Положим в (22) $z = 0$, $\theta = 0$, $x > a$. В результате получим

$$Fek_n(\xi, -q)ce_n(0, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} C_n(k) \frac{e^{-\gamma ach\xi}}{\gamma} dk, \quad \xi > 0. \quad (23)$$

Здесь следует различать четный и нечетный индексы n . Для $n = 2k$ функцию C_{2k} выберем в виде

$$C_{2k}(k) = \frac{1}{2} \chi_{2k} Ce_{2k}(t, -q), \quad t = Arsh \frac{k}{\mu}.$$

Подстановка ее в формулу (23) приводит к ряду

$$Fek_{2k}(\xi, -q) = \frac{\chi_{2k} (-1)^k}{ce_{2k}(0, -q)} \sum_{r=0}^{\infty} (-1)^r A_{2r}^{(2k)} K_{2r}(a \mu ch \xi).$$

Сравнивая этот ряд с (9) [3], с. 200, найдем

$$\chi_{2k} = \frac{ce_{2k}(0, -q) ce_{2k}(0, q)}{\pi A_0^{(2k)}}.$$

Окончательно имеем

$$C_{2k}(k) = \frac{ce_{2k}(0, -q) ce_{2k}(0, q)}{2\pi A_0^{(2k)}} Ce_{2k}(t, -q). \quad (24)$$

Для $C_{2k+1}(k)$ запишем окончательное выражение

$$C_{2k+1}(k) = \frac{ce_{2k+1}(0, -q) se'_{2k+1}(0, q)}{2\pi \sqrt{q} B_1^{(2k+1)}} Ce_{2k+1}(t, -q). \quad (25)$$

Интегральное представление для решений, нечетных по z , берем в виде

$$Gek_n(\xi, -q)se_n(\theta, -q) = \int_{-\infty}^{\infty} D_n(k) \frac{e^{-\gamma z}}{\gamma} \sin kz dk. \quad (26)$$

Для нахождения функции $D_n(k)$ надо продифференцировать (26) по z и положить $z = 0$, $\theta = 0$, $\xi > 0$, затем в правой части полученного равенства проинтегрировать по частям и сравнить результат с соответствующими рядами для $Gek_n(\xi, -q)$ из [3]. Окончательно имеем

$$\begin{cases} D_{2n+1}(k) = \frac{se'_{2n+1}(0, -q) ce_{2n+1}(0, q)}{2\pi \sqrt{q} A_1^{(2n+1)}} Se_{2n+1}(t, -q), \\ D_{2n+2}(k) = \frac{se'_{2n+2}(0, -q) se'_{2n+2}(0, q)}{2\pi q B_2^{(2n+2)}} Se_{2n+2}(t, -q). \end{cases} \quad (27)$$

Абсолютная и равномерная сходимость интегралов (23), (26) при $x > a$ следует из асимптотических формул [3], с. 267 для функций $Ce_n(t, -q)$ и $Se_n(t, -q)$ при $t \rightarrow \infty$.

Разложения декартовых решений по решениям эллиптического цилиндра.

Не будем здесь повторять выкладки, аналогичные тем, которые сделаны при выводе соотношений (15), (16), а запишем окончательные формулы.

Для решений, четных по z ,

$$ch \gamma x \cos \lambda z = \sum_{n=0}^{\infty} a_{2n} Ce_{2n}(\xi, -q) ce_{2n}(\theta, -q), \quad (28)$$

$$a_{2n} = \frac{2A_0^{(2n)} Ce_{2n}(t, -q)}{ce_{2n}(0, q) Ce_{2n}(0, -q)},$$

$$sh \gamma x \cos \lambda z = \sum_{n=0}^{\infty} a_{2n+1} Ce_{2n+1}(\xi, -q) ce_{2n+1}(\theta, -q), \quad (29)$$

$$a_{2n+1} = \frac{2\sqrt{q} B_1^{(2n+1)} Ce_{2n+1}(t, -q)}{se'_{2n+1}(0, q) Ce_{2n+1}(0, -q)}.$$

Для решений нечетных по z

$$ch \gamma x \sin \lambda z = \sum_{n=0}^{\infty} b_{2n+1} Se_{2n+1}(\xi, -q) se_{2n+1}(\theta, -q), \quad (30)$$

$$b_{2n+1} = \frac{2\sqrt{q} A_1^{(2n+1)} Se_{2n+1}(t, -q)}{ce_{2n+1}(0, q) Se'_{2n+1}(0, -q)},$$

$$sh \gamma x \sin \lambda z = \sum_{n=0}^{\infty} b_{2n+2} Se_{2n+2}(\xi, -q) se_{2n+2}(\theta, -q), \quad (31)$$

$$b_{2n+2} = \frac{2q B_2^{(2n+2)} Se_{2n+2}(t, -q)}{se'_{2n+2}(0, q) Se'_{2n+2}(0, -q)}, \quad t = Arsh \frac{\lambda}{\mu}.$$

Эти разложения, как и полученные выше, сходятся абсолютно и равномерно в любой конечной части плоскости xOz . Из них можно получить разложения для других решений $e^{\pm\gamma x} \cos \lambda z$, $e^{\pm\gamma x} \sin \lambda z$.

Заключение. Найденные формулы дополняют формулы справочника [2] и могут быть применены к исследованию задачи теплопроводности для пластины в виде полуплоскости или полосы с эллиптической неоднородностью при конвективном теплообмене пластины с окружающей средой [4].

Список литературы

1. Проценко В.С., Соловьев А.И. О некоторых формулах разложения в теории гармонических функций и их применение к решению краевых задач // Математические методы анализа динамических систем. – X: 1984. – Вып. 8. – С. 50-77.
2. Ерофеев В.Т. Теоремы сложения. – Минск., Наука и техника, 1989. – 255 с.
3. Мак-лахлан Н.В. Теория и приложения функций Матье. – М.: Изд-во иностр. лит., 1953. – 457 с.
4. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с.

Выбор коэффициента перекрытия для ускоренного статистического моделирования НДС конструкций

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Постановка проблемы, анализ проведенных исследований, цель работы

В работе [1] для оценки вероятности разрушения конструкций проблемы, связанные с хвостами распределений характеристик проектируемой конструкции, предложено решать на основе построения специальных моделей этих функций [3 - 5], получивших название граничных, а также с помощью ускоренного статистического моделирования (УСМ) [6,7]. Для этих целей построено 6 различных граничных моделей условия разрушения, с их помощью проведено УСМ, осуществлена аналитическая оценка вероятности разрушения и сделаны соответствующие рекомендации по выбору моделей. Исследования показали высокую эффективность УСМ по сравнению с прямым статистическим моделированием. Однако для успешного применения УСМ для оценки вероятности разрушения сложных объектов с большим количеством случайных параметров необходимы дальнейшие исследования и оптимизация метода ускоренного моделирования с точки зрения затрачиваемых машинных ресурсов.

Основным параметром УСМ, определяющим затрачиваемые при проведении УСМ машинные ресурсы, является коэффициент перекрытия. Цель настоящей статьи – исследование и выбор оптимальных коэффициентов перекрытия для различных граничных моделей для уменьшения затрачиваемого на проведение УСМ машинного времени.

Объекты исследования

В общем виде условие целостности конструкции можно записать следующим образом:

$$\sigma_{\max} - \sigma_B < 0, \quad (1)$$

где σ_{\max} - максимальное эквивалентное напряжение в опасном узле конструкции;

σ_B - предел прочности материала конструкции.

Условие допустимой деформации

$$f_{\max} - f_D < 0, \quad (2)$$

где f_{\max} - максимальная деформация конструкции; f_D - предельно допустимая деформация конструкции.

Поскольку параметры конструкции и нагрузок имеют случайные разбросы (в особенности если конструкция изготовлена из композиционного материала), то

левые части условий (1) и (2) представляют собой функции случайных величин. Поэтому, обобщая условия (1) и (2), получим

$$\lambda < \Lambda, \quad (3)$$

где λ - функция случайных величин, которую в дальнейшем будем называть критериальной функцией (КФ); Λ - константа-ограничение, которую в дальнейшем будем называть границей работоспособности.

В настоящей статье для получения вероятности нарушения условия (3) рассмотрены следующие модели КФ [4,5]:

- касательная граничная линейная модель (КГЛМ);
- секущая граничная линейная модель (СГЛМ);
- аппроксимирующая граничная линейная модель (АГЛМ), построенная на основе КГЛМ;
- аппроксимирующая граничная линейная модель (АГЛМ), построенная на основе СГЛМ;
- квадратичная граничная модель (КГМ), построенная на основе КГЛМ;
- квадратичная граничная модель (КГМ), построенная на основе СГЛМ.

Все линейные модели определены в виде

$$\lambda_m = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n b_i \eta_i, \quad (4)$$

квадратичные – в виде

$$\lambda_m = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n b_i \eta_i + \sum_{i=1}^n c_i \eta_i^2, \quad (5)$$

где λ_m - модели левой части (3); λ_0, b_i, c_i - коэффициенты моделей; η_i - случайные разбросы параметров конструкции или нагрузок.

В качестве объектов исследования выбраны конструкции, для которых могут быть получены эталонные результаты.

Первый объект исследования представляет собой стержень из композиционного материала. Геометрия объекта показана на рис.1.

Номинальные размеры стержня: длина $L = 0.85$ м; высота поперечного сечения $H = 0.03$ м; ширина поперечного сечения $B = 0.015$ м. Стержень закреплен на левом конце, по правой половине стержня равномерно распределена нагрузка $Q=5000$ Н. Материал стержня – углепластик КМУ-3Э с модулем упругости $E = 2E+11$ Н/м².

Случайные разбросы параметров (геометрии, нагрузки и свойств материала) приведены в табл. 1.

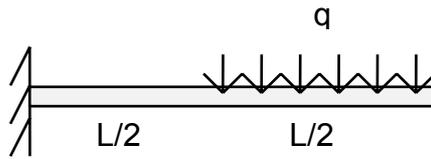


Рис.1. Первый объект исследования

Таблица 1

Параметр	Номинальное значение	Разброс, %
Длина L, м	0.85	9
Высота сечения h, м	0.03	9
Ширина сечения b, м	0.015	9
Нагрузка q, Н/м	5000	25
Модуль упругости E, Н/м ²	2E+11	10

Условия целостности и допустимой деформации объекта запишем следующим образом:

- условие допустимой деформации

$$\frac{41qL^4}{32Ebh^3} < f_D; \quad (6)$$

- условие целостности

$$\frac{9qL^2}{4bh^2} - \sigma_B < 0, \quad (7)$$

где для (6) допустимая величина прогиба принята равной $f_D = 0.0825$ (м); для (7) предел прочности материала случаен, нормален и имеет характеристики:

- математическое ожидание σ_B : $\bar{m}_{\sigma_B} = 9.5E+8$ (Н/м²);
- дисперсия σ_B : $\bar{D}_{\sigma_B} = 1.14E+8$ (Н/м²).

Второй объект исследования представляет собой стержневой Г-образный ротор из композиционного материала с грузом (рис. 2)

Номинальные размеры объекта: длина $L = 0.5$ м; плечо $A = 0.2$ м; высота поперечного сечения $H = 0.025$ м; ширина поперечного сечения $B = 0.04$ м.

Объект вращается вокруг оси вращения с угловой скоростью $\omega = 30$. К нижнему концу вертикального стержня прикреплен груз, в результате чего на объект действует нагрузка $Q=240$ Н.

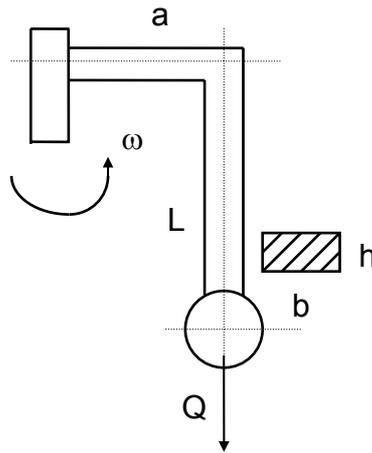


Рис. 2. Второй объект исследования

Материал объекта – углепластик КМУ-3Э с модулем упругости $E = 2E+11 \text{ Н/м}^2$.

Случайные разбросы параметров (геометрии, нагрузки и свойств материала) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Номинальное значение	Разброс, %
Длина L, м	0.5	9
Плечо a, м	0.2	9
Высота сечения h, м	0.025	9
Ширина сечения b, м	0.04	9
Нагрузка Q, Н	240	25
Угловая скорость ω	30	15
Модуль упругости E, Н/м ²	2E+11	10

Условие целостности и допустимой деформации объекта запишем следующим образом:

- условие допустимой деформации

$$\frac{Q\omega^2 a}{g} \cdot \frac{1}{\frac{Eb^3}{4L^3} - \frac{Q\omega^2}{g}} < f_D; \quad (8)$$

- условие целостности

$$\frac{6Q\omega^2 aL}{gbh^2} - \sigma_B < 0, \quad (9)$$

где для (8) предельно допустимая величина перемещения груза равна $f_D = 0.03965$ (м), для (9) предел прочности материала случаен, нормален и имеет характеристики:

- математическое ожидание σ_B : $\overline{m}_{\sigma_B} = 9.5E+8$ (Н/м²);
- дисперсия σ_B : $\overline{D}_{\sigma_B} = 1.14E+8$ (Н/м²).

Простота КФ для выбранных объектов исследования позволяет провести классическое статистическое моделирование и найти статистические вероятности нарушения условий целостности и допустимой деформации объекта, которые можно принять за эталонные значения вероятностей нарушения этих условий.

Последовательность и методика исследования

Этап 1. Строятся упомянутые выше граничные модели КФ: КГЛМ, СГЛМ, АГЛМ на основе КГЛМ, АГЛМ на основе СГЛМ, КГМ на основе КГЛМ, КГМ на основе СГЛМ.

Этап 2. Проводится параллельное УСМ по всем построенным граничным моделям и прямое СМ с целью определения эталонного значения вероятности нарушения условий целостности и допустимой деформации объекта. Под параллельным проведением моделирования подразумевается, что для получения одной реализации КФ и их моделей используется один и тот же «комплект» случайных реализаций разбросов параметров конструкций и нагрузок (в дальнейшем будем называть этот «комплект» вектором случайной реализации разбросов), чтобы исключить различие результатов за счет «случайности» генераций разбросов.

Этап 3. Вычисляется параметр, характеризующий погрешность проведения УСМ для каждой модели:

$$\Delta Q^* = Q^* - Q_{et}, \quad (10)$$

где Q^* - вероятности нарушения условий целостности и допустимой деформации объекта для модели; Q_{et} - эталонное значение вероятности нарушения этих условий, полученное при проведении СМ по КФ.

Этап 4. Этапы 2 и 3 повторяются для различных значений коэффициентов перекрытия. Коэффициент перекрытия K_X постепенно уменьшается от 2 до 1 (с шагом 0.1), все получаемые значения ΔQ^* заносятся в таблицы, по которым для каждой модели строятся графики зависимости погрешности УСМ ΔQ^* от коэффициента перекрытия K_X . Отметим, что УСМ для различных K_X также выполняется параллельно (как и для различных моделей), то есть по одним и тем же векторам случайной реализации разбросов.

В работе [2] описан алгоритм проведения УСМ и, в частности, способ определения требуемого объема УСМ. В этом исследовании предпринимается попытка оптимизации описанного в работе [2] алгоритма ускоренного моделирования. Потребный объем моделирования N_{CM} определяется автоматизированной системой проведения УСМ автоматически в процессе моделирования, на базе заданных пользователем двух значений:

- N_{Λ} - объем случайных реализаций, входящих в хвост распределения и превышающих граничное значение КФ;
- K_X – коэффициент перекрытия.
Объем УСМ определяется в виде

$$N_X = K_X * N_{\Lambda}, \quad (11)$$

Связь коэффициента перекрытия с объемом УСМ и общим объемом статистического моделирования показана на рис. 3.

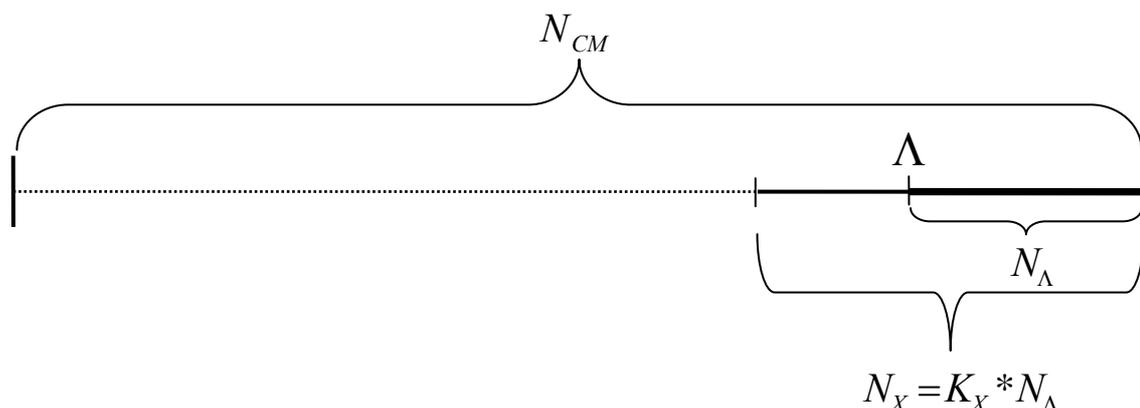


Рис. 3. Связь коэффициента перекрытия с объемом УСМ.

При заданных значениях N_{Λ} и K_X при проведении СМ генерируется вектор случайной реализации разбросов такого объема N_{CM} , который минимально необходим для получения массива хвостовых реализаций КФ с N_{Λ} значениями, превысившими границу Λ , после чего проводится УСМ в объеме $K_X \cdot N_{\Lambda}$. Таким образом, чем меньше коэффициент перекрытия, тем меньше объем «реального моделирования».

Такое автоматическое определение объема моделирования вместе с выбором оптимального коэффициента перекрытия позволяет значительно снизить затраты машинных ресурсов на выполнение УСМ сложных объектов.

Результаты исследования

Результаты исследования, проведенного в соответствии с описанной выше методикой, представлены в виде таблиц и графиков.

Погрешность УСМ по всем исследованным моделям для различных значений коэффициентов перекрытия приведена в табл. 3, 4 для первого объекта исследования и в табл. 5, 6 для второго объекта исследования:

- табл. 3, 5 – погрешность УСМ ΔQ^* для вероятности превышения допустимой деформации (первая КФ);
- табл. 4, 6 – погрешность УСМ ΔQ^* для вероятности разрушения и их относительные погрешности (вторая КФ).

Графики зависимости погрешности УСМ по моделям от коэффициента перекрытия построены по этим таблицам для первого и второго объектов исследования соответственно:

- рис. 4, 6 – графики зависимости погрешности УСМ по модели от коэффициента перекрытия для первой КФ;
- рис. 5, 7 – графики зависимости погрешности УСМ по модели от коэффициента перекрытия для второй КФ.

По этим графикам можно легко определить оптимальный коэффициент перекрытия для каждой модели. Оптимальным коэффициентом перекрытия для модели является такое минимальное значение K_x , при котором погрешность УСМ ΔQ^* остается очень близкой к нулю, или равной нулю.

Первый объект исследования

Таблица 3

Модель K_x	СГЛМ	КГЛМ	АГЛМ по СГЛМ	АГЛМ по КГЛМ	КГМ по СГЛМ	КГМ по КГЛМ
1	-3.635110E-06	-4.791736E-06	-1.404474E-06	-1.487091E-06	-1.734939E-06	-2.478484E-07
1.1	-2.891565E-06	-3.635110E-06	-8.261610E-08	-3.304646E-07	-4.130807E-07	0.000000E+00
1.2	-1.900171E-06	-2.643717E-06	-8.261610E-08	0.000000E+00	-8.261610E-08	0.000000E+00
1.3	-1.321858E-06	-1.982787E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.4	-5.783130E-07	-1.321858E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.5	-4.956969E-07	-7.435453E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.6	-3.304646E-07	-4.956969E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.7	-1.652323E-07	-4.956969E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.8	-1.652323E-07	-3.304646E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.9	0.000000E+00	-1.652323E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	0.000000E+00	-1.652323E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

Таблица 4

Модель K_x	СГЛМ	КГЛМ	АГЛМ по СГЛМ	АГЛМ по КГЛМ	КГМ по СГЛМ	КГМ по КГЛМ
1	-8.078672E-06	-3.840680E-06	-1.059498E-06	-1.854122E-06	-7.946235E-07	0.000000E+00
1.1	-5.827239E-06	-1.324373E-06	-1.324373E-07	-2.648745E-07	-1.324373E-07	0.000000E+00
1.2	-5.032615E-06	-9.270608E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.3	-3.840680E-06	-2.648745E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.4	-2.913619E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.5	-2.516308E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.6	-1.854122E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.7	-1.456810E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.8	-1.059498E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.9	-9.270608E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	-6.621863E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

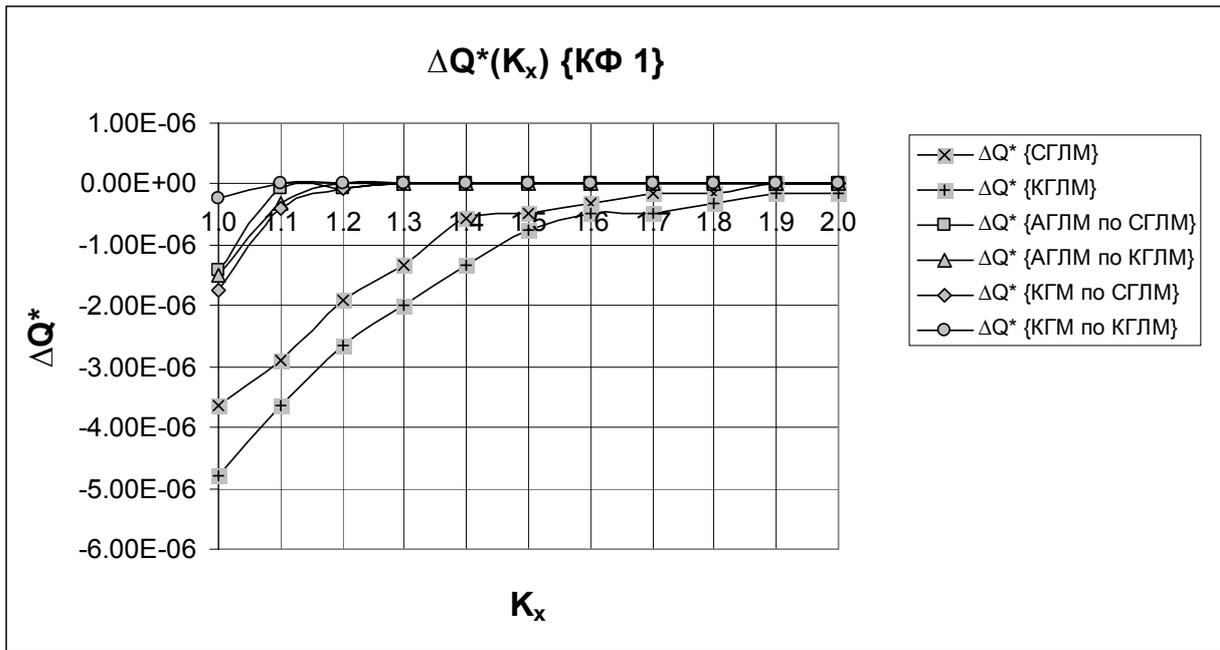


Рис. 4. Зависимости погрешности УСМ от коэффициента перекрытия для первой КФ первого объекта

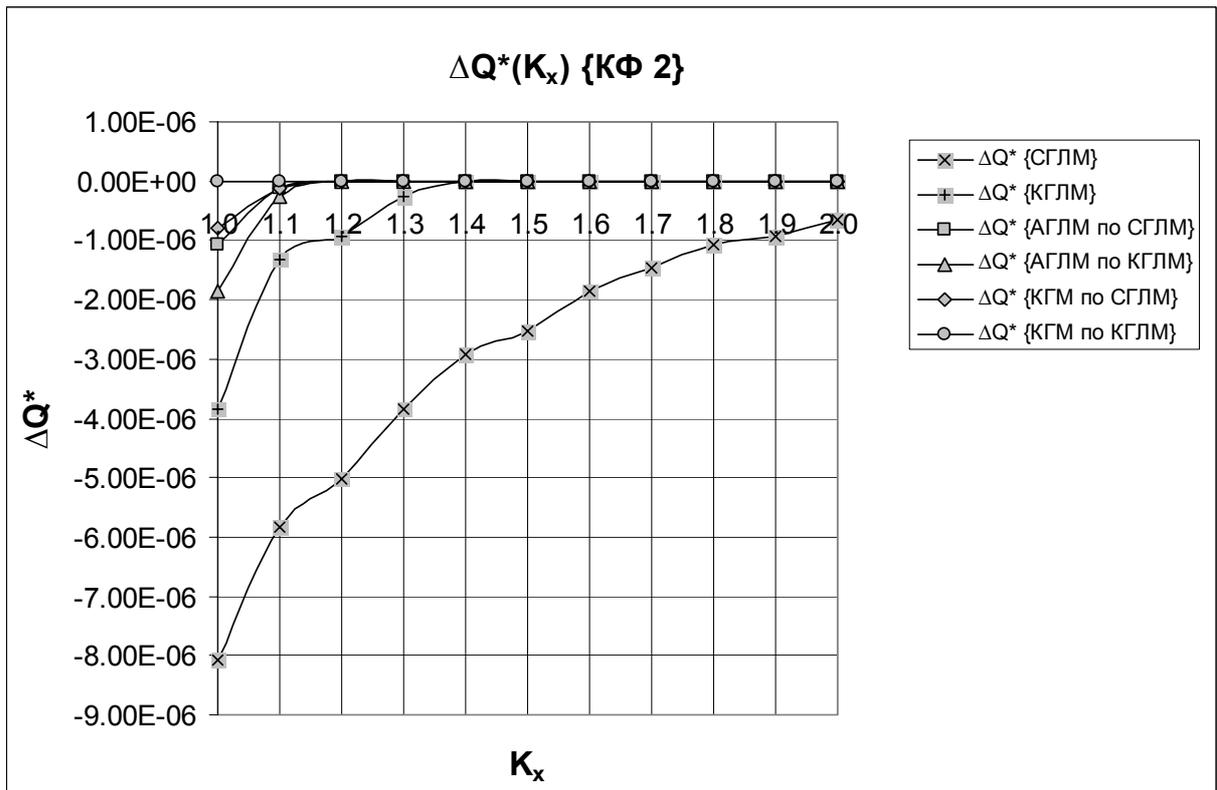


Рис. 5. Зависимости погрешности УСМ от коэффициента перекрытия для второй КФ первого объекта

Второй объект исследования

Таблица 5

Модель K_x	СГЛМ	КГЛМ	АГЛМ по СГЛМ	АГЛМ по КГЛМ	КГМ по СГЛМ	КГМ по КГЛМ
1	-2.752927E-05	-2.919771E-05	-1.167909E-05	-2.168973E-05	-1.585019E-05	-1.251331E-05
1.1	-2.002129E-05	-1.918707E-05	-4.171102E-06	-1.084487E-05	-7.507984E-06	-3.336882E-06
1.2	-1.167909E-05	-1.251331E-05	-1.668441E-06	-2.502662E-06	-4.171102E-06	-8.342210E-07
1.3	-7.507984E-06	-7.507984E-06	-8.342210E-07	0.000000E+00	-2.502662E-06	-8.342210E-07
1.4	-4.171102E-06	-4.171102E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.342210E-07	-8.342210E-07
1.5	-3.336882E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.342210E-07
1.6	-1.668441E-06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.7	-8.342210E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.8	-8.342210E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.9	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

Таблица 6

Модель K_x	СГЛМ	КГЛМ	АГЛМ по СГЛМ	АГЛМ по КГЛМ	КГМ по СГЛМ	КГМ по КГЛМ
1	-3.273130E-06	-3.208951E-06	-8.985064E-07	-1.797013E-06	-5.134322E-07	-3.850742E-07
1.1	-1.989550E-06	-2.246266E-06	-1.925371E-07	-8.343274E-07	0.000000E+00	-6.417910E-08
1.2	-1.347760E-06	-1.476118E-06	-6.417910E-08	-1.283581E-07	0.000000E+00	0.000000E+00
1.3	-8.985064E-07	-1.091043E-06	0.000000E+00	-1.283581E-07	0.000000E+00	0.000000E+00
1.4	-6.417903E-07	-6.417903E-07	0.000000E+00	-6.417910E-08	0.000000E+00	0.000000E+00
1.5	-5.776113E-07	-3.208952E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.6	-5.134322E-07	-1.283581E-07	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.7	-4.492532E-07	-6.417910E-08	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.8	-1.283581E-07	-6.417910E-08	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
1.9	-6.417910E-08	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	-6.417910E-08	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

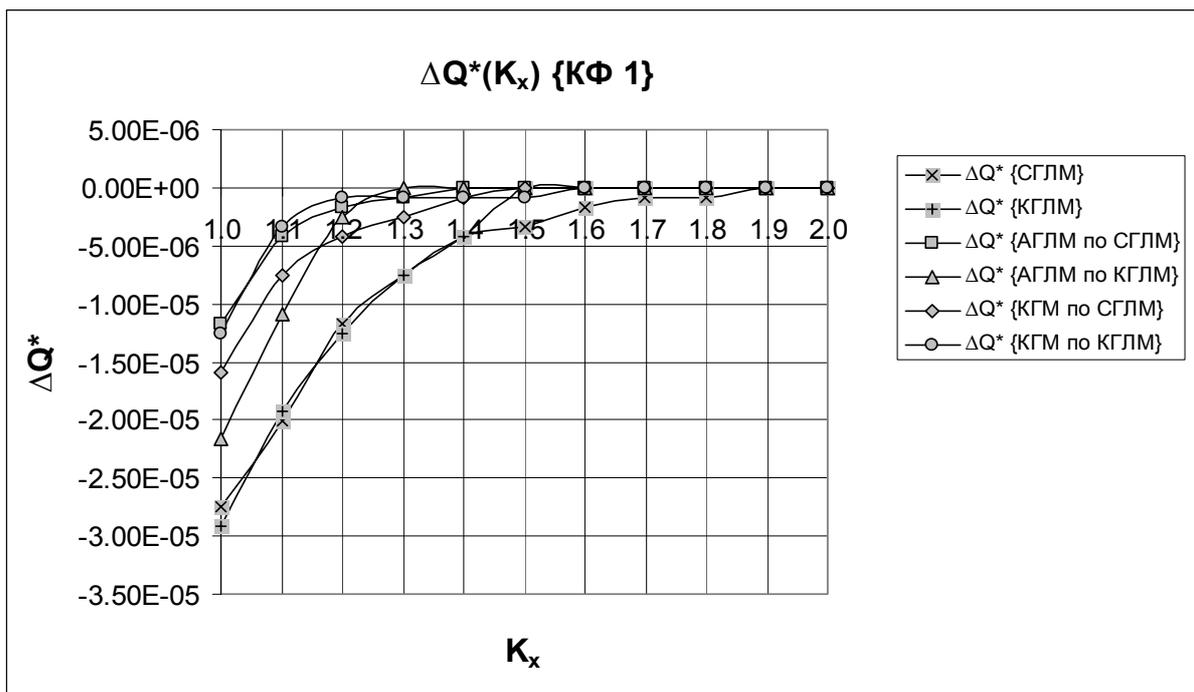


Рис. 6. Зависимости погрешности УСМ от коэффициента перекрытия для первой КФ второго объекта

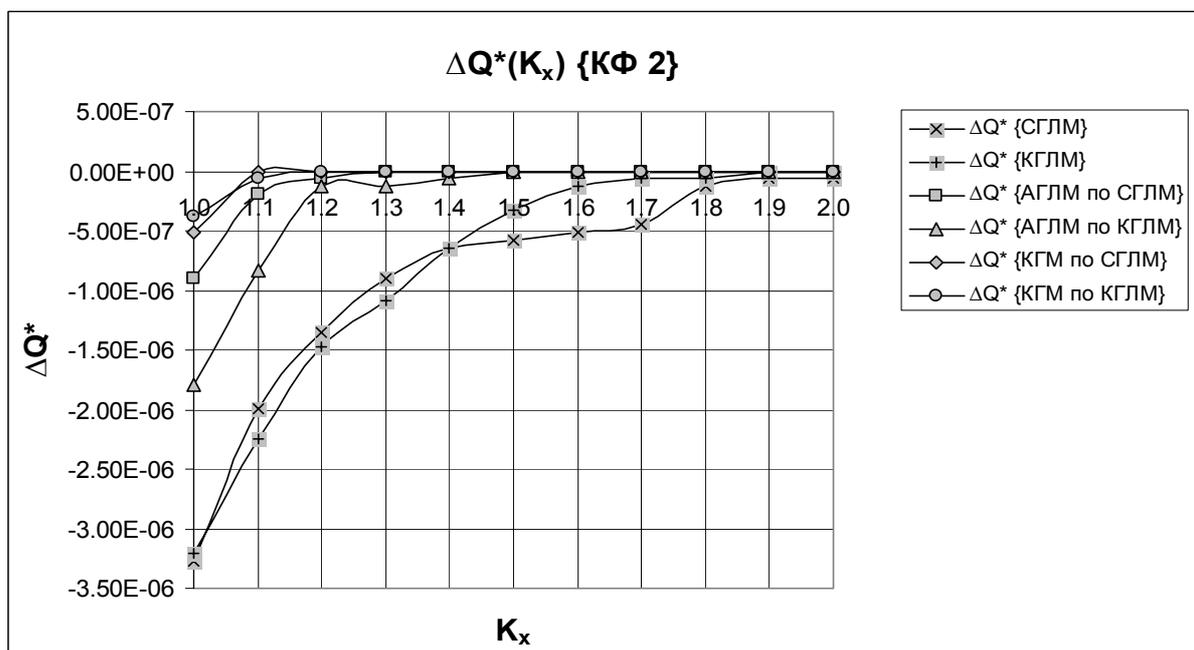


Рис. 7. Зависимости погрешности УСМ от коэффициента перекрытия для второй КФ второго объекта

Выводы

Анализ результатов исследований, проведенных в данной работе и представленных в табл. 3 - 6 и на рис. 4 - 7, позволяет сделать следующие выводы:

1. Все ГЛМ дают приемлемую для инженерных приложений погрешность оценки вероятности нарушения условий целостности и допустимой деформации с помощью УСМ.
2. Минимального коэффициента перекрытия и, следовательно, минимальных затрат машинных ресурсов удается достичь при использовании квадратичной граничной модели; аппроксимирующая граничная линейная модель также позволяет использовать небольшие коэффициенты перекрытия.

Рекомендации

Для получения с приемлемой точностью оценок вероятности превышения допустимых границ при решении прочностных задач с помощью УСМ для сложных объектов с множеством случайных параметров наиболее рационально с точки зрения затрат машинных ресурсов использовать квадратичные граничные модели КФ, построенные на основе СГЛМ и КГЛМ. При этом можно значительно снизить объем реального моделирования по объекту. Использование аппроксимирующих граничных линейных моделей на основе СГЛМ и КГЛМ также позволяет снизить объем реального моделирования в среднем в 1.5 раза по сравнению с моделями СГЛМ и КГЛМ.

Список литературы

1. Сухоребрый В.Г., Стерлева А.С. Оценка вероятности разрушения пластины с отверстием// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: НАКУ «ХАИ». – 2004. – Вып. 23. - С. – 59 - 62.
2. Сухоребрый В.Г., Стерлева А.С. Оценка качества граничных моделей для определения вероятности разрушения конструкции// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: НАКУ «ХАИ». – 2004. – Вып. 24. - С. 242 - 249.
3. Сухоребрый В.Г., Шевцова М.А. Эффективные методы оценки вероятности разрушения самолетных конструкций.//Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. - Х.: ХАИ. – 1998. – Вып. 12. - С.53 - 60.
4. Лежнина М.В., Сухоребрый В.Г. Алгоритмы построения граничных линейных моделей критериальных функций для оценки вероятности работоспособности объектов аэрокосмической техники// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: НАКУ «ХАИ». – 2002. – Вып. 12. - С. 63 - 74.
5. Сухоребрый В.Г. Статистические модели разрушения конструкций// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: ХАИ. – 2001. – Вып. 10. - С. 89 - 95.
6. Сухоребрый В.Г., Айзенберг Е.Я. Ускоренное статистическое моделирование для оценки вероятности устойчивости динамических систем со случайными параметрами // Математическое моделирование динамических процессов в системах с жидкостью. – К.: ИМ АН УССР. – 1988. – С. 128 - 136.
7. Сухоребрый В.Г. Оценка вероятности работоспособности технических объектов с помощью ускоренного статистического моделирования// Авиационно-космическая техника и технология. - Х.: ХАИ. – 2000. – Вып. 19. - С. 215 - 218.

Методика определения влияния фреттинг–коррозии на усталостную долговечность гладких конструктивных элементов из титанового сплава ВТ6

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

В работах [1 - 4] отмечено, что сопротивление усталости конструктивных элементов в условиях фреттинга зависит от величины контактных давлений σ_k , амплитуды относительных перемещений a , сочетания материалов в контактной паре. Авторами исследовано сопротивление фреттинг–усталости конструктивных элементов из алюминиевых сплавов [5], сталей [4, 7] и титанового сплава ВТ8 [3], применяемых в конструкции лопаток газотурбинных двигателей.

Анализ литературных источников показал, что в конструкции самолетов титановые сплавы чаще всего контактируют со сталями и алюминиевыми сплавами. Для соединения титановых силовых элементов используются стальные и титановые болты и шайбы.

В работе [3] разработана методика исследования фреттинг-усталости замковых соединений лопаток газотурбинных двигателей. Влияние фреттинг-коррозии на предел выносливости материала лопаток проведено с помощью эффективного коэффициента концентрации напряжений.

В работе [6] влияние фреттинг-коррозии на усталостную долговечность алюминиевых сплавов учитывается уменьшением амплитуды циклических напряжений, величиной контактных давлений и числом циклов до разрушения рассматриваемых конструктивных элементов.

Усталостные характеристики в условиях фреттинг–коррозии для титанового сплава ВТ6, применяемого в силовых конструкциях планера самолета, в открытой технической литературе не обнаружены.

Целью данной статьи является разработка методики определения влияния фреттинг-коррозии на усталостную долговечность плоских образцов (влияние величины контактных давлений σ_k , амплитуды относительных перемещений a деталей, сочетания материалов в контактной паре на усталостную долговечность гладкой полосы).

Учитывая результаты исследований влияния фреттинг-коррозии на усталостную долговечность конструктивных элементов, изложенные в работах [1 - 4, 6], разработана методика определения влияния фреттинг-коррозии на характеристики сопротивления гладких конструктивных элементов из сплава ВТ6, которая включает в себя:

1. Анализ конструктивно-технологических параметров сборных конструкций, выполняемых с применением силовых элементов из сплава ВТ6.
2. Разработку и изготовление типовых моделей гладкого образца для исследования характеристик сопротивления усталости сплава ВТ6; экспериментальное исследование характеристик сопротивления усталости плоских образцов из сплава ВТ6, разработку аналитических уравнений

- кривых усталости по результатам испытаний.
3. Разработку, изготовление образцов и приспособлений для испытания простых образцов из сплава ВТ6 для их испытаний при совместном действии циклических нагрузок контактных давлений и изменении величины микросмещений контактируемых элементов.
 4. Экспериментальное исследование характеристик сопротивления усталости гладких образцов из сплава ВТ6 в условиях совместного действия циклических нагрузок и фреттинг-коррозии; определение эффективных коэффициентов концентрации напряжений и разработку аналитических уравнений кривых усталости для прогнозирования долговечности сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии.
 5. Разработку конструктивно-технологических методов, снижающих негативное влияние фреттинг-коррозии на долговечность конструктивных элементов из сплава ВТ6.

Реализация предлагаемой методики проведена на примере исследования влияния фреттинг-коррозии на характеристики усталости гладких конструктивных элементов из сплава ВТ6, находящихся в контактном взаимодействии с шайбами, для типовых крепежных элементов.

Усталостные испытания проведены на воздухе при температуре 15 С на образцах гладкой полосы шириной 25 мм и толщиной 5 мм (рис. 1), изготовленных фрезерованием по контуру из листа титанового сплава ВТ6 толщиной 5 мм в состоянии поставки.

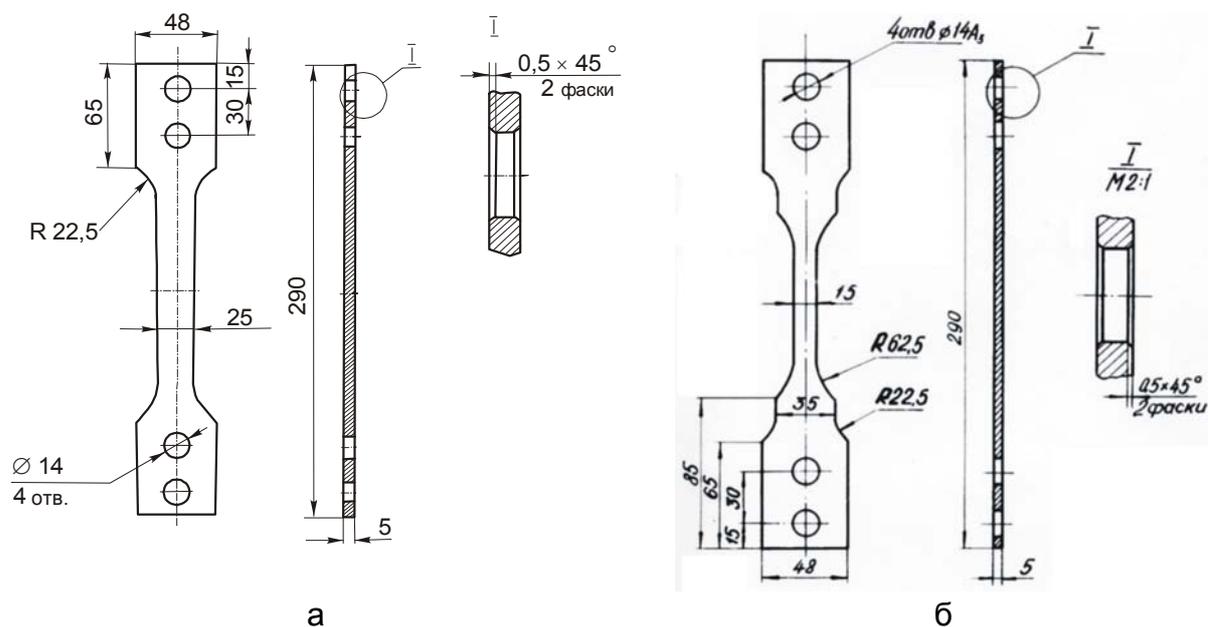


Рис.1. Образцы гладкой полосы для исследования усталости:
а - в условиях фреттинг-коррозии; б) - без фреттинг-коррозии

Моделирование действия факторов, определяющих интенсивность фреттинг-коррозии осуществлялось при помощи приспособлений (рис. 2 и 3), позволяющих прижимать к испытываемому образцу шайбы размером 1,5 – 10 – 20 мм. из различных материалов.

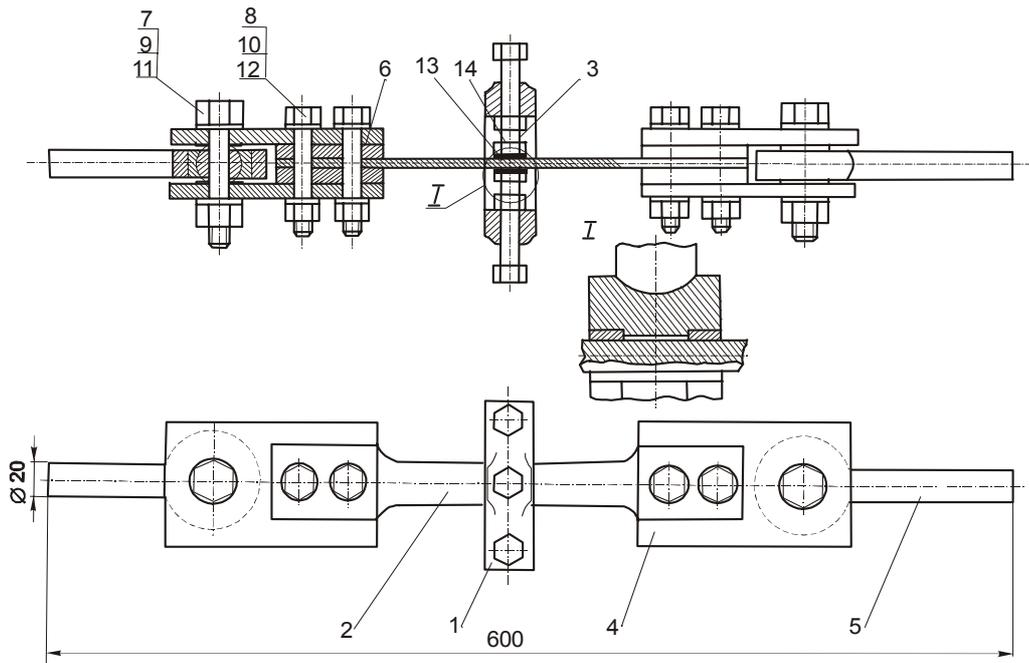


Рис. 2. Образец и приспособление для исследования влияния величины контактных давлений и сочетания материалов в контактной паре на выносливость гладкой полосы в условиях фреттинг-коррозии:

- 1 – скоба; 2 – образец; 3 – прижимной болт; 4 – пластина; 5 – проушина-захват; 6 – прокладка; 7 – 12 – крепежные детали; 13 – шайба; 14 – прижим

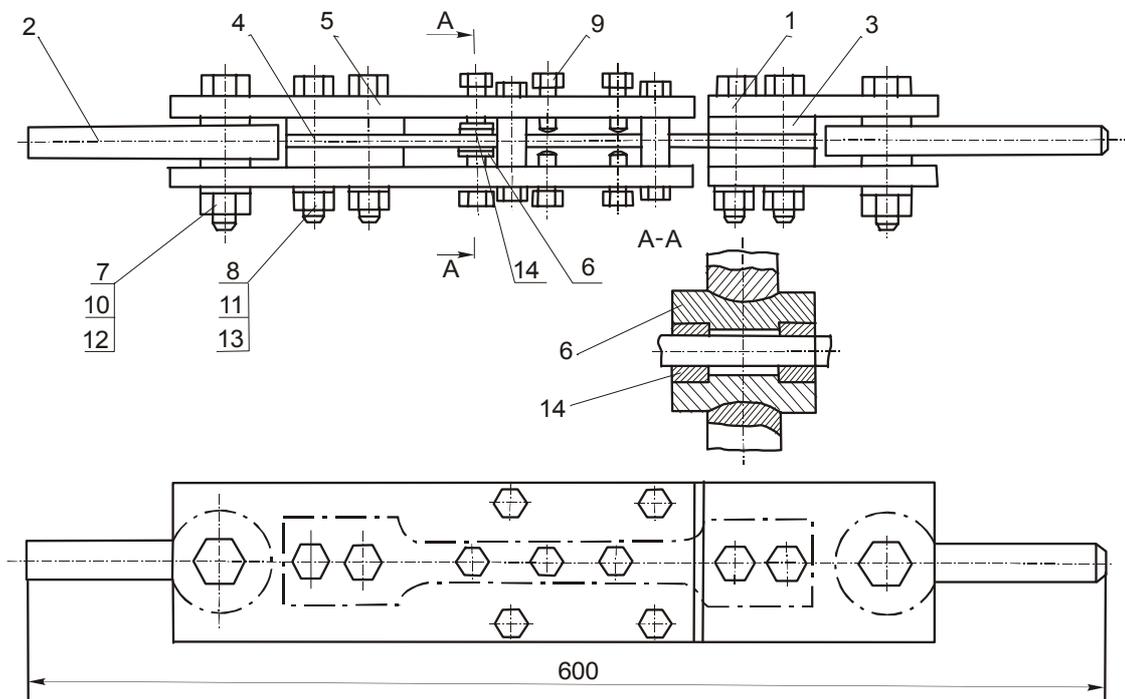


Рис. 3. Приспособление для исследования влияния амплитуды относительных перемещений на выносливость гладкой полосы в условиях фреттинг-коррозии:

- 1 – пластина; 2 – проушина-захват; 3 – прокладка; 4 – образец гладкой полосы; 5 – накладка приспособления; 6 – прижим; 7 – 13 – крепежные детали; 14 - шайба

Величину контактного давления между шайбой и образцом изменяли от 0 до 106 МПа, а амплитуду относительных перемещений – от 0,01 до 0,225 мм. Влияние сочетания материалов в контактной паре и защитного покрытия шайбы на выносливость образцов гладкой полосы исследовано для трех материалов шайб: кадмированной стали 30ХГСА, титанового сплава ВТ3-1, оксидированного и покрытого грунтом АК-069 алюминиевого сплава Д16АТ.

Усталостное разрушение образцов в условиях фреттинг-коррозии происходило по наружной границе зоны контакта шайбы с полосой (рис. 4, 5, 6).



Рис. 4. Характер усталостного разрушения гладкой полосы из сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии

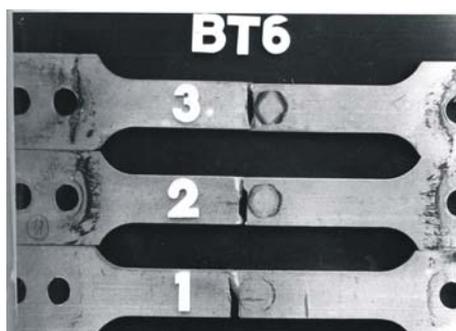


Рис. 5. Характер усталостного разрушения гладкой полосы из сплава ВТ6 при различном сочетании материалов в контактной паре:
1 – шайба из ВТ3-1; 2 – кадмированная шайба из 30 ХГСА; 3 – оксидированная шайба из Д16АТ

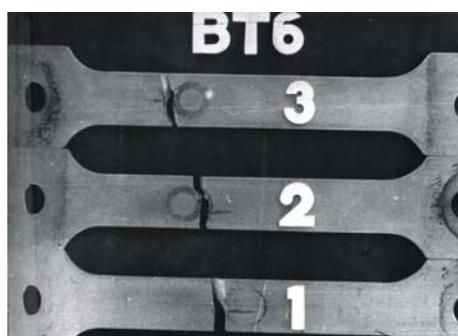


Рис. 6. Характер усталостного разрушения гладкой полосы из сплава ВТ6 при контакте с шайбами из сплава ВТ3–1 при различных величинах амплитуды относительных перемещений:
1 – база перемещений $L=10$ мм; 2 – $L=65$ мм; 3 – $L=115$ мм

На рис. 7 приведены результаты испытаний на усталость образцов при различных контактных давлениях между шайбой и полосой. Кривая усталости гладкого образца без фреттинг-коррозии (рис. 7, кривая 1) получена в работе [8]. Для всех вариантов испытаний в условиях фреттинг-коррозии характерен перелом линий усталости, построенных в двойных логарифмических координатах ($\lg \sigma_{\max}$, $\lg N$), что подтверждают положения, изложенные в работе [4], о различных механизмах разрушения на двух участках кривой усталости в условиях фреттинг-коррозии.

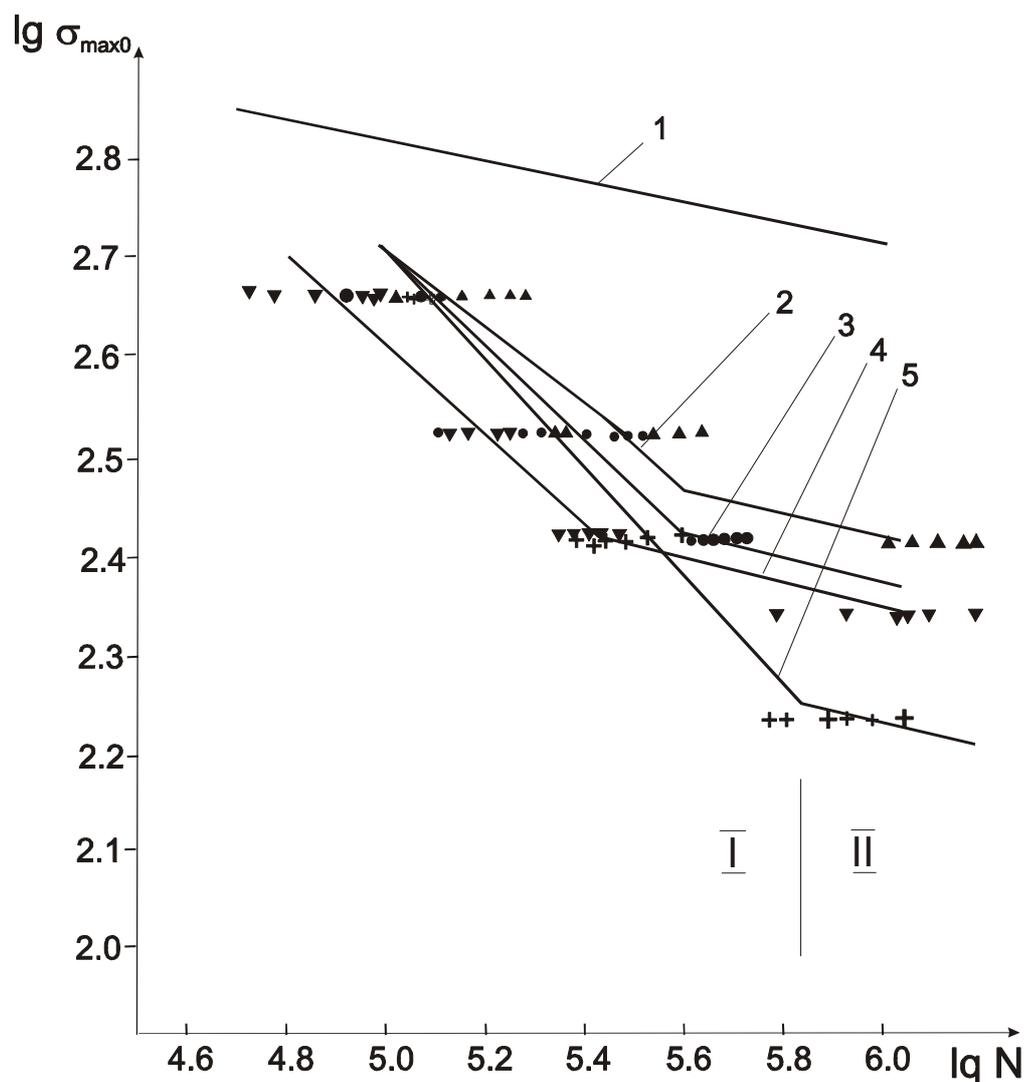


Рис. 7. Результаты усталостных испытаний гладкой полосы из сплава ВТ6 при различном сочетании материалов в контактной паре и различной величине контактных давлений

1 – кривая усталости сплава ВТ6; 2, 3, 4, 5 – кривые усталости сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии;

2 - Д16АТ, $\sigma_k = 106$ МПа; 3 - 30ХГСА, $\sigma_k = 106$ МПа; 4 - ВТ3-1, $\sigma_k = 106$ МПа

5 - 30ХГСА, $\sigma_k = 82$ МПа; экспериментальные данные: ● - 30ХГСА, $\sigma_k = 106$ МПа;

▲ - Д16АТ, $\sigma_k = 106$ МПа; ▼ - ВТ3-1, $\sigma_k = 106$ МПа; + - 30ХГСА, $\sigma_k = 82$ МПа

На первом участке кривой имеет место большее влияние фреттинга на концентрацию напряжений и усталостную прочность образцов. На втором участке в большей мере процессы трения и изнашивания влияют на усталостную долговечность.

Влияние величины контактных давлений на величину максимальных напряжений отнулевого цикла нагружения при заданном уровне долговечности сплава ВТ6 показано на рис. 8.

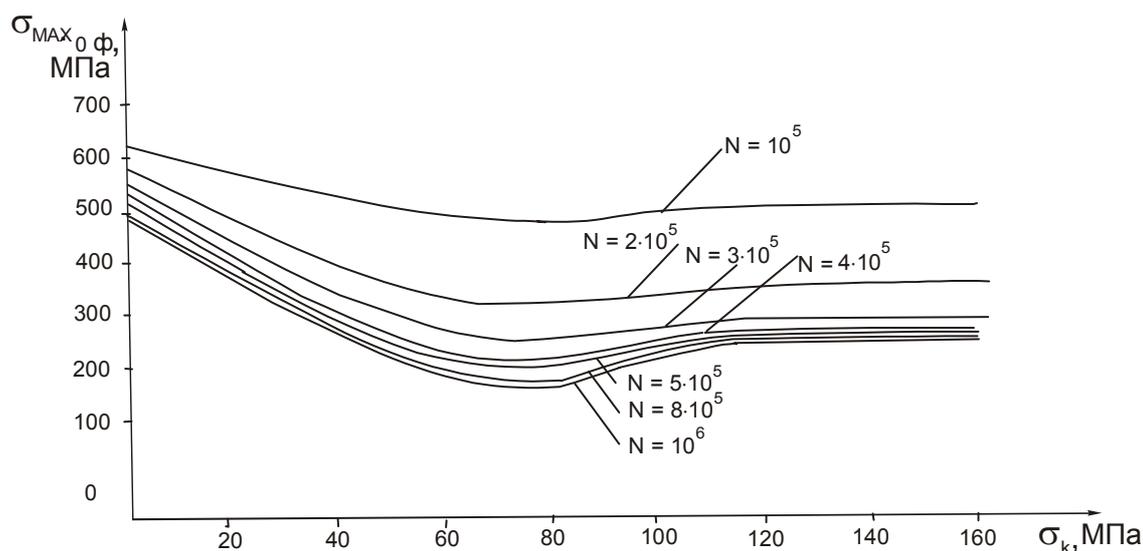


Рис. 8. Влияние величины контактных давлений на предельные максимальные напряжения гладкой полосы

С ростом контактных давлений разрушающее максимальное напряжение отнулевого цикла сначала уменьшается, достигает минимального значения, затем несколько повышается и далее становится постоянным. Малая чувствительность предельного максимального напряжения к изменению контактного давления в области его высоких значений ($\sigma_{\text{к}} > 120$ МПа) объясняется следующим образом. Если контактная нагрузка достаточно велика, то происходит пластическая деформация (смятие) неровностей поверхности и фактическое давление на контактной площадке становится постоянным, которое по величине соответствует примерно утроенному значению предела текучести при растяжении [4].

В диапазоне малоциклового усталости $N < 10^5$ до разрушения фреттинг-коррозия снижает максимальное разрушающее напряжение гладкой полосы в 1,2–1,3 раза в связи с тем, что фреттинг-коррозия еще не успевает развиваться. При более высоких значениях чисел циклов до разрушения $N \rightarrow 10^6$ снижение несущей способности по причине фреттинг-коррозии существенно и достигает четырех раз. Для титановых сплавов характерен диапазон контактных давлений $45 < \sigma_{\text{к}} < 110$ МПа, в котором фреттинг-коррозия имеет наиболее высокое повреждающее влияние.

На рис. 9 приведены кривые усталости, полученные после обработки результатов испытаний (см. рис. 7) по методике, изложенной в работе [3].

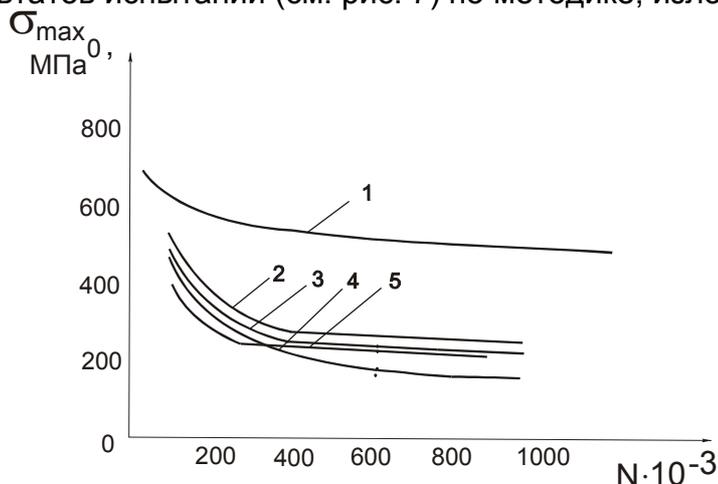


Рис. 9. Кривые выносливости сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии:
 1 – сплав ВТ6 без фреттинг-коррозии, $\sigma_{\max_0} = 1993N^{-0,101}$; 2 – ВТ6+Д16АТ, $\sigma_k = 106$ МПа; 3 – ВТ6+30ХГСА, $\sigma_k = 106$ МПа; 4 – ВТ6+30ХГСА, $\sigma_k = 82$ МПа; 5 – ВТ6+ВТ3 – 1, $\sigma_k = 106$ МПа

Параметры кривых усталости ($\sigma_{\max_{0\text{фр}}}^m \cdot N = C$) приведены в табл. 1. Значения показателя степени m и константы C определены в процессе регрессионного анализа результатов испытаний образцов на усталость.

Таблица 1

Участок I					
Сочетание материалов в контактной паре	σ_k , МПа	m	C	$\sigma_{\max_{0\text{фр}}}$	N
ВТ6 + Д16АТ	106	2,15615	$7,61815 \cdot 10^{10}$	$111402 \cdot N^{-0,46379}$	$60000 \leq N$ $N < 400000$
ВТ6 + 30ХГСА	106	2,10717	$4,71826 \cdot 10^{10}$	$116267 \cdot N^{-0,47457}$	$60000 \leq N$ $N < 400000$
ВТ6 + 30ХГСА	82	1,89215	$1,14782 \cdot 10^{10}$	$207321 \cdot N^{-0,5285}$	$60000 \leq N$ $N < 680000$
ВТ6 + ВТ3 -1	106	2,09996	$2,98452 \cdot 10^{10}$	$97305 \cdot N^{-0,4762}$	$60000 \leq N$ $N < 260000$
Участок II					
ВТ6 + Д16АТ	106	8,54701	$3,46665 \cdot 10^{26}$	$1274 \cdot N^{-0,117}$	$400000 \leq N$ $N < 2 \cdot 10^6$
ВТ6 + 30ХГСА	106	8,00000	$7,25092 \cdot 10^{24}$	$1281 \cdot N^{-0,125}$	$400000 \leq N$ $N < 2 \cdot 10^6$
ВТ6 + 30ХГСА	82	9,09091	$1,33776 \cdot 10^{26}$	$748 \cdot N^{-0,11}$	$68000 \leq N$ $N < 2 \cdot 10^6$
ВТ6 + ВТ3 -1	106	7,91766	$2,99207 \cdot 10^{24}$	$1234 \cdot N^{-0,1263}$	$260000 \leq N$ $N < 2 \cdot 10^6$

Влияние амплитуды относительных перемещений в контактной паре исследовано при помощи приспособлений (см. рис. 3). Возрастание величины амплитуды относительных перемещений обеспечивалось прижатием шайбы на различных расстояниях от заделки $L=10; 65; 115$ мм.

Усталостные испытания проведены для сочетания материалов ВТ6+ВТ3-1 при контактном давлении $\sigma_k = 106$ МПа.

На рис. 10 представлены результаты испытаний на усталость образцов при различных значениях амплитуды перемещений в контактных парах. По результатам испытаний получены уравнения и построены кривые выносливости гладких образцов из сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии. Параметры кривых приведены в табл. 2.

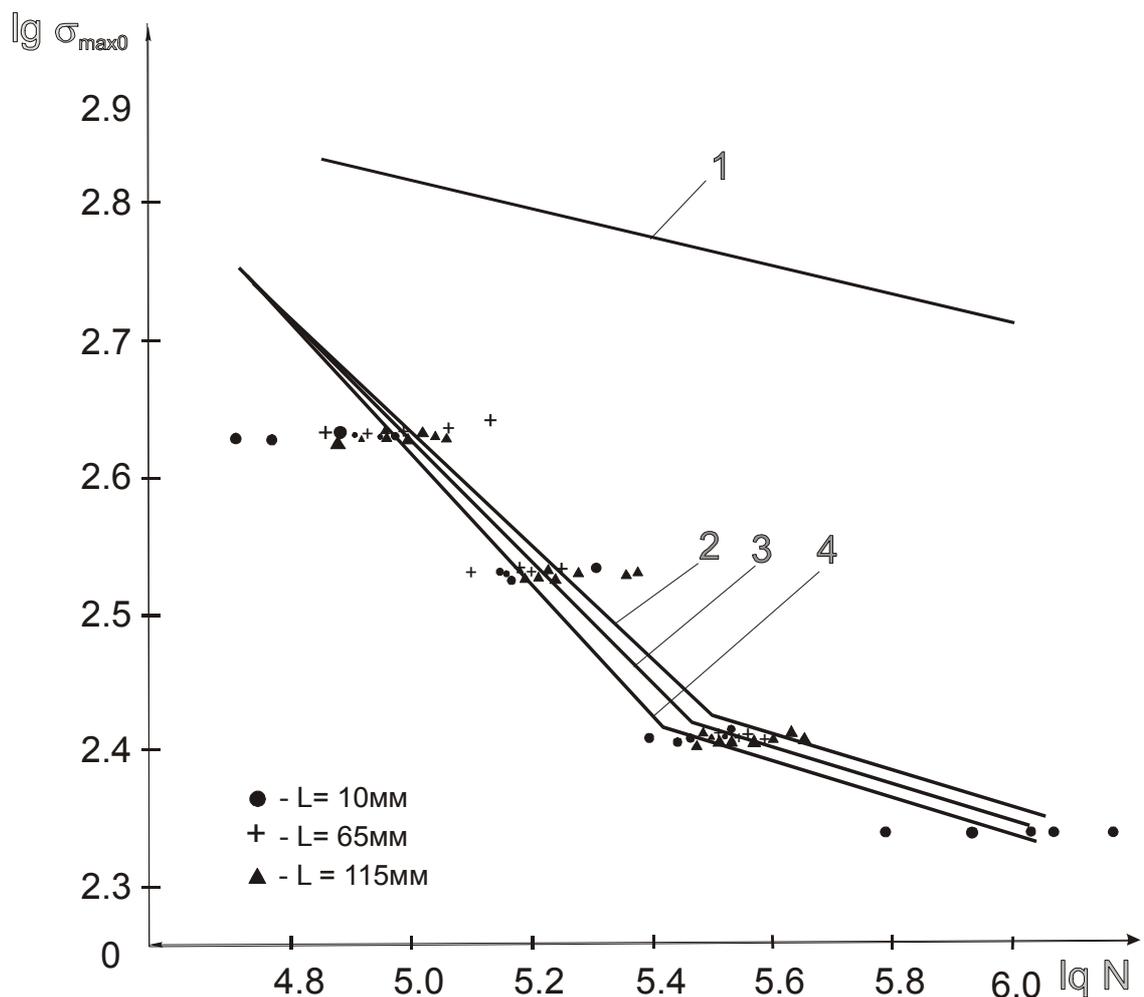


Рис. 10. Результаты усталостных испытаний гладкой полосы из сплава ВТ6 при различных расстояниях от заделки до исследуемой зоны интенсивной фреттинг-коррозии:

1 – кривая усталости сплава ВТ6: $\sigma_{\max 0} = 1993N^{-0.101}$; 2, 3, 4 – линии регрессии;

2 – $L=115$ мм; 3 – $L=65$ мм; 4 – $L=10$ мм

Таблица 2

Участок I					
Расстояние до заделки L, мм	σ_K , МПа	m	c	$\sigma_{\max_{0фр}}$	N
10	106	2,09996	$2,98452 \cdot 10^{10}$	$97305 \cdot N^{-0,4762}$	$60000 \leq N \leq 260000$
65	106	2,1725	$4,8964 \cdot 10^{10}$	$83282 \cdot N^{-0,4603}$	$60000 \leq N \leq 290000$
115	106	2,25175	$8,5015 \cdot 10^{10}$	$71415 \cdot N^{-0,4441}$	$60000 \leq N \leq 320000$
Участок II					
10	106	7,91766	$2,99207 \cdot 10^{24}$	$1234 \cdot N^{-0,1263}$	$260000 < N \leq 2 \cdot 10^6$
65	106	7,66871	$8,23396 \cdot 10^{29}$	$1314 \cdot N^{-0,1304}$	$290000 < N \leq 2 \cdot 10^6$
115	106	7,5075	$4,09813 \cdot 10^{23}$	$1397 \cdot N^{-0,1332}$	$320000 < N \leq 2 \cdot 10^6$

На рис. 11 показано влияние амплитуды проскальзывания на величину предельных максимальных напряжений гладкой полосы из сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии. Установлено, что в исследованном диапазоне амплитуд относительных перемещений в контактной паре усталостная прочность титанового сплава ВТ6 изменяется незначительно. Увеличение амплитуды перемещений в 11,7 раз приводит к изменению $\sigma_{\max_{0ф}}$ на 4,4%.

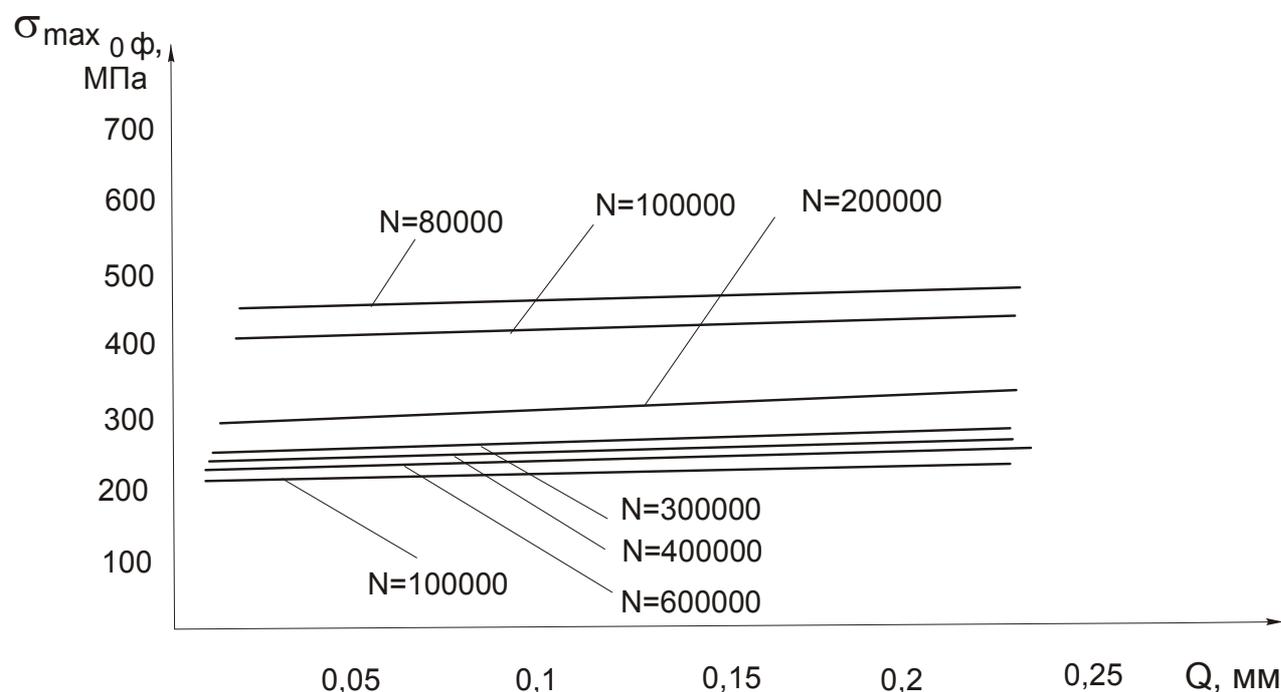


Рис. 11. Влияние амплитуды проскальзывания на величину предельных максимальных напряжений гладкой полосы из сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии

На рис. 12 показано влияние амплитуды проскальзывания в контактной паре на выносливость гладкой полосы из сплава ВТ6. Минимальные значения амплитуды перемещений характерны для деталей болтового соединения. В исследованном диапазоне влияние амплитуды перемещений на долговечность полосы незначительно. При $\sigma_{\max_{0ф}} = 250$ МПа увеличение a от 0,008 до 0,18 мм приводит к повышению долговечности полосы на 24%. При $\sigma_{\max_{0ф}} = 334$ МПа выносливость возрастает на 18%, а при $\sigma_{\max_{0ф}} = 416$ МПа – на 13%.

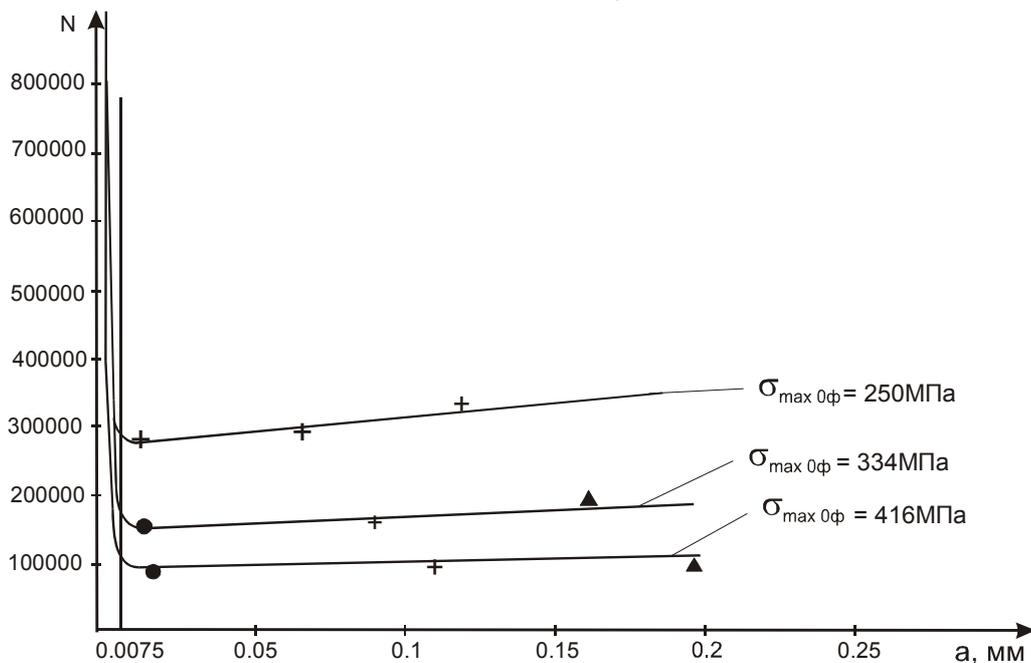


Рис. 12. Влияние амплитуды проскальзывания на выносливость гладкой полосы:

Эксперимент: ● - $l = 10$ мм; + - $l = 65$ мм; ▲ - $l = 115$ мм

Степень влияния величины контактных давлений и сочетания материалов в контактной паре на несущую способность гладких образцов полосы из сплава ВТ6 в условиях фреттинг-усталости оценивалось величиной эффективного коэффициента концентрации напряжений, показывающего снижение несущей способности материала при фреттинг-коррозии ($K_{\sigma_{ф}}$):

$$K_{\sigma_{ф}} = \frac{\sigma_{\max_0}}{\sigma_{\max_{0ф}}},$$

где σ_{\max_0} - максимальные напряжения для гладкой полосы при числе циклов до разрушения N_i , вычисленные по формуле $\sigma_{\max_0} = 1993N^{-0,101}$ [8];

$\sigma_{\max_{0ф}}$ - максимальные напряжения для гладкой полосы в условиях фреттинг-коррозии при том же числе циклов до разрушения N_i .

Для исследованных сочетаний материалов и давлений в контактной паре получены формулы для расчета $K_{\sigma_{ф}}$, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Сочетание материалов в контактной паре	σ_k , МПа	$K_{\sigma\phi}$, I участок	$K_{\sigma\phi}$, II участок
BT6 + Д16АГ	106	$0,01789N^{0,3628}, N \in [6 \cdot 10^4, 4 \cdot 10^5]$	$1,564N^{0,016}, N \in [4 \cdot 10^5, 10^6]$
BT6 + 30ХГСА	106	$0,01714N^{0,3736}, N \in [6 \cdot 10^4, 4 \cdot 10^5]$	$1,556N^{0,024}, N \in [4 \cdot 10^5, 10^6]$
BT6 + BT3-1	106	$0,02048N^{0,3752}, N \in [6 \cdot 10^4, 2,6 \cdot 10^5]$	$1,616N^{0,0253}, N \in [2,6 \cdot 10^5, 10^6]$
BT6+ 30ХГСА	82	$0,009613N^{0,4575}, N \in [6 \cdot 10^4, 6,8 \cdot 10^5]$	$2,664N^{0,009}, N \in [6,8 \cdot 10^5, 10^6]$

На рис. 13 приведены зависимости эффективного коэффициента концентрации напряжений от числа циклов до разрушения. Менее всего фреттинг-коррозия снижает несущую способность полосы из сплава BT6 в контакте с шайбой из сплава Д16АТ при $\sigma_k = 106$ МПа, $K_{\sigma\phi} < 2,0$. Наиболее значительное снижение усталостной прочности - для контактной пары BT6+BT3-1 при $\sigma_k = 106$ МПа, $K_{\sigma\phi} \leq 2,3$ (рис. 13, кривая 4). Уменьшение давления в контактной паре BT6+30ХГСА от 106 до 82 МПа привело к возрастанию величины $K_{\sigma\phi} \leq 2,1$ до $K_{\sigma\phi} \leq 3,0$ (рис. 13, кривая 3).

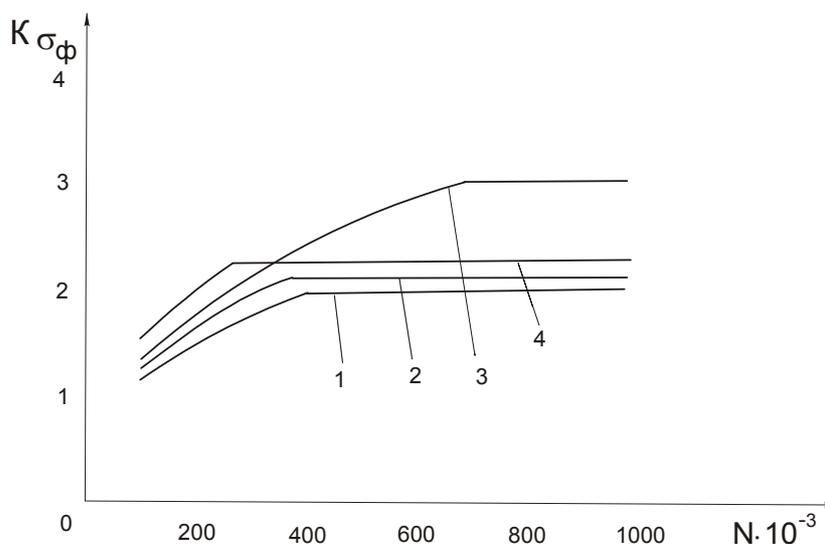


Рис. 13. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений для гладкой полосы в условиях фреттинг-коррозии:

1 - BT6+Д16АТ, $\sigma_k = 106$ МПа; 2 - BT6+30ХГСА, $\sigma_k = 106$ МПа; 3 - BT6+30ХГСА, $\sigma_k = 82$ МПа; 4 - BT6+BT3-1, $\sigma_k = 106$ МПа

Выводы

1. Разработана и экспериментально апробирована методика определения влияния фреттинг-коррозии на усталостную долговечность гладких конструктивных элементов из титанового сплава BT6.

2. Контактные давления $\sigma_k = 82$ МПа снижают усталостную прочность титанового сплава ВТ6 в 3 раза ($K_{\sigma_\phi} \leq 3$). С увеличением контактных давлений до $\sigma_k = 106$ МПа повреждающее влияние фреттинг-коррозии несколько уменьшается, что приводит к увеличению усталостной прочности ВТ6. В этом случае эффективный коэффициент концентрации в этом случае $K_{\sigma_\phi} \leq 2,3$.
3. Сочетание в контактной паре титановой полосы из сплава ВТ6 и ненагруженного контактирующего элемента из алюминиевого сплава Д16АТ обеспечивает максимальную выносливость титанового сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии. Применение в контактной паре с ВТ6 стали 30ХГСА и титанового сплава ВТ3-1 приводит к снижению усталостной прочности ($K_{\sigma_\phi} < 2,13$ и $K_{\sigma_\phi} < 2,3$ соответственно).
4. Увеличение амплитуды относительных перемещений от величин, характерных для болтовых соединений $a \in [0,009; 0,019]$ мм, приводит к увеличению предельных максимальных напряжений в 12 раз.
5. Изменение величины амплитуды относительных перемещений от 0,009 до 0,019 мм оказывает незначительное влияние на изменение выносливости сплава ВТ6. При числах циклов до разрушения $N < 100000$ изменение амплитуды перемещений не оказывает влияния на выносливость. При больших значениях N увеличение амплитуды приводит к возрастанию выносливости сплава ВТ6 до 1,3 раза.
6. Получены аналитические выражения для расчета эффективных коэффициентов концентрации напряжений, позволяющие оценить влияние конструктивно-технологических факторов на фреттинг-коррозию и усталостную долговечность титанового сплава ВТ6.

Список литературы

1. Голего Н.Л., Алябьев А.Л., Шевеля В.В. Фреттинг-коррозия металлов. – К.: Техніка, 1974. - 270 с.
2. Уотерхауз Р.Б. Фреттинг-коррозия. - Л.: Машиностроение, 1976. - 270 с.
3. Конструкционная прочность материалов и деталей ГТД /Балашов Б.Ф., Дульнев Р.А., Захарова Т.П., Козлов Л.А., Петухов А.Н., Сизова Р.Н// Труды ЦИАМ. - №835. 1979. – 522 с.
4. Сосновский Л.А., Махутов Н.А., Шуринов В.А. Фреттинг-усталость: основные закономерности (-Обобщающая статья) // Заводская лаборатория. – 1992. - т. 58. - № 8. - С. 45 - 62.
5. Гребеников А.Г. Методология интегрированного проектирования сборных самолетных конструкций регламентируемой долговечности // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2004. - Вып. 23. - С. 191–199.
6. Гребеников А.Г. Расчет выносливости срезного болтового стыка с учетом фреттинг-коррозии // Вопросы оптимизации тонкостенных силовых конструкций. Х.: «Вища школа» при ХГУ. - 1975. - С. 140–150.
7. Трощенко В.Т., Цыбанев Г.В., Хоцяновский А.О. Определение долговечности сталей при фреттинг-усталости // Пробл. прочности. – 1988. - №6. – С. 3–8.
8. Гребеников А.Г., Клименко В.Н. Сопrotивление усталости титанового сплава ВТ6 // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». 2005.– Вып. 42(3). – С. 37-46.

Решение задачи о возможности опробования тяги двигателя самолета

Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова

Введение. Возможность опробования тяги любого двигателя является важным качеством самолета. Такая проверка работы двигателя осуществляется на стоящем самолете. Чтобы самолет оставался неподвижным, его колеса затормаживаются, а также вводятся ограничения на минимальные значения массы самолета и коэффициента сцепления шин. Требование оперативной проверки работы двигателя исключает применение специальных колодок под колесами, что приводит к необходимости учесть только сцепление шин с поверхностью ВПП. Поскольку без использования колодок реализуемый коэффициент сцепления шин существенно меньше, то появляется возможность их проскальзывания и страгивания самолета. Особенно ощутимо эта проблема проявляется в случае установки двигателей на крыле и обуславливается тем, что при значительном плече расположения двигателя удержать самолет становится все труднее. Человеческий опыт подсказывает, что с увеличением плеча приложения внешней силы уменьшается величина этой силы, при которой начинается страгивание, другими словами, “легче крутить, чем толкать”. Поэтому уже на стадии проектирования необходимо оценивать возможность проверки тяги двигателя самолета. Основная сложность этой задачи заключается в том, что по мере увеличения тяги двигателя силы сухого трения на колесах шасси меняются по величине и по направлению. Это подчеркивает существенную роль вида шасси в данной задаче и, следовательно, указывает на необходимость сравнения допустимых величин тяги двигателя для рассматриваемых вариантов расположения стоек шасси. В ряде случаев этот фактор может оказаться решающим при выборе схемы шасси самолета.

1. Постановка задачи. В общем случае задача о возможности опробования тяги двигателя самолета ставится так. К плоскому телу, лежащему на наклонной плоскости, приложена внешняя сила. В предположении, что во всех опорных точках P_i ($i = 1, 2, \dots, n$) нормальные реакции N_i остаются неизменными и силы сухого трения могут достигать предельных величин $T_i = f_i N_i$, необходимо найти условия страгивания плоского тела.

Задачи о движении механических систем с сухим трением являются актуальными и постоянно привлекают внимание. Отметим замечательные работы профессоров (Киевского) Университета Св. Владимира Николая Николаевича Шиллера [1, 2] и Петра Васильевича Воронца [3], работу Александра Юльевича Ишлинского и его учеников [4], а также одну из последних монографий по данной теме Льва Васильевича Никитина [5]. В 1892 г. на заседании Отделения физических наук Общества любителей естествознания при Московском университете Н.Н. Шиллер изложил решение задачи о равновесии твердого тела при действии трения на некоторую плоскую часть его поверхности [1, 2]. Решение доведено до уравнений предельного равновесия твердого тела. Это сообщение привлекло внимание председательствующего на этом заседании товарища докладчика со студенческих лет Н.Е. Жуковского. В последующем Н.Е. Жуковский обнаружил ряд интересных свойств решения данной задачи [6]. Однако в перечисленных рабо-

тах, в том числе и [7–9], отсутствуют указания на метод получения конкретных результатов. В 2002 г. авторы схематически изложили такой метод [10].

Несколько слов о решении задачи механики. Под решением вовсе не обязательно понимать запись ответа на поставленный вопрос в виде какой-либо формулы. Имеется немало примеров, когда такой явный вид "ответа" не имеет большого практического значения. Академик А.Н. Крылов был убежден, что всегда необходимо рассуждения доводить до конкретного числа на каком-нибудь примере из практической жизни. Это подтверждается как его высказываниями на эту тему, так и стилем его научных работ. Действительно, лишь в случае получения четких указаний можно говорить о решении реальной задачи. Полностью разделяя такой подход к практически важным задачам, под решением следует понимать любой конечный алгоритм, в результате применения которого можно быстро (за приемлемое время) получать ответ с достаточной точностью. Именно о таком решении поставленной задачи о страгивании тела пойдет речь далее. Также на конкретном примере будет продемонстрирован процесс определения сил трения во всех точках опоры тела.

2. Характер поведения системы в поставленной задаче. При малой величине внешней силы по сравнению с возможными силами трения тело находится в покое. По мере увеличения внешней силы, несмотря на то, что тело остается неподвижным, силы трения меняются по величине и по направлению. Задача их нахождения является неразрешимой. При достижении внешней силой определенного значения тело начинает скользить, совершая винтовое движение относительно мгновенного центра вращения плоского тела. Этот момент является ключевым пунктом для решения данной задачи. Действительно, если известен мгновенный центр скоростей рассматриваемого тела, тогда однозначно определены направления движения всех опорных точек и, соответственно, известны величины и направления всех сил трения на опорах. Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо определить положение мгновенного центра скоростей в начале движения тела.

3. Прямой метод решения. Пусть наклонная плоскость π составляет с горизонтальной плоскостью угол α . В точке E тела приложена внешняя сила F^E вдоль плоскости π . С телом связана система координат Czx (рисунок). Ось Cx направлена параллельно линии действия внешней силы F^E , ось Cy — вверх, перпендикулярно плоскости π , ось Cz — вдоль плоскости π , образуя правую систему координат $Cxuz$. Составляющие силы тяжести G вдоль осей системы координат Czx обозначим через G_z и G_x . Эти составляющие силы тяжести создают момент M_y^G относительно точки $E(z^E, x^E)$. Если ось Cx образует угол β с линией наибольшего подъема в плоскости π , то $G_z = -G \sin \alpha \sin \beta$ и $G_x = -G \sin \alpha \cos \beta$.

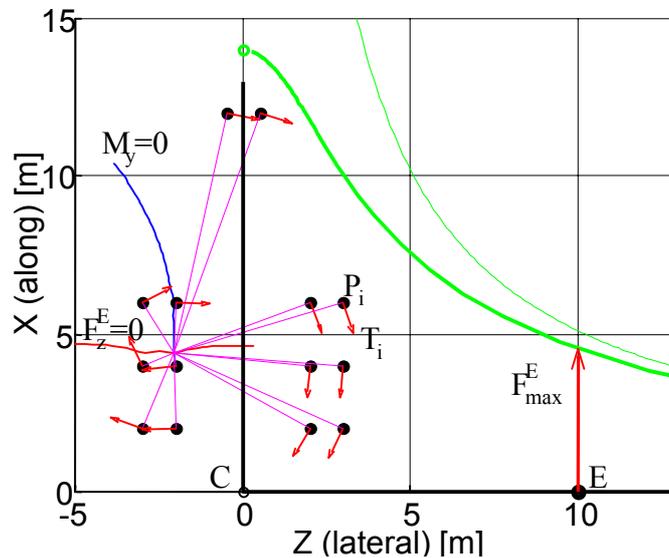
Примем произвольную точку $O(z_0, x_0)$ в плоскости π за мгновенный центр вращения плоского тела. В таком случае известны направления движения опорных точек $P_i(z_i, x_i)$ и силы трения T_i , т. е. их проекции $Z_i(z_0, x_0)$ и $X_i(z_0, x_0)$. Здесь $Z_i(z_0, x_0) = T_i \sin \varphi_i$ и $X_i(z_0, x_0) = -T_i \cos \varphi_i$, где φ_i — угол между осью Cz и радиус-вектором OP_i , длина которого $\rho_i(z_0, x_0) = \sqrt{(z_i - z_0)^2 + (x_i - x_0)^2}$. Поэтому $\sin \varphi_i = (x_i - x_0)/\rho_i$ и $\cos \varphi_i = (z_i - z_0)/\rho_i$. Относительно оси, перпендикулярной плоскости π и проходящей через точку E , сила трения T_i в опорной точке P_i соз-

дает момент. Этот момент $M_i = -T_i [(z_i - z^E)(z_i - z_0) + (x_i - x^E)(x_i - x_0)] / \rho_i(z_0, x_0)$. В результате из уравнений равновесия определяются момент $M_y(z_0, x_0)$, и составляющие внешней силы $F_z^E(z_0, x_0)$, $F_x^E(z_0, x_0)$, которые необходимо приложить к телу в точке $E(z^E, x^E)$, чтобы уравновесить силы трения. Уравнения равновесия в предельном случае, когда возможно как состояние покоя плоского тела, так и его движение, имеют вид:

$$F_z^E(z_0, x_0) + G_z + \sum_{i=1}^n T_i (x_i - x_0) / \rho_i(z_0, x_0) = 0, \quad (1)$$

$$M_y(z_0, x_0) + M_y^G - \sum_{i=1}^n T_i [(z_i - z^E)(z_i - z_0) + (x_i - x^E)(x_i - x_0)] / \rho_i(z_0, x_0) = 0, \quad (2)$$

$$F_x^E(z_0, x_0) + G_x - \sum_{i=1}^n T_i (z_i - z_0) / \rho_i(z_0, x_0) = 0. \quad (3)$$



Соотношение (1) при $F_z^E(z_0, x_0) = 0$ определяет множество таких мгновенных центров вращения, что для уравновешивания плоского тела не требуется поперечной составляющей силы в точке E . Соотношение (2) при $M_y(z_0, x_0) = 0$ определяет множество таких мгновенных центров вращения, что для уравновешивания плоского тела не требуется момента M_y . Вообще говоря, решение системы уравнений (1) и (2) дает искомым мгновенный центр вращения $O^*(z_0^*, x_0^*)$. После этого из уравнения (3) определяется критическое значение $F_x^{E*} = F_x^E(z_0^*, x_0^*)$, т. е. величина предельной силы в точке E , при которой возможно как состояние покоя плоского тела, так и его движение.

Фактически мы имеем систему трех нелинейных уравнений, в которой первые два уравнения решаются независимо от третьего. Выделенные нами два уравнения, как правило, невозможно аналитически разрешить относительно неизвестных величин z_0 и x_0 . Однако с помощью приближенных вычислительных методов всегда можно найти значения этих неизвестных z_0 и x_0 с требуемой точностью.

Процедура такого решения может заключаться, например, в следующем. Во-первых, в ожидаемой области изменения величин z_0 и x_0 строят две неявно заданные функции (линии уровня) $F_z^E(z_0, x_0) = 0$ и $M_y(z_0, x_0) = 0$. Во-вторых, определяют точку (z_0^*, x_0^*) пересечения этих двух линий уровня некоторым способом. В-третьих, для найденного мгновенного центра скоростей (z_0^*, x_0^*) в точке E вычисляют предельную силу F_x^{E*} , при которой начинается страгивание плоского тела.

4. Пример. В качестве модельного примера рассмотрен самолет, имеющий четырнадцать точек опоры ($n = 14 : i = 1, 2, \dots, 14$) (см. рисунок). Для всех опорных точек P_i , кроме их координат (z_i, x_i) , заданы коэффициенты трения (f_i) и нормальные реакции (N_i) горизонтальной плоскости ($\alpha = 0$). Указанная выше процедура реализована в системе MatLab [11] (примерно 30 операторов без учета команд для наглядного представления результатов). В процессе интерактивной работы с "линзой" снимают координаты точки $O^*(z_0^*, x_0^*)$ пересечения линий, заданных уравнениями (1) и (2) на плоскости π . После этого в соответствии с уравнением (3) вычисляют предельную силу $F_{\max}^E = F_x^{E*} = F_x^E(z_0^*, x_0^*)$ в точке E . Кроме того, определяют оптимальное значение угла поворота передних колес для реализации на них максимальной силы трения. На рисунке представлены линии уровня $F_z^E(z_0, x_0) = 0$ и $M_y(z_0, x_0) = 0$. Точка их пересечения соединена пунктирными линиями с опорными точками P_i . Кроме этих точек P_i показаны реализуемые в них силы трения T_i . В точке E изображена предельная сила F_{\max}^E .

5. Обратный метод решения. Указанная процедура определения предельной силы F_{\max}^E в точке E , состоящая из трех шагов, оказалась достаточно трудоемкой. Кроме того, в инженерной практике нельзя довольствоваться одним найденным значением. Всегда необходимо иметь оценку величины предельной силы в окрестности точки E . Фактически это означает, что требуется также определить $\partial F_x^{E*} / \partial z^E$ в точке E или построить функцию $F_x^{E*}(z_0^*, x_0^*)$ в окрестности этой точки E .

Более рациональным является следующий так называемый обратный метод, позволяющий определить предельную силу как функцию положения точки E . Во-первых, в ожидаемой области изменения величин z_0 и x_0 строят одну неявно заданную функцию $F_z^E(z_0, x_0) = 0$, т. е. зависимость $x_0 = x_0(z_0)$, например, в виде таблицы. Во-вторых, в параметрическом виде определяют функцию $F_x^{E*}(z^E)$ следующим образом (параметром является координата z_0):

$$F_x^E(z_0) \equiv F_x^E(z_0, x_0(z_0)), \quad z^E = z_0 + M_y(z_0) / F_x^E(z_0).$$

Это означает, что в текущей точке $(z^E(z_0), x^E)$ сила $F_z^E(z_0, x_0) = 0$ и момент $M_y(z_0, x_0) = 0$. Поэтому сила $F_x^{E*}(z^E)$ в текущей точке (z^E, x^E) является предельной.

Определенная таким образом функция $F_x^{E*}(z^E)$ в окрестности точки E дает информацию о запасах по величине предельной силы тяги двигателя F_x^E и по ве-

личине плеча расположения двигателя z^E . Далее можно найти предельные значения коэффициентов трения шин f_i и массы самолета m при заданных запасах по величинам F_x^E и z^E .

Для рассмотренного модельного примера четырнадцатипорного самолета расчет таким обратным методом занимает несколько секунд без необходимости ручного съема координат мгновенного центра скоростей $O^*(z_0^*, x_0^*)$. В результате получена зависимость предельной силы от плеча расположения двигателя $F_x^{E*}(z^E)$, которая изображена на рисунке сплошной линией. График этой функции $F_x^{E*}(z^E)$, совмещенный со схемой расположения опорных точек (схемой шасси), дает наглядное представление о запасах по величине силы страгивания и по величине плеча расположения двигателя с достаточной для практики точностью.

6. Свойства системы. О положении мгновенного центра вращения и о свойствах системы (при $\alpha = 0$) можно сказать следующее:

1. Мгновенный центр вращения O^* находится в полосе: $\min x_i < x_0^* < \max x_i$.
2. Пусть $z^E \geq z_i$, т. е. линия действия внешней силы находится правее всех опорных точек. Тогда мгновенный центр вращения O^* расположен в минимальной полосе, ограниченной вдоль оси Sx , т. е. параллельной оси Sz , ограниченной вдоль положительного направления оси Sz и содержащей все опорные точки тела.

3. Обычно самолет обладает продольной вертикальной плоскостью симметрии Sxy . В этом случае:

- 1) если $z^E > 0$, то мгновенный центр вращения (O^*) находится левее плоскости симметрии самолета, т. е. $z_0^* < 0$;

2) при уменьшении плеча расположения двигателей, т. е. при $z^E \rightarrow 0$, мгновенный центр вращения (O^*) уходит в бесконечность и величина продольной составляющей силы X_i трения T_i стремится к предельному значению $f_i N_i$;

3) если внешняя сила расположена в плоскости симметрии, то реализуется максимально возможное значение $F^{E*} = \sum_{i=1}^n f_i N_i$;

4) если плечо приложения внешней силы заметно увеличивается, то величина силы страгивания изменяется как M_y / z^E , где M_y — момент сил трения в опорах относительно некоторой точки на оси симметрии. Положение этой точки на оси симметрии легко находится из условия самоуравновешенности поперечных (вдоль оси Sz) составляющих сил трения $\sum_{i=1}^n T_i (x_i - x_0) / \rho_i = 0$. Поэтому величина силы страгивания $F_x^{E*} \approx M_y / z^E \equiv \sum_{i=1}^n T_i \rho_i / z^E$, где $\rho_i = \sqrt{z_i^2 + (x_i - x_0)^2}$.

Для рассмотренного модельного примера определенная таким образом зависимость M_y / z^E изображена на рисунке пунктирной линией. Эта зависимость достаточно хорошо аппроксимирует фактическое значение предельной силы $F_x^{E*}(z^E)$ при плече расположения двигателя большем, чем база шасси самолета.

7. Заключение. Следует отметить, что поставленная практическая задача свелась к классической задаче механики, и для ее решения потребовалось найти только одну линию уровня функции двух переменных (неявно заданную функцию).

Область построения этой линии уровня в значительной мере определена отмеченными свойствами расположения мгновенного центра скоростей.

Найденную зависимость предельной силы тяги двигателя от плеча его расположения удобно совместить со схемой шасси самолета. Это позволяет судить о возможности страгивания самолета, т. е. оценивать рациональность выбора схемы шасси и плеча расположения двигателя.

Данная задача решена в предположении о постоянстве вертикальных нагрузок на колеса. При изменении тяги двигателя наблюдается перераспределение нагрузок на опоры, которое учитывается естественным образом. В то же время для некоторых схем стоек шасси силы трения на колесах оказывают существенное влияние на обжатие амортизатора. Это также приводит к изменению распределения вертикальных нагрузок на стойках шасси. Следовательно, в этом случае в процессе решения поставленной задачи требуется дополнительно учесть взаимосвязи сил трения с вертикальными нагрузками на колесах шасси.

Список литературы

1. Шиллер Н.Н. Заметка о равновесии твердого тела при действии трения на некоторую плоскую часть его поверхности // Известия Императорского Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, состоящего при Императорском Московском университете.—1892.—**78**, вып. 1. / Труды Отделения физических наук Общества любителей естествознания.—1892.—**5**, вып. 1.—С. 17–19.
2. Шиллер Н.Н. Заметка о равновесии твердого тела при действии трения на некоторую плоскую часть его поверхности // Университетские известия (Киев).—1892.—**32**, № 5, май.—С. 1–5.
3. Воронец П.В. Дифференциальное уравнение траектории материальной точки на шероховатой поверхности // Университетские известия (Киев).—1916.—**56**, № 2.—С. 93–102.
4. Ишлинский А.Ю., Соколов Б.Н., Черноушко Ф.Л. О движении плоских тел при наличии сухого трения // Известия АН СССР. Сер. Механика твердого тела.—1981.—№ 4.—С. 17–28.
5. Никитин Л.В. Статика и динамика твердых тел с внешним сухим трением.—М.: Московский лицей, 1998.—272 с.
6. Жуковский Н.Е. Условие равновесия твердого тела, опирающегося на неподвижную плоскость некоторой площадкой и могущего перемещаться вдоль этой плоскости с трением // Труды Отделения физических наук Общества любителей естествознания.—1897.—**9**. Вып. 1.—С. 34–40.
7. Routh E.J. A Treatise on Analytical Statics with Numerous Examples. Volume I.—Cambridge: At The University Press, 1896.—xii, 391 p.
8. Делоне Н.Б. Курс теоретической механики для техников и инженеров.—СПб.: Издание К.Л. Риккера, 1902.—XVI. – 416 с.
9. Черноушко Ф.Л. О движении плоских тел при наличии сухого трения // Известия АН СССР. Сер. Механика твердого тела.—1988.—№ 6.—С. 6–17.
10. Гончаренко В.А., Гончаренко В.И. О возможности опробования тяги двигателя самолета // Тез. докл. второго междунар. конгресса «Нелинейный динамический анализ» (NDA'2). М., Россия, 3–8 июня 2002 г.—С. 275–276.
11. Потемкин В.Г. Система MATLAB: Справ. пособие.—М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1997.—350 с.

Методы управления подсистемами программы развития авиационной техники

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ»

Постановка задачи. Анализ исследований и публикаций. Понятия «проект» или «программа» объединяют различные виды деятельности, основными управляемыми параметрами которых являются [1] стоимость, издержки, расходы на проект и временные параметры.

Рассматривая программу развития авиационной техники (ПРАТ) как объект управления, отметим, что она представляет собой сложную организационно-техническую систему проектных и производственных действий для создания средств авиационной техники (АТ).

Проектное действие $ПД_i$, направленное на создание средств АТ, определяется временем его выполнения t_i ($i = 1, \dots, n$), причем очевидно, что в зависимости от работ по проведению $ПД_i$ t_i для каждого i будут различны. $ПД_i$ могут выполняться одним либо разными исполнителями, на одном либо разных рабочих местах. $ПД_i$ могут быть независимыми либо зависимыми друг от друга, когда результаты одного $ПД_i$ являются исходными данными для следующего $ПД_i$. Однако существует понятие технологического алгоритма, который определяет последовательность $ПД_i$ для достижения требуемых тактико-технических характеристик проектных решений [2].

Стоимость ПРАТ как сложной системы является интегрированным, системным показателем, отражающим структуру и процессы создания АТ. Так как изделие АТ состоит из десятков и сотен тысяч элементов, а проектных действий, связанных с изготовлением, на порядок больше, причем каждое из них должно быть обеспечено ресурсами, которые имеют свою стоимость, то очевидно, что задача управления стоимостью ПРАТ имеет сложную иерархическую структуру, состоящую из сотен тысяч элементарных стоимостей. Управлять такой стоимостной системой во времени возможно только с помощью современных информационных технологий. Точность и эффективность управления будут зависеть от качества управления элементарными составляющими всей системы, т.е. от качества управления $ПД_i$.

Таким образом, так как ПРАТ представляет собой сложную многоуровневую иерархически распределенную в пространстве проектных действий, во времени и стоимости структуру, то очевидно, что целью статьи является разработка системных моделей управления временем и стоимостью ПРАТ.

Основной материал. Технологические алгоритмы могут быть простыми – это линейная последовательность $ПД_i$, либо сложными – последовательно-параллельное выполнение $ПД_i$. Последовательность выполнения $ПД_i$ в технологическом алгоритме может быть безусловной либо иметь разветвления в зависимости от какого-либо условия (внешнего или внутреннего). Это разветвление может быть вперед на два других пути в алгоритме (дизъюнкция),

либо с возвратом к выполнению предыдущей части $ПД_i$ (итерация или цикл). В общем случае при реализации ПРАТ процессы проектирования и технологические процессы производства носят сложный характер – последовательно-параллельный с условными переходами.

Для формализации описания событий на временной оси обычно используют диаграмму Ганта. В связи с этим линейный технологический процесс представлен на рис. 1.



Рис. 1. Линейный технологический процесс: $ПД_1 = t_2 - t_1, \dots,$
 $ПД_i = t_i - t_{i-1}, \dots, ПД_n = t_n - t_{n-1}$

Трудоемкость при реализации линейного технологического процесса проектирования и производства средств АТ

$$A_{ГД} = \sum_{i=1}^n t_i - t_{i-1}.$$

Параллельный технологический процесс показан на рис. 2. Трудоемкость его реализации находят следующим образом:

$$A_{ГД} = \max_i ПД_i.$$

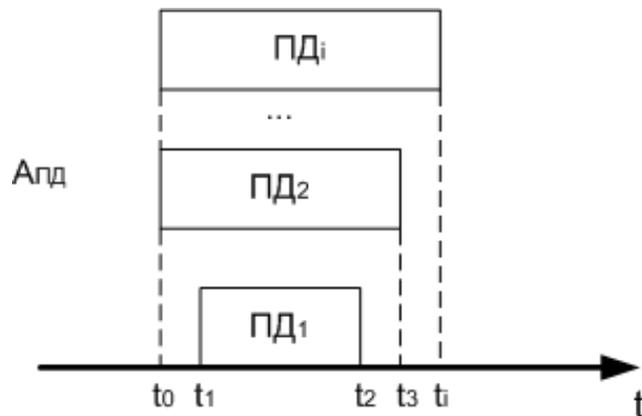


Рис. 2. Параллельный технологический процесс: $ПД_1 = t_2 - t_1, \dots, ПД_i = t_i - t_0$

Сложный процесс изображен на рис. 3. Из диаграммы Ганта видно, что проектные действия $ПД_1, ПД_8$ и $ПД_{14}, ПД_6, ПД_{10}$ и $ПД_{16}$ совпадают по времени. Очевидно, что если они выполняются одним исполнителем или на одном и том же оборудовании, то их нужно разнести во времени и пространстве оборудования либо перепланировать другим исполнителям и ввести еще одну единицу оборудования. Возникает задача оптимизации распределения проектных

действий в пространстве исполнителей, оборудования и во времени. Эта задача решается методами целочисленного программирования, теории расписаний, циклических процессов и массового обслуживания. Но эти методы дают грубые расчеты [3].

Для решения рассмотренной задачи разработан метод имитационного моделирования в целях минимизации распределения проектных действий, проектирования и технологических операций производства на основе минимизации групповых действий при построении эталонной временной модели событий в ПРАТ. Суть метода состоит в следующем.

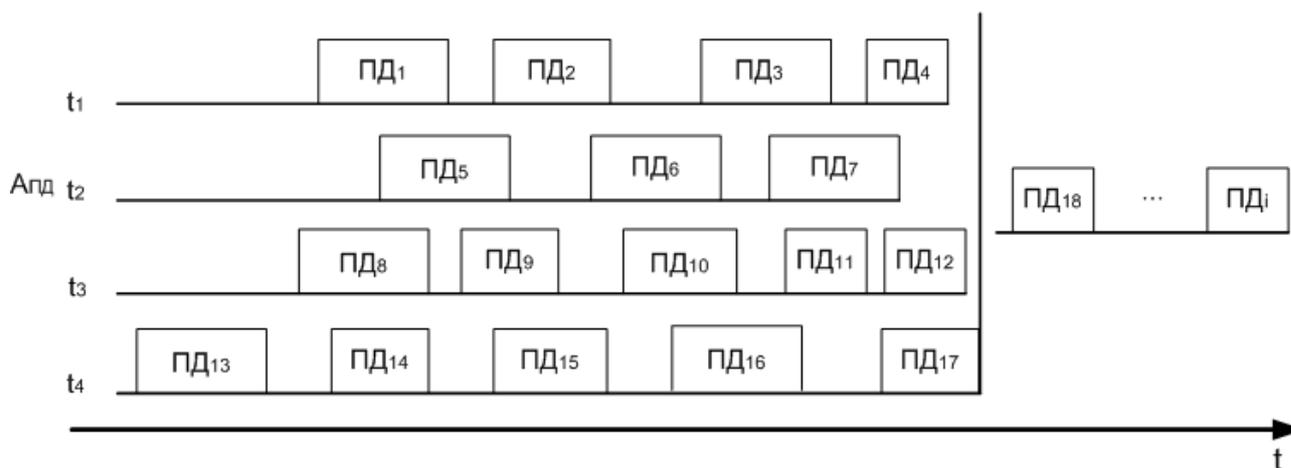


Рис. 3. Диаграмма Ганта сложного технологического процесса

Шаг 1. Строим диаграмму Ганта сложного технологического алгоритма проектирования (либо производства), состоящего из частных составляющих его алгоритмов t_j . Анализируем $ПД_i$ каждого частного алгоритма и выбираем алгоритм $t_{j_{max}}$, в котором содержится наибольшее количество неповторяющихся $ПД_i$. Выделяем его в первый ранг. Аналогично анализируем оставшиеся частные t_j по принципу разнообразия и количеству проектных действий и выбираем t_j второго ранга. Выстраиваем все частные алгоритмы по рангам.

Шаг 2. Выбираем первых два частных алгоритма t_1 и t_2 из количества технологических алгоритмов с высшим рангом и проводим их анализ на совпадение по одинаковым $ПД_i$ на одном оборудовании и одним исполнителем. Если совпадений нет, то на временной оси T в соответствии с трудоемкостями $ПД_i$ рассчитываем директивное (эталонное время) для каждого $ПД_i$, входящего в t_j , что и является расписанием для $ПД_i$, входящего в t_j .

Шаг 3. В случае появления совпадений $ПД_i$ выполняем их сдвиг во времени влево или вправо на разницу времени, соответствующую величине $\Delta t = t_{ПД_i^K} - t_{ПД_i^H}$.

Шаг 4. Проверяем все $ПД_i$ на наличие совпадений по диаграмме Ганта и проводим сдвиг, как указано в шаге 2. Получаем оптимизацию расписания времени $ПД_i$ по двум частным алгоритмам t_1 и t_2 .

Шаг 5. Аналогично поступим с третьим алгоритмом: фиксируем начало $ПД_i$ для t_3 на временной оси. Это будет расписание для $ПД_i$ третьего частного алгоритма.

Шаг 6. Выполняем последовательно шаг 5 для всех остальных частных алгоритмов и получаем расписание для всех частных алгоритмов t_j , входящих в сложный параллельно-последовательный алгоритм проектирования или изготовления группы $ПД_i$.

Применяя рассмотренный выше метод, строим временную модель для групп Gr , подсистем $UnSys$, систем Sys и метасистем $MetSys$ любого ранга. Таким образом, строим эталонную (плановую) временную модель проектных действий.

Из теории управления известно, что управление эффективно и устойчиво, если время воздействия на объект управления t_B на порядок меньше времени реакции t_p системы на воздействие, т.е. [4]

$$t_B \ll t_p.$$

Значит, дискрета времени для проверки события в организационном управлении ПРАТ будет на порядок меньше самой меньшей по времени трудоемкости $ПД_i$:

$$t_K < t_{ПД_i}^{\min}.$$

Поэтому для управления временем ПРАТ необходимо построить плановую (эталонную) временную модель системы проектных действий на временной оси проекта, зафиксировать начало и конец события $ПД_i$ ($ПД_i^H$ и $ПД_i^K$). Затем через время $t_K < t_{ПД_i}^{\min}$ провести контроль факта состоявшегося события $ПД_i$ с параметрами тактико-технических характеристик, соответствующих тактико-техническим требованиям технического задания. Если в заданное время t_K $ПД_i$ событие состоялось и $\Delta\lambda EI_j \leq |\Delta\lambda TTT EI_j|$, то управление временем ПРАТ проведено качественно, если $t_{\phi ПД_i^K} > t_{\varepsilon ПД_i^K}$, то необходимо перепланирование $ПД_i$. На элементарном уровне управление управлением временем $ПД_i$ имеет вид

$$t_{КТ ПД_i EI_j} - t_{КЭ ПД_i EI_j} = 0. \quad (1)$$

Рассмотрим метод управления стоимостью ПРАТ на уровне проектного действия. Известно, что $ПД_i$ является функцией многих факторов, от которых зависит выполнение целей проектного действия, а именно [5]:

$$ПД_i = f(K_i, O_j, M_k, t_n, C_m),$$

где K_j - квалификация работников, O_j - наличие и качество технологического оборудования, M_k - наличие и качество используемых материалов, t_n - сроки выполнения работ, C_m - финансовое обеспечение стоимости работ, материалов и оборудования.

Следовательно, стоимость проектного действия можно рассчитать методом прямого счета за время t_n

$$C_n ПД_i = C_{K_i} + C_{M_k} + C_{O_j} + \dots \quad (2)$$

В соответствии с технологией системного проектирования [2] $ПД_i$ распределяется по стратам проектирования и уровням проектирования, Определим стоимость проектирования на элементарном уровне El_j

$$C_n El_j = \sum C_n ПД_i = C_n ПД_i Ц_i + C_n ПД_i Ф_i + C_n ПД_i St_k + C_n ПД_i l_k + \\ + C_n ПД_i A_f + C_n ПД_i Цсу_i + C_n ПД_i Фсу_i + C_n ПД_i Stcy_k + C_n ПД_i lcy_k + \\ + C_n ПД_i A_fcy + C_n ПД_i Ф_M + C_n ПД_i МН + C_n ПД_i ПОcy + C_n ПД_i КТСcy, \quad (3)$$

где $C_n ПД_i Ц_i, \dots, C_n ПД_i КТСcy$ - стоимость проектных действий на стратах проектирования.

С учетом уровней проектирования стоимость на уровне групп Gr_j имеет вид

$$C_n Gr_j = \sum C_n El_j,$$

на уровне подсистем –

$$C_n UnSys_j = \sum C_n Gr_j,$$

на уровне систем –

$$C_n Sys_j = \sum C_n UnSys_j,$$

на уровне метасистем –

$$C_n MetSys_j = \sum C_n Sys_j.$$

Используя нормативный метод, построим эталонную плановую системную модель для оценки стоимости проектных действий ПРАТ на элементарном, групповом, подсистемном, системном и метасистемном уровнях с учетом страт проектирования. Так как проектные действия распределены не только по стратам и уровням проектирования, но и во времени, то для эффективного управления стоимостью проектных действий необходимо построить фактическую стоимостную системную модель проектного действия через Δt , соответствующую дискрете времени (1).

Управление стоимостью ПРАТ на элементарном уровне будет иметь вид

$$C_n El_{iT} - C_n El_{iЭ} = \Delta C_n El_{\Delta i} \text{ при } \Delta C_n El_{\Delta i} \rightarrow 0.$$

Раскрывая $C_n El_{iT}$ с помощью выражений (2) и (3), можно точно узнать, за какую составляющую стоимости $ПД_i$ произошла невязка $\Delta C_n ПД_i$, и принять решение к перепланированию стоимости проектного действия.

На групповом уровне запишем

$$C_n Gr_{iT} - C_n Gr_{iЭ} = \Delta C_n Gr_{\Delta i} \text{ при } \Delta C_n Gr_{\Delta i} \rightarrow 0,$$

на подсистемном –

$C_n UnSys_{iT} - C_n UnSys_{iЭ} = \Delta C_n UnSys_{\Delta i}$ при $\Delta C_n UnSys_{\Delta i} \rightarrow 0$,
на системном –

$C_n Sys_{iT} - C_n Sys_{iЭ} = \Delta C_n Sys_{\Delta i}$ при $\Delta C_n Sys_{\Delta i} \rightarrow 0$,
на метасистемном –

$C_n MetSys_{iT} - C_n MetSys_{iЭ} = \Delta C_n MetSys_{\Delta i}$ при $\Delta C_n MetSys_{\Delta i} \rightarrow 0$.

Так как текущие платежи на проектные действия за рабочую силу, материалы, сырье, технологическое оборудование и другие ресурсы происходят асинхронно во времени и не совпадают с отчетным периодом, то для эффективного управления стоимостью проекта необходимо точно знать, в каком месте системной модели проектных действий, за какой период и в какое время произошла невязка платежей.

Сравнивая стоимостные системные модели по уровням проектирования по сумме невязок в плановые промежутки времени, можно проводить быстрый анализ фактической стоимости, а в случае выхода невязок за предельные значения найти точное место рассогласований в системных моделях проектных действий вплоть до конкретных платежей.

Выводы

Таким образом, из основного закона управления в сложных организационных системах следует, что для управления ПРАТ необходимо построить системные структурную и событийную модели текущего состояния ПРАТ и системные структурную и событийную модели эталонного состояния ПРАТ и иметь средства сравнения структурных и событийных моделей.

Автором предложен метод построения временной и стоимостной моделей для каждого уровня ПРАТ и заданы критерии оценки управления.

Так как ПРАТ декомпозируется на подпрограммы, типы, виды, комплексы, образцы, каждый образец – на фазы жизненного цикла продукта, а каждая фаза жизненного цикла имеет стадии, этапы и задачи проектирования, то очевидно, что необходимо построить временные и стоимостные модели упомянутых выше уровней и таким образом управлять временем и стоимостью всей ПРАТ.

Список литературы

1. Управление проектами / Под ред. Мазур И.И., Шапиро В.Д. – М.: Высш. шк., 2001. – 874 с.
2. Научно-методологическое обеспечение управления сложными проектами / Дружинин Е.А., Жихарев В.Я., Илюшко В.М., Луханин М.И., Митрахович М.М. – К.: Техніка, 2002. - 369 с.
3. Грей К.Ф., Ларсон Э.У. Управление проектами: практическое руководство. – М.: Дело и сервис, 2003. – 579 с.
4. Теория управления / Под ред. Л.А. Гапоненко, А.П. Панкрухина. – М.: Изд-во РАГС, 2003. – 558 с.
5. Емад А.Р., Латкин М.А. Проблемные вопросы управления проектами // Труды Междунар. науч.- практ. конф. «Современные технологии в менеджменте». – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – С. 46 - 47.

Испытания на безотказность бортовой аппаратуры с учетом термостойкости и влажности

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

Испытания на надежность (безотказность) – ускоренно-циклические, контрольные и определительные проводятся с учетом ряда возмущающих факторов, таких как вибрация, влажность, температура и давление. При испытаниях авиационного бортового оборудования используется последовательный способ реализации внешних воздействующих факторов (ВВФ) и цикл с широкополосной случайной вибрацией (ШСВ).

Продолжительность воздействия повышенной влажности при температуре $T^*=40^\circ\text{C}$ в одном испытательном цикле: $t_{u1}^{ВП}=24,5$ ч.

Испытательный диапазон изменения температуры от минус 60°C до плюс 70°C ($\Delta T_u^*=130^\circ\text{C}$).

Для температуры в отсеке $T_{OT}^*=27^\circ\text{C}$ количество температурных циклов:

- для имитации режима содержания в готовности и на стоянке: $\varphi_{u.xp}^{\Delta T^*}=2,02$;
- для имитации режима применения: $\varphi_{u.n}^{\Delta T^*}=2,01$.

Общее количество температурных циклов в цикле испытаний $\varphi_u^{\Delta T^*}$

$$\varphi_u^{\Delta T^*}=2,01 + 2,02 = 4,03 \text{ (4 цикла).}$$

Продолжительность достижения установившегося уровня заданной температуры $\tau_H(\tau_0)$ в камерах тепла и холода в самом массивном узле изделия

$$\tau_H = \tau_0 = 1,5 \text{ ч.}$$

Продолжительность температурных циклов в общем цикле испытаний $t_{u1}^{\Delta T^*}$

$$t_{u1}^{\Delta T^*} = \varphi_u^{\Delta T^*} (\tau_H + \tau_0) = 4 \cdot 3 = 12 \text{ ч.}$$

Исходные данные для цикла испытаний по климатическим воздействиям:

- атмосферное пониженное давление: 40 кПа (307 мм рт.ст.);
- рабочая температура отсека в режиме применения: 27°C (длительно);
- относительная влажность при температуре 35°C : 98%.

Определение продолжительности цикла ускоренных определительных испытаний. Чтобы имитировать цикл с ШСВ общей продолжительностью 44 ч надо провести четыре цикла испытаний. Но данные испытания с экономической точки зрения провести сложно ввиду высокой стоимости экспериментального оборудования (влажготермобарокамеры и термовлаговиброкамеры). Поэтому испытания проведем последовательным методом по циклограмме, которая представлена на рис. 1.

Продолжительность цикла ускоренных определительных испытаний на безотказность t_{u1} и коэффициент ускорения K_y при последовательном способе реализации для цикла ШСВ

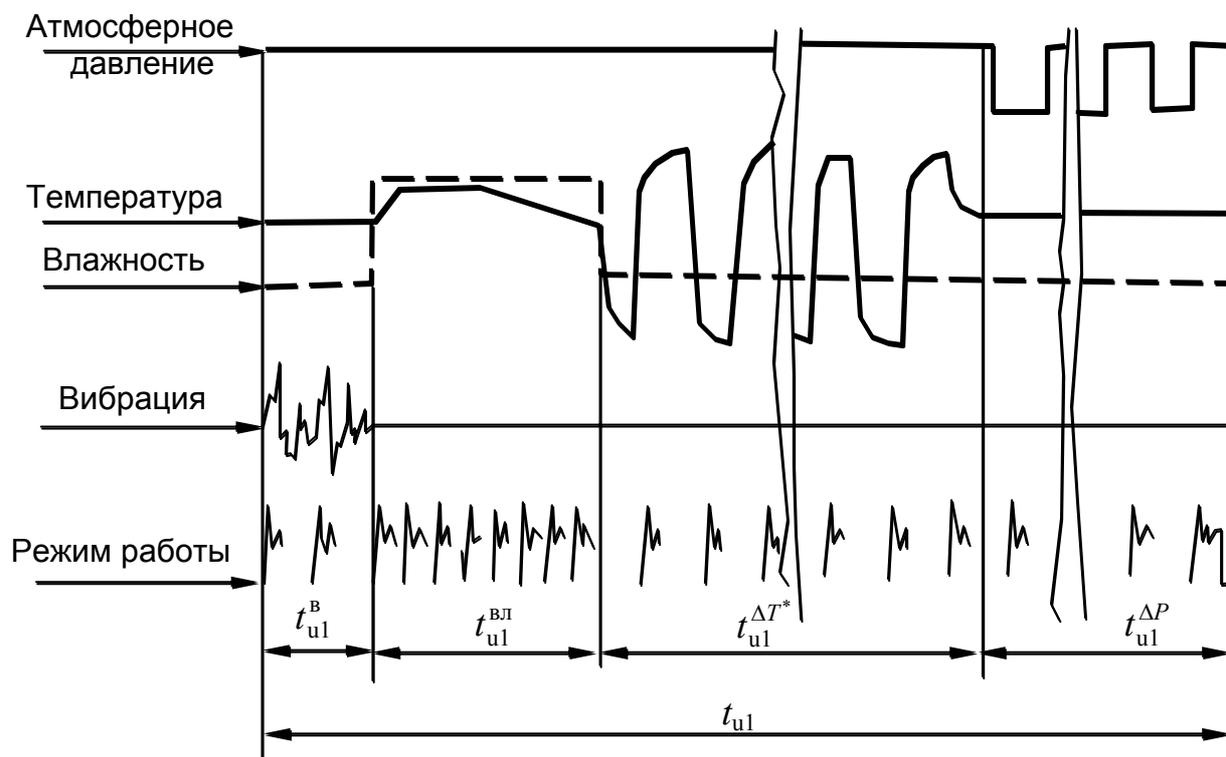


Рис.1. Последовательный способ реализации внешних воздействующих факторов

$$t_{u1} = t_{u1}^B + t_{u1}^{BП} + t_{u1}^{\Delta T^*} = 7,5 + 24,5 + 12,0 = 44 \text{ ч};$$

$$K_y = \frac{80}{44} = 1,82 .$$

Расчет параметров плана контрольных испытаний на безотказность для блока воздушных параметров

Исходные данные:

$T_{mp}=500$ ч; $T_{p1}=620$ ч; $T_\alpha/T_\beta=3$; $\alpha = \beta = 0,1$; количество изделий – $N=1$, $t_r= 85$ ч, $K_y=2$.

Испытания на безотказность проводятся для оценки соответствия БВП заданным в ТУ требованиям средней наработки на отказ последовательным методом при точности оценки $T_\alpha/T_\beta=3$, рисках поставщика и заказчика $\alpha = \beta = 0,1$.

При проведении испытаний последовательным методом планы испытаний для контроля наработки на отказ выбираются в соответствии с ГОСТ В 20.57.304–76.

По значениям α , β , T_α/T_β выбирается шифр плана контроля и по уравнениям этого плана определяем линии границ области соответствия r_1 и области несоответствия r_2 , величины B_{yc} и r_{yc} , необходимые для графического представления плана испытаний. Значения количества отказов $r_{yc}=6$, $B_{yc}=3$,

$t_{1-\alpha} = 3,15$ определены для заданных $\alpha = \beta = 0,1$ и $T_\alpha/T_\beta = 3$.

Уравнения линий соответствия (число отказов r_1)

$$r_1 = 1,820 \cdot \frac{N \cdot t_{\text{ки}}}{T_\alpha} - 2,0. \quad (1)$$

Уравнения линий несоответствия (число отказов r_2)

$$r_2 = 1,820 \cdot \frac{N \cdot t_{\text{ки}}}{T_\alpha} + 2,0. \quad (2)$$

Уравнения (1), (2) получены из предположения, что суммарная продолжительность испытаний и общее число наблюдаемых отказов могут быть выражены в терминах соотношения между экспоненциальным и пуассоновским распределениями.

Так, если наработка до отказа имеет экспоненциальное распределение с интенсивностью λ , то в промежутке времени T число отказов r имеет пуассоновское распределение с параметром λT . Плотность пуассоновского распределения имеет вид

$$P(r/\lambda) = \frac{(\lambda T)^r e^{-\lambda T}}{r!}, \quad r = 0, 1, 2, \dots,$$

а последовательный критерий отношения вероятностей равен $P(r/\lambda_1)/P(r/\lambda_0)$.

Рассмотрим теперь конкретные гипотезы

$$H_0: \lambda \geq \lambda_0 \text{ и } H_1: \lambda < \lambda_0.$$

В данном случае отклонение «нулевой» гипотезы H_0 означает, что интенсивность отказов значительно меньше λ_0 . Для определения порядка проведения последовательных испытаний необходимо было задать значения α , β , λ_1 , что и было сделано (т.е. $T_\alpha/T_\beta = T_0/T_1 = 3$ и $\lambda_1/\lambda_0 = 3$). Критерий последовательного отношения вероятностей равен

$$(\lambda_1/\lambda_0)^r \exp[-T(\lambda_1 - \lambda_0)],$$

а область продолжения испытаний определяется неравенством [1]

$$\frac{T(\lambda_0 - \lambda_1) - \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln(\lambda_0/\lambda_1)} < r < \frac{T(\lambda_0 - \lambda_1) + \ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right)}{\ln(\lambda_0/\lambda_1)},$$

откуда и были взяты уравнения (1) и (2).

По вышеприведенным уравнениям линий соответствия и несоответствия, рассчитываются координаты границ областей соответствия, по которым строится план-график контрольных испытаний – диаграмма контроля БВП (рис.2).

Средняя продолжительность испытаний

$$\bar{t}_{\text{ки}} = \frac{B_{\text{yc}} \cdot r_{\text{yc}} \cdot T_{\text{тр}}}{N \cdot K_y \cdot t_{1-\alpha}} = \frac{3 \cdot 6 \cdot 500}{1 \cdot 2 \cdot 3,15} \approx 1428,6 \text{ ч.}$$

Продолжительность испытаний $\bar{t}_{\text{ки}} = 1428,6$ ч соответствует 0,16 года (2 мес.) поэтому проведение испытаний по полному плану экономически невыгодно.

Испытания проводятся с усечением объема по продолжительности для каждого изделия до первого ремонта T_{p1} с обеспечением нулевого количества отказов. При испытаниях используем цикл с ШСВ.

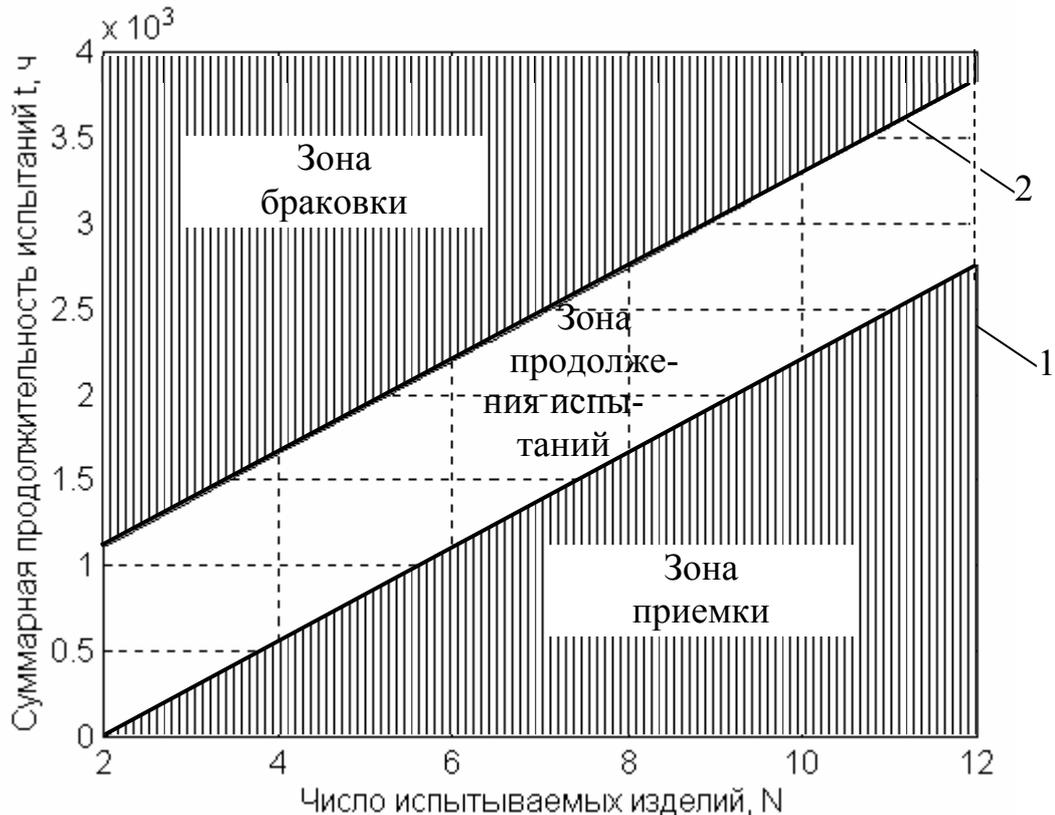


Рис.2. Диаграмма контроля блока воздушных параметров при экспоненциальном распределении наработки на отказ:

- 1 – линия соответствия (зона приемки);
- 2 – линия несоответствия (зона браковки).

Продолжительность ускоренных испытаний t_u
 $t_u = T_{p1} = 620$ ч.

Планируемое время испытаний, проводимых в лабораторных условиях при последовательном воздействии внешних факторов, разбивается на семь циклов

$$n_{01} = \frac{T_{p1}}{t_{\Gamma}} = \frac{620}{80} \approx 7.$$

Расчет объема определительных испытаний на безотказность для блока воздушных параметров

Исходные данные:
 $T_{mp}=500$ ч; $T_{p1}=620$ ч; $T_{\alpha}/T_{\beta}=3$; $N=1$.
 Принимаем $K_{\gamma}=2,0$.
 Ожидаемое число отказов r .

$$r = \frac{T_{p1}}{T_{mp}} = \frac{620}{500} = 1,24 \approx 1.$$

При испытаниях используем цикл с ШСВ. Продолжительность ускоренных определительных испытаний t_u изделия на безотказность

$$t_u = \frac{T_{p1}}{K_y} = \frac{620}{2,0} = 310 \text{ ч.}$$

По расчетным показателям принимаем $t_u = 308$ ч.

Количество циклов испытаний n_{01}

$$n_{01} = \frac{t_u}{t_{u1}} = \frac{308}{44} \approx 7.$$

В настоящее время в теории надежности применяется достаточно разнообразные законы распределения наработки до первого отказа. Если испытаниям подвергаются изделия на базе РЭА с неизменяемой структурой, для которой характерны внезапные отказы, то в этом случае интенсивность отказа $\lambda(t)$ любого элемента системы принимают величиной постоянной.

Для распределения наработки до первого отказа используется однопараметрический экспоненциальный закон.

Условия проведения испытаний могут быть несколько изменены. Рассмотрим случай, когда на испытания последовательно ставятся одиночные изделия. Таким образом, в результате испытаний получаем случайную величину t , выражающую наработку i -го изделия до отказа при испытаниях.

Плотность экспоненциального распределения имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T}, \quad t \geq 0,$$

где T – средняя наработка до отказа.

Проверяются следующие гипотезы

$$H_0: T \geq T_0,$$

$$H_1: T < T_0.$$

Если $T = T_0$, то вероятность принятия гипотезы H_0 равна $(1-\alpha)$, а если $T = T_1$, где $T_1 < T_0$, то вероятность принятия гипотезы H_0 устанавливается на низком уровне β . Если решение относительно этих величин принято, то порядок проведения испытаний определен.

Последовательный критерий отношения вероятностей принимает вид [1]

$$\prod_{i=1}^n \frac{(1/T_1) \exp(-t_i/T_1)}{(1/T_0) \exp(-t_i/T_0)} = \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^n \exp\left[-\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right) \sum_{i=1}^n t_i\right].$$

После соответствующих подстановок получаем следующее неравенство для области продолжения испытаний:

$$\frac{\beta}{1-\alpha} < \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^n \exp\left[-\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right) \sum_{i=1}^n t_i\right] < \frac{1-\beta}{\alpha}.$$

Логарифмируя и группируя члены, получаем

$$\frac{n \ln(T_0/T_1) - \ln[(1-\beta)/\alpha]}{1/T_1 - 1/T_0} < \sum_{i=1}^n t_i < \frac{n \ln(T_0/T_1) - \ln[(1-\alpha)/\beta]}{1/T_1 - 1/T_0}, \quad (3)$$

при этом следует иметь в виду, что $(1/T_1 - 1/T_0) > 0$.

Характеристическая кривая для этого испытания, т.е. вероятность $P(T)$ принятия гипотезы H_0 , когда истинным значением параметра является T , вычисляется с помощью уравнений

$$P(T) = \frac{B^h - 1}{B^h - A^h}; \quad (4)$$

$$T = \frac{(T_0/T_1)^h - 1}{h(1/T_1 - 1/T_0)}, \quad (5)$$

где $A = \beta/(1-\alpha)$ и $B = (1-\beta)/\alpha$.

Уравнение (5) используется для определения T при произвольно выбранном значении h , затем по формуле (4) можно вычислить значение ВБР $P(T)$. Значение h может быть любым действительным числом, выбор его производится методом проб и ошибок.

Проведем испытания изделия БВП на надежность, чтобы определить, обеспечивается ли заданная средняя наработка, равная 500 ч. Выбираем $T_0 = 500$ ч при $\alpha = \beta = 0,1$. Испытания проводим до первого отказа $T_{p1} = 620$ ч.

$T_1 = \frac{T_0}{3} \approx 166,67$ ч, число изделий $N = 1$.

После подстановки этих значений в формулу (3) имеем следующее неравенство для области продолжения испытаний

$$\frac{n \cdot \ln 3 - \ln\left(\frac{1-0,1}{0,1}\right)}{1/166,67 - 1/500} < \sum_{i=1}^n t_i < \frac{n \cdot \ln 3 + \ln\left(\frac{1-0,1}{0,1}\right)}{1/166,67 - 1/500}, \quad (6)$$

откуда получаем

$$2747,36n - 5494,7 < \sum_{i=1}^n t_i < 2747,36n + 5494,7.$$

С помощью этого неравенства можно построить план-график сокращенных последовательных испытаний, показанный на рис.3. Используя зависимости (5) и (6), и $h = h_0 = 2,3$, определим фактическую наработку на отказ $T_{\text{факт}} = 1252$ ч, $\lambda_{\text{факт}} = 0,000799$ 1/ч, $P(T) = 0,99365$. Все полученные экспериментальные результаты для БВП сведены в табл. 1.

По результатам, приведенным в табл. 1 построена аппроксимирующая зависимость ВБР от наработки на отказ $P(T)$

$$P = 1 - 0,000476t - 0,000000015t^2, \quad (7)$$

где t – продолжительность проведения испытаний, ч.

Исходя из известных экспериментальных зависимостей времени полета от времени испытаний и (7) получим

$$P = 0,999524 - 0,00095 \cdot t_n + 0,00001176 \cdot t_n^2, \quad (8)$$

где t_n – время полета, ч.

Далее работаем с экспериментальной зависимостью с учетом того, что планирование испытаний при плане $[N_{ur}]$ [4] выражается зависимостью

$$T[N_{ur}] \approx \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{N+1}{N-r+1}\right) \approx \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{1+1}{1-1+1}\right) \approx \frac{1}{\lambda} \ln 2 \approx \frac{0,69314718}{\lambda}, \quad (9)$$

где T – продолжительность испытаний по плану при экспоненциальном распределении наработки до отказа;

$r = 1$ – количество отказов;

$N = 1$ – количество объектов испытаний;

$$\lambda = \frac{\ln\left(\frac{N+2}{N-r+1}\right)}{T[N_{ur}]} \text{ – интенсивность отказов, } 1/\text{ч.}$$

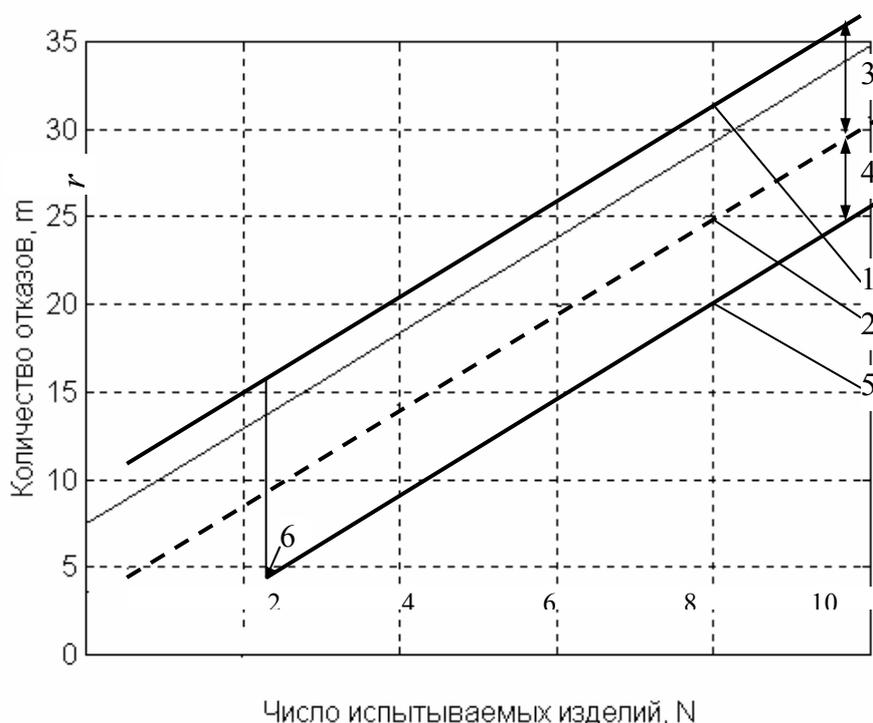


Рис.3. План-график сокращенных последовательных испытаний на надежность блока воздушных параметров: 1 – линия несоответствия (отклонение гипотезы H_0); 2 – линия раздела; 3 – отклонение; 4 – принятие; 5 – линия соответствия (принятие гипотезы H_0); 6 – точка, соответствующая прекращению испытаний

Испытания проводятся последовательным методом и точность до четырех знаков обеспечена при вычислении P . Получаем приближенную экспериментальную зависимость:

$$P_{БВП} = 1 - 0,00112538 \cdot t_n \quad (10)$$

и подставляем в данную зависимость (10) из (9) выражение для λ и имеем:

$$P_{БВП} = 1 - \frac{0,69314718}{\underbrace{T[N_{ur}]}_{0,00112538}} \cdot \underbrace{t_n}_{1\text{ч}} \quad (11)$$

Таблица 1

Экспериментальные показатели безотказности для блока
воздушных параметров (полетная информация)

Объект	Система, изделие	Год	T_0 заданное, ч	T_0 фактическое, ч	T_0 нижняя граница, ч	T_0 верхняя граница, ч	Заключение
140	БВП	2003	500	1252	475	–	ТР «Вып»
400	БВП-400	2001	500	–	2304	–	–
42	БВП-9	2001	500	–	9665	–	–
86	БВП-9	2001	500	47812	9881	82236	–
T-8	БВП-9	2001	500	5351	1106	9203	–

$$\text{Отсюда: } T[N_{ur}] = \frac{0,69314718}{0,00112538} \approx 615,9 \text{ ч.}$$

Так как БВП – высоконадежная авиационная приборная конструкция, испытания – ускоренные, циклические, до первого отказа: $T_{p1}=308$ ч, коэффициент ускорения $K_y=2,56=2$, имеем

$$P_{БВП} = 1 - \frac{0,69314718}{\underbrace{(2 \cdot 7 \cdot (\underbrace{t_{ue}}_{7,54} + \underbrace{t_{uen}}_{24,54} + \underbrace{t_{u\Delta T^* u \Delta P^*}}_{12 \text{ ч}}))}_{0,00112538}} \cdot t_n \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{БВП} = 1 - \frac{0,049510512}{\underbrace{(\underbrace{t_{ue}}_{7,54} + \underbrace{t_{uen}}_{24,54} + \underbrace{t_{u\Delta T^* u \Delta P^*}}_{12 \text{ ч}})}_{0,00112538}} \cdot t_n. \quad (12)$$

Определим $P_{БВП}(t_n=5,5 \text{ ч})$ при воздействии всех ВВФ:

$$P_{БВП}(t_n=5,5 \text{ ч}) = 1 - 0,00112538 \cdot 5,5 \approx 0,99381.$$

Разложим второе слагаемое в выражении (12) на простые составляющие вида:

$$P_{БВП} = 1 - 0,00112538 \cdot t_n \cdot \left(\frac{A}{t_{ue}} + \frac{B}{t_{uen}} + \frac{C}{t_{u\Delta T^* u \Delta P^*}} \right). \quad (13)$$

Отсюда при $t_n=5,5$ ч:

$$\frac{A}{\underbrace{t_{ue}}_{7,5 \text{ ч}}} + \frac{B}{\underbrace{t_{uen}}_{24,5 \text{ ч}}} + \frac{C}{\underbrace{t_{u\Delta T^* u \Delta P^*}}_{12 \text{ ч}}} \approx 0,0227.$$

Отсюда:

$$\frac{36,5 \cdot A + 19,5 \cdot B + 32 \cdot C}{\underbrace{7,5 \cdot 24,5 \cdot 12}_{2205}} \approx 0,0227.$$

Если воздействует только вибрация (виброускорения), то из (12):

$$P_{\text{БВП ВВ}} = 1 - \frac{0,006623}{7,5} \cdot 5,5 \approx 0,99514.$$

Если воздействует только влажность, то из (12):

$$P_{\text{БВП ВП}} = 1 - \frac{0,002023}{24,5} \cdot 5,5 \approx 0,98889.$$

Если воздействует только термоциклирование и давление, то из (12):

$$P_{\text{БВП ТЦ и Д}} = 1 - \frac{0,000413}{12} \cdot 5,5 \approx 0,97731.$$

Отсюда:

$$A = \frac{0,006623287}{0,049510512} = 0,134;$$

$$B = \frac{0,002022882}{0,049510512} = 0,041;$$

$$C = \frac{0,00413441}{0,049510512} = 0,084$$

Общее значение ВБР P :

$$P_{\text{БВП}} = 1 - \underbrace{\frac{1}{N_y K_y} \ln \left(\frac{N+1}{N+1-r} \right)}_{0,0495} \cdot \underbrace{t_n}_{5,5 \text{ ч}} \cdot \left(\underbrace{\frac{0,1338}{7,5}}_{0,0178} + \underbrace{\frac{0,0409}{24,5}}_{0,0017} + \underbrace{\frac{0,0835}{12}}_{0,00696} \right)_{0,026463}$$

Отсюда по вибрации имеем:

$$\lambda_{\text{В}} = 0,000883 \text{ 1/ч}; \quad T_{\text{В}} = 1132 \text{ ч.}$$

По влажности:

$$\lambda_{\text{ВЛ}} = 0,0000826 \text{ 1/ч}; \quad T_{\text{ВЛ}} = 12112 \text{ ч.}$$

По температуре и давлению:

$$\lambda_{\Delta T^* \text{ и } \Delta P^*} = 0,000345 \text{ 1/ч}; \quad T_{\Delta T^* \text{ и } \Delta P^*} = 2902,5 \text{ ч.}$$

Полученные значения показателей надежности для каждого из ВВФ (13) сведены в табл. 2.

В результате проведения испытаний на надежность достигнут требуемый уровень на основе принятия нулевой гипотезы.

Таблица 2

**Показатели надежности при действии внешних
воздействующих факторов**

Внешние воздействующие факторы	Продолжитель- ность испытаний, ч	Показатели безотказности	
		Вероятность безотказной работы, P	Наработка на отказ T , ч
Вибрация, температура	$7,5 \times 7 = 52,5$	0,99514	1132
Температура, влажность	$24,5 \times 7 = 171,5$	0,98889	12112
Температура, давление	$12 \times 7 = 84$	0,97731	2902,5

**Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных
данных для блока воздушных параметров**

Анализ данных, полученных с использованием метода теории выбросов и экспериментально (испытания на безотказность), показывает, что результаты заданные теоретические и практические значения хорошо согласуются (табл.3, 4).

На основании экспериментальных данных видно, что основной “вклад” в оценку показателей надежности по испытаниям вносит вибрация, что и подтверждается теоретическими результатами. Учитываем тот факт, что с помощью теории выбросов определяется надежность только по виброускорениям, а в испытаниях “участвуют” помимо вибрации и циклическое воздействие температур, и влажность.

Выполним сравнение экспериментальных и расчетных данных P , T для БВП.

Таким образом, в основу построения рассматриваемого подхода прогнозирования надежности положен экспериментально установленный факт, что отказ объекта представляет случайное событие, а его ресурс (наработка до первого отказа) является случайной величиной. Это является следствием неизбежного влияния на надежность БВП таких случайных факторов:

Таблица 3

**Сравнение заданных и экспериментальных значений T
для блока воздушных параметров**

Нормативные документы	Наработка на отказ, ч	Расхождение эксперимента на безотказность по сравнению с ТЗ, %
Техническое задание	500	–
Экспериментальные результаты испытаний на безотказность (нижняя граница)	475	5

Сравнение расчетных и экспериментальных значений Т
для блока воздушных параметров

Методы	Наработка на отказ, ч	Расхождение эксперимента на безотказность по сравнению с эксплуатационными (статистическими) данными, %
Теория выбросов (расчет только на вибрацию)	1125	1,7
Эксперимент (испытания на вибрацию– наработка отказ)	1132	2,4
Эксплуатационные (статистические) данные	1106	–

- разброс физических и прочностных характеристик исходных материалов, используемых в конструкции;
- технология изготовления и нестабильность производства;
- условия эксплуатации и внешние воздействия.

Достигнута главная цель: получена экспериментальная оценка показателей надежности как составляющей метода исследования термодинамики несущей конструкции бортовой аппаратуры. Это дает основание перейти к выводам по разделу в целом.

Выводы

В данной статье получены следующие результаты:

1. теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в соответствии с теорией выбросов и испытаниями на надежность показали:

- достаточную сходимость полученных результатов по наработке на отказ при проведении определительных испытаний на безотказность (максимальное расхождение составляет приблизительно 5 %);
- максимальное расхождение по наработке на отказ при испытаниях на вибрацию и при расчете с использованием теории выбросов составляет приблизительно 1 %.

Кроме того, в данной статье:

2. определены параметры цикла последовательных испытаний на надежность с ШСВ для БВП с учетом температуры и влажности;

3. экспериментально проверены и количественно определены показатели надежности (ВБР и наработка на отказ) для всей конструкции БВП;

4. данные методы можно применять не только в термомеханике, но и в любых других областях техники при оценке показателей безотказности (ВБР и наработки на отказ) в соответствии с другими параметрами создаваемых конструкций, элементов и т.д.

Список литературы

1. Иьуду К.А. Оптимизация устройств автоматики по критерию надежности. - М.: Энергия, 1966. - 194 с.
2. Надежность и эффективность в технике. Справочник. - М.: Машиностроение, 1988. - 320 с.
3. Надежность электроизделий. Единый справочник. Т. 1. ВНИИ Электронстандарт, 1990. - 399 с.
4. Аронов И. З., Бурдасов Е. И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 182 с.

Оценка влияния корреляции на хвосты распределений функций случайных аргументов

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Постановка проблемы, анализ проведенных исследований, цель работы

При проектировании технических объектов и систем проектировщика часто интересует оценка вероятности работоспособности проектируемого объекта [1].

Условие работоспособности проектируемого объекта можно записать в виде [2]

$$\lambda(\eta) < \Lambda, \quad (1)$$

где λ - заданная функция случайного аргумента (ФСА) (например, приведенное напряжение в расчетной точке конструкции); η - m -мерный вектор случайных разбросов параметров – случайный аргумент (например, геометрии конструкции, нагрузки и др.); Λ - ограничение (например, предел прочности для материала конструкции). Вектор η задается как вектор случайных чисел с нулевым математическим ожиданием.

Вероятность работоспособности определяется как

$$P_p = P[\lambda(\eta) < \Lambda]. \quad (2)$$

Эта вероятность должна быть достаточно высокой, соответственно вероятность нарушения условия (1) - низкой. Так, для авиационных конструкций вероятность их целостности должна быть $P_p > 0,99999$, а вероятность разрушения $Q_p = 1 - P_p < 0,00001$.

Аналогичных примеров в технических приложениях достаточно много. Таким образом, возникает задача построения хвоста распределения ФСА с приемлемой для инженерных целей точностью. Наибольшее доверие вызывает экспериментальная функция распределения, получаемая с помощью статистического моделирования. Это доверие обусловлено тем, что, задавая объем статистического моделирования, можно влиять на точность конечного результата [3].

При построении экспериментальной функции распределения используются выражения [4]

$$F^* = \frac{N - N_\Lambda}{N} \quad (a) \quad \text{или} \quad Q^* = \frac{N_\Lambda}{N} \quad (b), \quad (3)$$

где F^* - значение экспериментальной функции распределения ФСА в точке $\lambda(\eta) = \Lambda$; N - объем статистического материала, полученного с помощью статистического моделирования; N_{Λ} - число реализаций ФСА, которые в процессе статистического моделирования легли правее значения Λ ; Q^* - экспериментальная оценка вероятности того, что условие (1) будет нарушено.

Использование ускоренного статистического моделирования (УСМ) [4] позволяет весьма экономно с требуемой точностью строить хвосты распределений ФСА и, как следствие, определять вероятность работоспособности.

На практике встречаются случаи, когда компоненты вектора случайных возмущений η коррелированы (например, геометрия конструкции из композитных материалов и ее масса). Влияние этой корреляции на хвосты распределений ФСА до настоящего времени не исследовано. В то же время с помощью УСМ проведение такого исследования не является проблематичным.

Цель данного исследования – оценить влияние корреляции компонент вектора случайного аргумента η на хвосты распределений ФСА.

Основные результаты

Исследуемый объект представляет собой стержень из композиционного материала. Геометрия объекта показана на рис.1.

Номинальные размеры стержня: длина $L = 0.85$ м; высота поперечного сечения $H = 0.03$ м; ширина поперечного сечения $B = 0.015$ м. Стержень закреплен на левом конце, по правой половине стержня равномерно распределена нагрузка $Q = 5000$ Н. Материал стержня – углепластик КМУ-3Э с модулем упругости $E = 2E+11$ Н/м².

Случайные разбросы параметров (геометрии, нагрузки и свойств материала) приведены в табл.1.

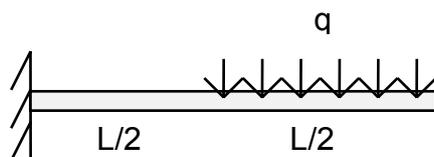


Рис. 1. Геометрия исследуемого объекта

Таблица 1

Параметр	Номинальное значение	Разброс, %
Длина L , м	0.85	9
Высота сечения h , м	0.03	9
Ширина сечения b , м	0.015	9
Нагрузка q , Н/м	5000	25
Модуль упругости E , Н/м ²	2E+11	10

Условие целостности любой конструкции можно записать в виде

$$\sigma_{\max} - \sigma_B < 0, \quad \text{или} \quad \sigma_{\max} - \eta_B < \sigma_B^0, \quad (1)$$

где σ_{\max} - максимальное эквивалентное напряжение в опасном узле конструкции; σ_B - предел прочности материала конструкции; η_B - случайный разброс предела прочности; σ_B^0 - номинальное значение предела прочности.

Условие целостности исследуемого объекта можно записать следующим образом:

$$\frac{9qL^2}{4bh^2} - \eta_B < \sigma_B^0. \quad (2)$$

Параметры конструкции и нагрузок имеют случайные разбросы (особенно если конструкция изготовлена из композиционного материала), поэтому левая часть условия (2) представляет собой функцию случайных величин. В общем виде приходим к (1).

Вектор коррелированных чисел ξ с заданной корреляционной матрицей K может быть получен путем специального линейного преобразования вектора η нормально распределенных величин по выражению [6]

$$\xi = A\eta + m \quad (3)$$

В соотношении (3) матрица A получается путем преобразования ковариационной матрицы K и является «треугольной», т.е.

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ a_{12} & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

Коэффициенты a_{ij} определяются по рекуррентной формуле

$$a_{ij} = \frac{K_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} a_{jk}}{\sqrt{K_{jj} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{jk}^2}}, \quad \text{причем} \quad \sum_{k=1}^0 a_{ik} a_{jk} = 0, \quad (4)$$

где K_{ij} ($1 \leq j \leq i \leq n$) - коэффициенты ковариационной матрицы K .

Для КФ условия (2) проведены следующие исследования:

- статистическое моделирование (СМ) КФ объемом N без учета корреляции ее параметров с последующим определением вероятности разрушения для разных значений границы работоспособности σ_B^0 ;
- СМ КФ объемом N с учетом корреляции ее параметров с последующим определением вероятности разрушения для разных значений границы работоспособности;

Результаты исследований представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

N	σ_B^0	Вероятность потери работоспособности при различной степени корреляции параметров L и h					
		0.1		0.5		0.8	
		без корреляции	с корреляцией	без корреляции	с корреляцией	без корреляции	с корреляцией
4000	704155354	0.0915	0.08825	0.08925	0.07075	0.09125	0.06625
40000	796277967	0.009225	0.007975	0.009425	0.0044	0.00995	0.003925
400000	870219049	0.00091	0.0006825	0.00099	0.00029	0.0009475	0.00017
4000000	934398849	0.0001	0.000064	0.0000957	0.000013	0.0000965	0.0000092
10000000	950000000	0.00004	0.0000342	0.00004	0.0000058	0.00004	0.0000037

Таблица 3

N	σ_B^0	Вероятность потери работоспособности при различной степени корреляции параметров b и h					
		-0.1		-0.5		-0.8	
		без корреляции	с корреляцией	без корреляции	с корреляцией	без корреляции	с корреляцией
4000	704155354	0.1	0.09775	0.0925	0.07925	0.0895	0.0675
40000	796277967	0.009225	0.008575	0.008825	0.00565	0.009375	0.004875
400000	870219049	0.00077	0.000675	0.000945	0.000455	0.00097	0.00032
4000000	934398849	0.0000975	0.0000775	0.0000997	0.0000325	0.0001	0.000017
10000000	950000000	0.00004	0.0000387	0.00004	0.000016	0.00004	0.0000066

Отличия в табл. 2, 3 значений вероятностей при отсутствии корреляции незначительны и связаны с повтором статистического моделирования.

По значениям, приведенным в табл. 2 и 3, построены зависимости вероятности потери работоспособности от коэффициента ковариации параметров для разных значений границ. Эти зависимости для параметров L и h изображены на рис. 1 - 5, а для параметров b и h — на рис. 6 - 10.

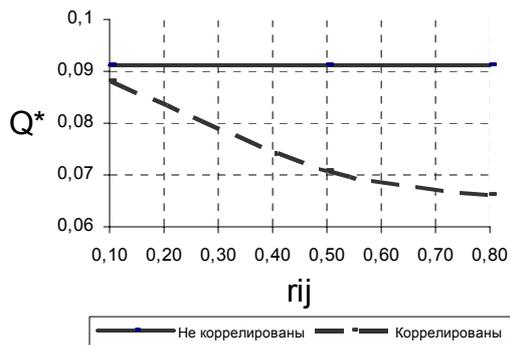


Рис. 1 ($\Lambda=704155354$)

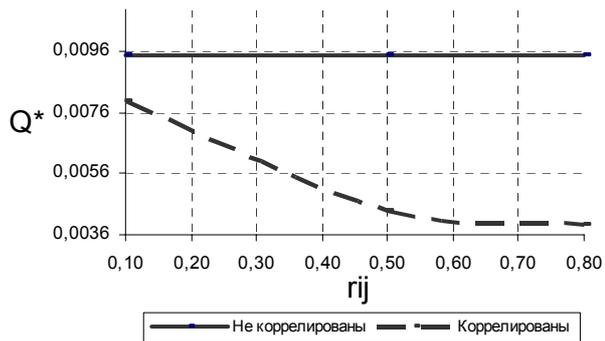


Рис. 2 ($\Lambda=796277967$)

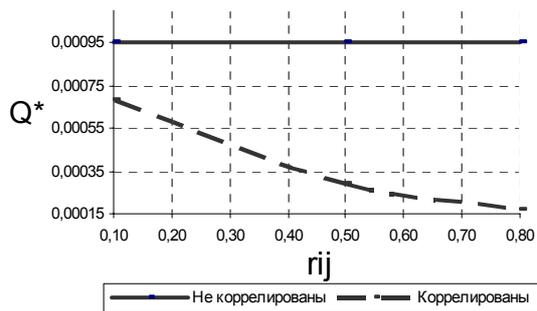


Рис. 3 ($\Lambda=870219049$)

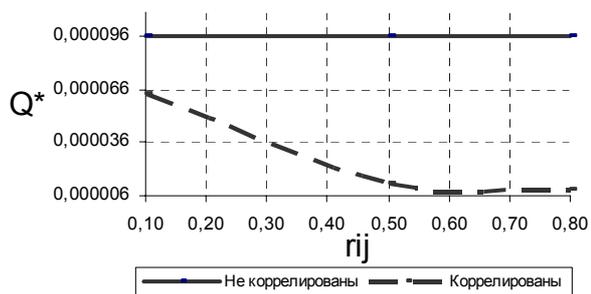


Рис. 4 ($\Lambda=934398849$)

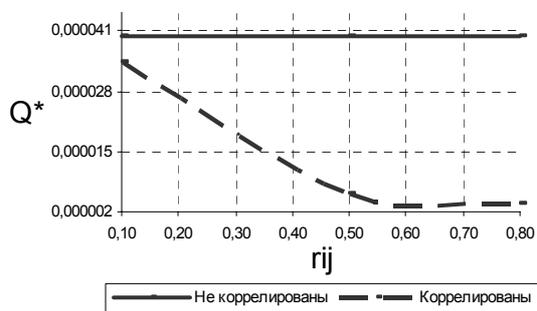


Рис. 5 ($\Lambda=950000000$)

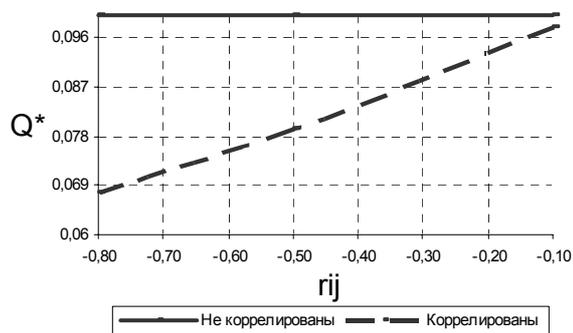


Рис. 6 ($\Lambda=704155354$)

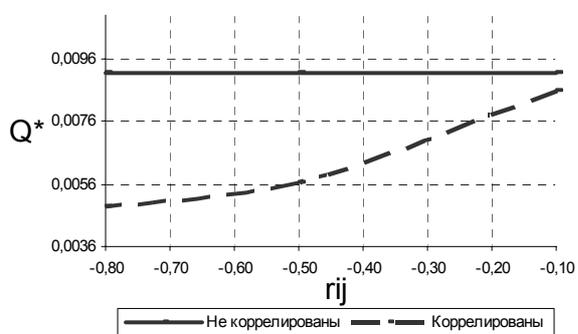


Рис. 7 ($\Lambda=796277967$)

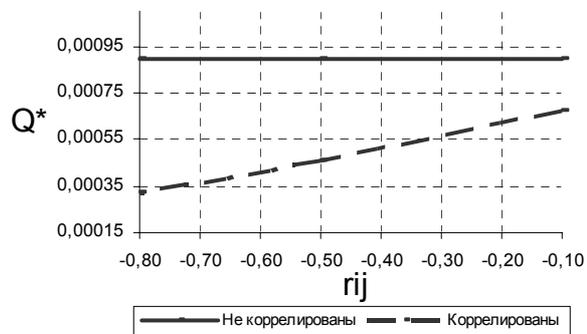


Рис. 8 ($\Lambda=870219049$)

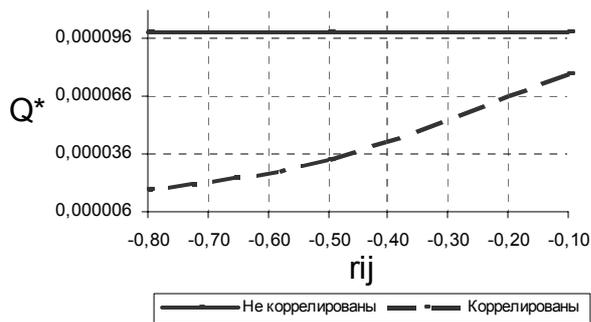


Рис. 9 ($\Lambda=934398849$)

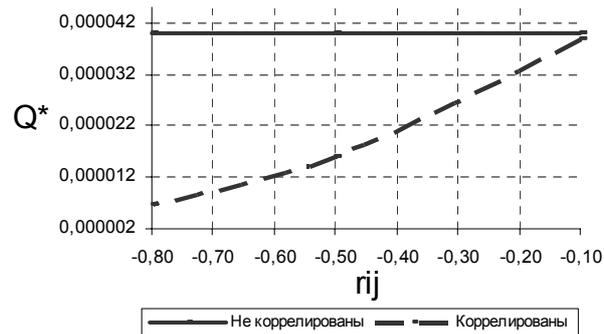


Рис. 10 ($\Lambda=950000000$)

Выводы

В результате исследований, проведенных в данной работе, можно сделать следующие выводы:

1. Корреляция компонент вектора η оказывает существенное влияние на значение вероятности потери работоспособности. Это влияние тем больше, чем больше:
 - уровень оцениваемой вероятности;
 - коэффициенты корреляции.
2. Для оценки вероятности потери работоспособности необходимо учитывать корреляцию случайных параметров, т.к. конечный результат может отличаться на порядок.

Список литературы

1. Айзенберг Я.Е., Сухоревый В.Г. Проектирование систем стабилизации носителей космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Сухоревый В. Г. Вероятностные методы проектирования технических объектов. – Х: ХАИ, 1990. – 103 с.
3. Сухоревый В.Г. Определение объема статистического моделирования для оценки проектной вероятности работоспособности технических объектов// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: ХАИ. – 2000. – Вып. 7. - С. 49 - 51.
4. Сухоревый В.Г. Оценка вероятности работоспособности технических объектов с помощью ускоренного статистического моделирования// Авиационно-космическая техника и технология. - Х.: ХАИ. – 2000. – Вып. 19. - С. 215 - 218.
5. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования. – М.: Наука, 1976. – 319 с.
6. Вероятностные характеристики прочности авиационных материалов и размеров сортамента: Справочник/Под ред. С.О. Охупкина. - М.: Машиностроение, 1970.- 568 с.

Синтез алгоритма автоматического квантования знаний для принятия решений при планировании технической эксплуатации радиотехнических систем и комплексов

Харьковский университет Воздушных Сил

1. Введение

Перед должностными лицами, ответственными за организацию технической эксплуатации (ТЭ) радиотехнических систем и комплексов (РТС и К), обеспечивающих полеты, стоит важная и сложная задача – организовать ТЭ сложных и дорогостоящих РТС и К таким образом, чтобы в течение всего срока службы обеспечить их сбережение и работоспособное состояние, постоянную готовность к применению по назначению и высокую эксплуатационную надёжность. Практически во всех случаях, процесс планирования ТЭ связан с принятием решений при наличии недостаточно достоверных данных. Должностное лицо, принимающее решение (ЛПР), осуществляет планирование ТЭ при недостатке и неполноте информации о реальном качественном состоянии РТС и К и их составных частей, уровне обеспеченности РТС и К запасным имуществом и расходными материалами, квалификации обслуживающего персонала и динамике изменения этих характеристик. Кроме этого, ЛПР сталкивается с необходимостью планирования самых разнообразных работ на сложных системах и технических устройствах, отличающихся как конструктивно, так и по принципу работы. Решение таких задач невозможно без привлечения средств искусственного интеллекта и математического моделирования процессов извлечения и обработки знаний [1].

Таким образом, **актуальной** является задача разработки знаниеориентированных систем компьютерной поддержки принятия решений (ЗСППР), которые предоставляют ЛПР оптимальные планирующие решения, получаемые с учетом знаний экспертов и реальной информации о состоянии РТС и К и всех обеспечивающих ресурсов.

2. Постановка задачи

В настоящее время широкое применение при планировании ТЭ РТС и К находят методы сетевого планирования, позволяющие всесторонне и достаточно точно учитывать особенности комплексных работ на технике. Другим подходом, позволяющим моделировать задачи ТЭ, является применение теории массового обслуживания [2]. При всех достоинствах этих методов, следует отметить, что они базируются на вероятностных моделях, что существенно ограничивает область их применения и не позволяет адекватно представить процесс ТЭ РТС и К, так как в реальной практике управления сложными процессами, как правило, законы распределения случайных величин неизвестны или известны частично [3]. Современные системы поддержки принятия решений строятся обязательно с применением новейших достижений в области инженерии знаний [4].

Для построения эффективных ЗСППР в исследуемой предметной области в

работах [1, 5-7] разработана теория моделей представления нечетких (π -квантов) знаний, а также эффективная информационная технология манипулирования ими при решении практических задач вывода решений в условиях неопределенности. Предложенный метод нечетких разноуровневых алгоритмических квантов знаний (π РАКЗ - метод), в отличие от существующих, обеспечивает компьютерный синтез π РАКЗ-моделей нечетких (π к-знаний), а также алгоритмическое манипулирование ими средствами векторно-матричных операторов индуктивного и дедуктивного вывода знаний [5]. Опираясь на эти результаты, в данной работе сформулирована и **решена задача** синтеза алгоритма автоматического квантования (структурирования) входной информации в классе π к-знаний, на базе использования которого реализуется π -квантовая сеть вывода решений (π -КСВР) в условиях неопределенности, **с целью** создания ЗСППР для автоматизированного принятия приближенных решений при планировании технической эксплуатации радиотехнических систем и комплексов.

Особенностью формулируемой в данной работе задачи является впервые предпринятая попытка комплексной алгоритмизации предложенных моделей человеческих причинно-следственных рассуждений в процессах знаниеориентированного принятия решений на основе использования обучаемой логической сети нечетких рассуждений (ЛСНР). После обучения и квантования знаний ЛСНР трансформируется в активную π -КСВР, которая одновременно служит базой квантов знаний и механизмом принятия решений.

Очевидно, что π -КСВР для проблемной области планирования технической эксплуатации РТС и К, обеспечивающих полеты, может выполнять роль «машины вывода» в ЗСППР целевого назначения [7].

Пусть целевая сцена знаниеориентированного принятия решений представлена исходной информацией в форме нечеткого текста-сценария (НТ-С) как естественно-языковой совокупности нечетких высказываний о характеристиках (признаках) объекта принятия решений (ОПР) $\omega \in \Omega$. Нечеткими назовем тексты, содержащие хотя бы одно из нечетких высказываний, связанных логикой «И», «ИЛИ», «НЕ» по импликативной схеме «посылка \rightarrow следствие» относительно целевых признаков-следствий $x_{1ц}, x_{2ц}, \dots, x_{3ц}$. Пусть НТ-С состоит из системы логически связанных элементарных нечетких подтекстов (ЭНП), т.е. строк с импликативными структурами относительно одного целевого признака $x_{iц} (i = \overline{1, s})$. ЭНП содержит имена соответствующих нечетких и лингвистических переменных, посылок и следствий (импликаций) с указанием их показателей достоверности (ПД) и символов «gev» или «ngev» в зависимости от обратимости или необратимости импликаций [5]. Очевидно, ЭНП отвечает отдельному π -кванту знаний определенного уровня, а НТ-С описывает сеть многоступенчатых рассуждений на основе системы разноуровневых π -квантов заранее неизвестного уровня. Он формируется в π РАКЗ - моделях автоматически и зависит от объективного сценария, описываемого ЭНП, а не от субъективных факторов.

Задача квантования информации в классе π к-знаний формулируется так: по заданному НТ-С проблемной области принятия решений требуется построить семантически адекватную доменизированную структуру π -кванта знаний соответствующего уровня с требуемым количеством доменов и возможностью расширяемого их резервирования. В процессе квантования обеспечивается возможность расширения конструируемого π -кванта посредством предложенной рекурсивной процедуры резервирования. Для реализации динамичности

квантовой структуры тк-знаний предусмотрены специальные символы признаков расширения домена и т-кванта в целом. Символ « \emptyset » в поле домена является признаком расширения домена, а комбинация символов « $:\emptyset|\emptyset:$ » между двоеточиями служит признаком расширения т-кванта. По этим признакам при необходимости может увеличиваться как мощность отдельного домена, так и объем всего т-кванта за счет автоматического добавления новых доменов.

Автоматическое квантование информации позволяет создать комплекс эффективных средств для обеспечения замкнутого технологического цикла обработки, оптимизации тк-знаний и процесса принятия решений посредством т-КСВР. Отсюда вытекает необходимость и принципы построения синтезируемого алгоритма автоматического квантования знаний (АЛКВАЗН+).

3. Синтез и обоснование алгоритма решения задачи автоматического квантования знаний

Алгоритмизация решения поставленной задачи сводится к синтезу алгоритма реализации общей методики с учетом определения т-КСВР [7].

Алгоритм АЛКВАЗН+.

Вход: файл ЛСНР в форме графа $G = (E, \Gamma)$; файлы входных посылок $\phi(N_0)$, промежуточных $\phi(N_1), \dots, \phi(N_{S-1})$ и целевых следствий $\phi(N_S)$.

Выход: т-квантовая сеть вывода решений, соответствующая заданному НТ-С принятия решений.

Действия:

1. Организовать цикл обзора уровней N_0, N_1, \dots, N_S и выделить вершины $X_i \in N_0$ с предлагаемыми известными ПД $d[\bullet]$, присвоить им имена т-квантов 0-го уровня, из которых затем будут формироваться домены т-квантов старших уровней, отвечающих вершинам из уровней N_0, N_1, \dots, N_S .

2. Выделить вершины ЛСНР $X_i \in N_1$, присвоить им имена соответствующих подлежащим построению т-квантам определенного уровня и последовательно конструировать т-кванты из подмножества N_1 согласно дугам-импликациям и связкам «И», «ИЛИ», «НЕ». При этом уровень строящегося т-кванта определяется количеством независимых (не связанных связками «И», «ИЛИ») дуг-импликаций, входящих в вершину X_i с именем т-кванта. Одна дуга $E_i \rightarrow C_j$ порождает т-квант 1-го уровня с двумя активными доменами, содержащими, как минимум, две компоненты. Одна из них равна значению e_i посылки E_i с ее ПД $d[e_i]$, т.е. « $e_i|d[e_i]$ » в 1-м домене, а вторая содержит значение « \emptyset », т.е. резервная. Второй домен строится по аналогии для следствия C_j с первой компонентой « $c_j|d[\rightarrow c_j]$ » и второй резервной. Последний пассивный домен определяет выход т-кванта и содержит запись « $:1|d[c_j](rev)$ », что означает: «общее заключение т-кванта с именем C_j справедливо с вычисленной достоверностью $d[c_j]$ (обратно)». Такой выходной домен всегда непосредственно следует за целевым доменом, признаком которого является наличие компоненты относительно следствия « $c_j|d[\rightarrow c_j]$ ».

Если несколько дуг $E_i \rightarrow C_j$ со связками «И», «ИЛИ», «НЕ» сходятся в одном узле-следствии $C_j(j - \text{зафиксировано}, i = \overline{1, l})$, то связка «ИЛИ» обуславливает формирование нескольких компонент в одном домене разделенных запятыми, связка «И» - формирование нового домена отделенного двоеточием «:», а наличие связки «НЕ» приводит к заполнению ячейки отрицания соответствующей компоненты или ее значения «0» либо домена «O» в одном п-кванте 1-го уровня.

Если несколько дуг $E_i \rightarrow C_j$ сходятся в одном узле-следствии $C_j(j_c = \overline{1, l})$, то формируется матричный квант 2-го уровня с именем C_j , состоящий из l п-квантов (строк матрицы) 1-го уровня. Выходной домен п-кванта 2-го уровня содержит запись

$$\begin{array}{l} :1d[1c_j](rev) \\ :1d[2c_j](rev) \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ :1d[lc_j](rev) \end{array} \Bigg| 1d[c_j](rev),$$

которая означает, что общее заключение п-кванта 2-го уровня с именем C_j справедливо с вычисляемой достоверностью $d[c_j]$ (обратимо), зависящей от ПД $d[1c_j]d[2c_j], \dots, d[lc_j]$.

Если конструируемый п-квант с необратимым ($nrev$) следствием имеет отрицательный ПД посылки, то п-квант исключается как противоречивый.

3. Продолжать действие 4 в цикле, пока не исчерпается последний уровень N_S ЛСНР.

4. Сформировать п-квантовую сеть вывода решений в соответствии с заданным НТ-С принятия решений.

4.1. Присвоить всем ПД компонент доменов всех п-квантов значение «0.0».

4.2. Выделить в качестве ВХОДА п-КСВР все п-кванты 0-го уровня, отвечающие исходным посылкам, значения и достоверности которых известны либо выясняются посредством вопросов экспертам или пользователю.

4.3. Зафиксировать совокупность целевых характеристик ОПР, относительно которых должен осуществляться вывод решений с возможностью варьирования комбинации их значений.

4.4. Определить структуру и семантику выходных сообщений и сформировать файл п-квантовой сети вывода решений в форме квантовой сценарной матрицы (СМ) графа $G_{\text{пк}} = (E_{\text{пк}}, \Gamma_{\text{пк}})$ (СМ может быть избыточной, либо безизбыточной) в терминах символьного языка $S_{\text{п}}$ и семантических кодов $Q_{\text{п}}$ в $A_{\text{п}}$ -задаче [5].

5. Конец.

4. Пример решения задачи квантования знаний для принятия решений при определении сроков проведения технического обслуживания радиостанций

В качестве примера решения задачи квантования знаний для автоматизированного принятия решений при планировании ТЭ РТС и К авиационного соединения рассмотрим процесс определения сроков проведения технического обслуживания (ТО) в объеме ТО-2 радиостанций Р-161А2.

Основные исходные данные для решения фрагмента указанной задачи приведены в [1]. Исходя из анализа руководящих документов по организации эксплуатации РТС и К, наиболее приемлемыми сроками для проведения работ по ТО в объеме ТО-2 являются следующие месяцы: апрель, июль, октябрь. На выбор конкретного месяца проведения ТО, оказывают влияние следующие факторы:

1. Нарботка радиостанции после последнего ТО-2;
2. Обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции материально-техническими средствами (М-ТС);
3. Обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции людскими ресурсами;
4. Обеспеченность проведения ТО-2 радиостанции специализированными бригадами;
5. Интенсивность оперативной работы радиостанции;
6. Готовность измерительных приборов и устройств для проведения ТО-2;
7. Возможные погодные условия.

Данный перечень факторов не является полным, но и он показывает, насколько трудна задача выбора оптимального времени проведения ТО, так как, в основном, исходные данные являются неполными и неточными, некоторые из них не поддаются формализации и выражают качественную сторону состояния системы технического обслуживания.

Требования к представлению НТ-С многоступенчатых рассуждений для последующего синтеза π-КСВР приведены в [5]. Проиллюстрируем на примере 1 методику формального задания исходного НТ-С, описывающего сценарий принятия решений относительно трех целевых заключений С4, С5 и С6.

Пример 1. Пусть сценарий предусматривает необходимость вывести заключение о предпочтении ситуаций, характеризующихся целевыми следствиями С4 (проведение ТО-2 в апреле), С5 (проведение ТО-2 в июле) и С6 (проведение ТО-2 в октябре), в зависимости от наиболее существенных наблюдаемых нецелевых признаков ОПР (входных посылок): Е1 – наработка радиостанции после последнего ТО-2, который принимает значения (Е1-1 – малая, Е1-2 – средняя, Е1-3 – большая); Е2 – обеспеченность проведения ТО-2 М-ТС, который принимает значения (Е2-1 – недостаточная, Е2-2 – достаточная) с заданными гипотетическими значениями ПД:

$d[e_1^1] = 0.1, d[e_2^1] = 0.5, d[e_3^1] = 0.4, d[e_1^2] = 0.6, d[e_2^2] = 0.4$, а также импликаций:

$$d[(E1-3 \wedge E2-2) \rightarrow C1] = 0.7(\text{rev}), d[C1 \rightarrow C4] = 0.8(\text{nrev}),$$

$$d[(E1-1 \vee E1-2 \vee E1-3) \rightarrow C2] = 0.8(\text{rev}), d[(C2 \wedge E2-2) \rightarrow C3] = 0.5(\text{nrev}),$$

$$d[C3 \rightarrow C5] = 0.4(\text{nrev}), d[C3 \rightarrow C6] = 0.6(\text{nrev}), d[(C2 \wedge E2-1) \rightarrow C6] = 0.7(\text{nrev}).$$

Тогда фрагмент НТ-С для определения сроков проведения ТО-2 радиостанций Р-161А2 имеет вид:

1. Если $(E1-3|0.4 \wedge E2-2|0.4)$ ТО $C1|0.0; d[(E1-3 \wedge E2-2) \rightarrow C1] = 0.7(rev)$,
2. Если $C1|0.0$, ТО $C4|0.0; d[C1 \rightarrow C4] = 0.8(nrev)$,
3. Если $(E1-1|0.1 \vee E1-2|0.5 \vee E1-3|0.4)$, ТО $C2|0.0; d[(E1-1 \vee E1-2 \vee E1-3) \rightarrow C2] = 0.8(rev)$,
4. Если $(C2|0.0 \wedge E2-2|0.4)$, ТО $C3|0.0; d[(C2 \wedge E2-2) \rightarrow C3] = 0.5(nrev)$,
5. Если $C3|0.0$, ТО $C5|0.0; d[C3 \rightarrow C5] = 0.4(nrev)$,
6. Если $C3|0.0$, ТО $C6|0.0; d[C3 \rightarrow C6] = 0.6(nrev)$,
7. Если $(C2|0.0 \wedge E2-1|0.6)$, ТО $C6|0.0; d[(C2 \wedge E2-1) \rightarrow C6] = 0.7(nrev)$,
8. Конец.

(1)

Воспользуемся заданными значениями ПД входных посылок, а также импликаций из примера 1 для иллюстрации решения задачи квантования.

Руководствуясь действиями алгоритма АЛКВАЗН+ и входными данными НТ-С (1), проиллюстрируем методику алгоритмического конструирования разноуровневых п-квантов, составляющих п-квантовую сеть вывода приближенных решений должностных лиц ответственных за планирование ТЭ РТС и К частей связи и РТО авиационного соединения.

После выполнения действия 1 алгоритма АЛКВАЗН+ получаем пРАКЗ-модели п-квантов 0-го уровня:

$$pk_0E1 = [e_1^1|0.1; e_2^1|0.5; e_3^1|0.4; \emptyset; O], pk_0E2 = [e_1^2|0.6; e_2^2|0.4; \emptyset; O] \quad (2)$$

Используя п-кванты (2) и выполняя действия 2, 3 алгоритма АЛКВАЗН+, конструируем последовательно очередные разноуровневые п-кванты в форме векторно-матричных пРАКЗ-моделей 1-го и 2-го уровней.

Так, относительно следствия $C1$ имеем две импликации « $E1-3 \rightarrow C1$ » и « $E2-2 \rightarrow C1$ », связанные условием «И» с ПД $0.7(rev)$ в импликации « $(E1-3 \wedge E2-2) \rightarrow C1$ ». Это приводит к п-кванту 1-го уровня pk_1C1_1 :

$$pk_1C1_1 = \left[\begin{array}{l} e_3^1|d[e_3^1]; \emptyset; O, \emptyset, O : e_2^2|d[e_2^2]; \emptyset; O, \emptyset, O : \emptyset|\emptyset : \\ : c1|d[(E1-3 \wedge E2-2) \rightarrow C1]; O, \emptyset, O : 1|d[c1](rev) \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} e_3^1|0.4; \emptyset; O, \emptyset, O : e_2^2|0.4; \emptyset; O, \emptyset, O : \emptyset|\emptyset : c1|0.7; O, \emptyset, O : 1|0.0(rev) \end{array} \right] \quad (3)$$

Относительно импликации « $C1 \rightarrow C4$ » получаем трехдоменную структуру

$$pk_1C4_2 = [c1|d[c1]; O, \emptyset, O : c4|d[C1 \rightarrow C4]; O, \emptyset, O : \emptyset|\emptyset : 1|d[c4](nrev)] = [c1|0.0; O, \emptyset, O : \emptyset|\emptyset : c4|0.8; O, \emptyset, O : 1|0.0(nrev)] \quad (4)$$

где 1-й активный домен отвечает промежуточному целевому признаку $C1$ и содержит: компоненту с ее нечетким значением « $c1|d[c1]$ », ячейку для задания отрицания посылки, резервную компоненту « \emptyset », а также ячейку задания отрицания домена. 2-й активный домен отвечает первому целевому следствию $C4$ и содержит: ячейку для задания отрицания следствия, резервную компоненту « \emptyset », ячейку задания отрицания домена. Третий домен является резервным. Четвертый (пассивный) выходной домен свидетельствует о необратимом следствии с неизвестным значением (0.0) ПД, пока п-квант не возбужден от

специального сигнала управления, обуславливающего вычисление $d[C4]$ общего заключения.

Следствие C2 зависит от выхода предыдущего п-кванта $\pi k_0 E1$, значения которого связаны условием «ИЛИ» в импликации « $(E1-1 \vee E1-2 \vee E1-3) \rightarrow C2$ ». Отсюда возникает п-квант 1-го уровня $\pi k_1 C2_3$:

$$\begin{aligned} \pi k_1 C2_3 &= \left[\begin{array}{l} e_1^1 | d[e_1^1]; e_2^1 | d[e_2^1]; e_3^1 | d[e_3^1]; \emptyset; O, \emptyset, O : \\ : c2 | d[(E1-1 \vee E1-2 \vee E1-3) \rightarrow C2]; O, \emptyset, O : 1 | d[c2](rev) \end{array} \right] = \\ &= \left[e_1^1 | 0.1; e_2^1 | 0.5; e_3^1 | 0.4; \emptyset; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : c2 | 0.8; O, \emptyset, O : 1 | 0.0(rev) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

Следствие C3 зависит от выходов предыдущих п-квантов $\pi k_1 C2_3$ и второго значения кванта $\pi k_0 E2$, связанных условием «И» в импликации « $(C2 \wedge E2 - 2) \rightarrow C3$ ». Отсюда возникает п-квант 1-го уровня относительно посылок $\pi k_1 C2_3$ и $\pi k_0 E2$:

$$\begin{aligned} \pi k_1 C3_4 &= \left[\begin{array}{l} c2 | d[c2]; O, \emptyset, O : e_2^2 | d[e_2^2]; \emptyset; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : \\ : c3 | d[(C2 \wedge E2 - 2) \rightarrow C3]; O, \emptyset, O : 1 | d[c3](nrev) \end{array} \right] = \\ &= \left[c2 | 0.0; O, \emptyset, O : e_2^2 | 0.4; \emptyset; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : c3 | 0.5; O, \emptyset, O : 1 | 0.0(nrev) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Второе целевое следствие C5 зависит от выхода предыдущего п-кванта $\pi k_1 C3_4$.

$$\begin{aligned} \pi k_1 C5_5 &= \left[c3 | d[c3]; O, \emptyset, O : c5 | d[C3 \rightarrow C5]; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : 1 | d[c5](nrev) \right] = \\ &= \left[c3 | 0.0; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : c5 | 0.4; O, \emptyset, O : 1 | 0.0(nrev) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

Относительно третьего целевого следствия C6 имеем две независимых импликации « $C3 \rightarrow C6$ » и « $(C2 \wedge E2 - 1) \rightarrow C6$ », что приводит к построению двух векторных п-квантов 1-го уровня, объединенных в один матричный п-квант 2-го уровня, относительно того же следствия C6.

$$\begin{aligned} \pi k_1^1 C6_6 &= \left[c3 | d[c3]; O, \emptyset, O : c6 | d[C3 \rightarrow C6]; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : 1 | d[c6](nrev) \right] \\ \pi k_1^2 C6_7 &= \left[\begin{array}{l} c2 | d[c2]; O, \emptyset, O : e_1^2 | d[e_1^2]; \emptyset; O, \emptyset, O : \\ : c6 | d[(C2 \wedge E2 - 1) \rightarrow C6]; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : 1 | d[c6](nrev) \end{array} \right], \end{aligned}$$

объединим в п-квант $\pi k_2 \| C6 \|$ с подстановкой в домены известных данных:

$$\pi k_2 \| C6 \| = \left[\begin{array}{l} \pi k_1^1 C6_6 = \left[c3 | 0.0; O, \emptyset, O : c6 | 0.6; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : 1 | 0.0(nrev) \right] \\ \pi k_1^2 C6_7 = \left[\begin{array}{l} c2 | 0.0; O, \emptyset, O : e_1^2 | 0.6; \emptyset; O, \emptyset, O : \\ : c6 | 0.7; O, \emptyset, O : \emptyset | \emptyset : 1 | 0.0(nrev) \end{array} \right] \end{array} \right] | 1 | 0.0(nrev), \quad (8)$$

где выходной домен матричного п-кванта содержит запись, указывающую значение ПД общего заключения.

В результате действия 4 алгоритма АЛКВАЗН+ выделены входы п-КСВР –

это π -кванты 0-го уровня (входные посылки) $\pi k_0 E1 - \pi k_0 E2$, содержимое которых изменяется в процессе ответов на поставленные вопросы либо при поступлении результатов наблюдений относительно целевых характеристик ОПР.

Таким образом, выражения (2)-(8) определяют разноуровневые π -кванты, составляющие π -КСВР при определении сроков проведения технического обслуживания радиостанций Р-161А2 в объеме ТО-2.

В результате проведенных вычислений было установлено, что наиболее предпочтительным сроком проведения ТО-2, исходя из заданных условий, является октябрь. Сравнение полученных результатов по определению сроков проведения технического обслуживания в объеме ТО-2 радиостанций Р-161А2 с результатами, полученными при традиционном планировании, свидетельствуют о повышении адекватности и информативности выходных данных, полученных с использованием экспертных заключений [1].

5. Выводы

1. Таким образом, авторами разработан и обоснован алгоритм АЛКВАЗН+, реализующий построение π -КСВР по известному НТ-С заданной сцены принятия решений.

2. Рассмотрен пример решения задачи квантования знаний для принятия решений при определении сроков проведения технического обслуживания радиостанций Р-161А2 в объеме ТО-2.

3. Практическое значение работы состоит в том, что разработанные алгоритмические средства представляют собой методологическую и технологическую основу для создания интеллектуальных информационных технологий и ЗСППР целевого назначения.

Список литературы

1. Медведев В.К., Колесников А.Н., Богданов А.Н. Знаниеориентированное принятие решений при планировании технической эксплуатации радиотехнических систем и комплексов в условиях неопределенности // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. - 2003. - № 3. - С. 164-172.

2. Ельчанинов А.Д. Теоретические основы эксплуатации радиоэлектронных систем дальней радиолокации. – Харьков: ХВУ. – 1995. – 314 с.

3. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений. – М.: СИНТЕГ. – 1998. – 361 с.

4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

5. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наукова думка, 2002. – 420 с.

6. Куренко А.Б., Сироджа И.Б. Синтез π -квантовой сети вывода решений для поддержки принятия решений в системе «руководитель полетов–летчик–летательный аппарат» // Радиоэлектроника и информатика. - 2003. - №2. - С. 85-89.

7. Сироджа И.Б., Колесников А.Н., Куренко А.Б., Богданов А.Н. Методика синтеза и управления функционированием π -квантовой сети вывода решений в компьютерных системах специального назначения // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2003". - Київ: НАУ. - 2003. – Том 1. - С.14.73-14.76.

Інформаційна підтримка прийняття управлінських рішень

*Національний аерокосмічний університет ім.М.Є. Жуковського «ХАІ»
Національний технічний університет України «КПІ»*

Вступ

У сучасних умовах керівникові, як правило, необхідно приймати багатофакторні рішення, при цьому для прийняття ефективних управлінських рішень необхідне використання складних математичних моделей, сучасних методів, програмних засобів та інформаційних технологій. Процеси прийняття рішень лежать в основі будь-якої цілеспрямованої діяльності: забезпечують створення виробничих і господарських організацій [1], їхнє оптимальне функціонування й взаємодію [2]; дозволяють виділити найважливіші наукові проблеми в дослідженнях, знайти способи їх вивчення; визначають розвиток експериментальної бази й теоретичного апарата; становлять важливий етап у проектуванні машин, пристроїв, приладів, комплексів, будинків, у розробці технологій [3,4]. Оптимальні управлінські рішення дозволяють досягати мети при мінімальних витратах трудових, матеріальних і сировинних ресурсів. У соціальній сфері процеси прийняття рішень використовуються для організації функціонування й розвитку соціальних процесів, їхньої координації з господарськими й економічними процесами, у суспільно-політичній - забезпечують ефективний рух України по шляху створення українського демократичного суспільства. Тому питання аналізу моделей і методів прийняття ефективних управлінських рішень особливо актуальні сьогодні як для розвитку економіки України, так і для врахування особливостей і закономірностей науково-технічного прогресу в країні.

Постановка задачі

Виходячи з вищевикладеного, метою статті є аналіз математичних моделей процесів прийняття управлінських рішень та їх властивостей, можливість використання сучасних методів прийняття технічних та економічних рішень в умовах невизначеності. Пропонується використовувати сучасні комп'ютерні технології й програмні засоби для інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень.

Моделі й алгоритми прийняття управлінських рішень

Розглянемо математичні моделі процесів прийняття управлінських рішень та їх властивості. Основною є задача прийняття рішень, що відповідають широкому колу практичних ситуацій [5], зокрема, рішень кадрових питань, оптимального розподілу ресурсів, проектування технологічних процесів та ін. У розглянутих та інших подібних ситуаціях загальним є таке. Існує множина варіантів (призначень робіт, кандидатів на посаду, схем технологічної обробки та ін.); потрібно виділити з неї деяку підмножину, в окремому випадку - один варіант. Вибір необхідних варіантів проводиться на основі уяви керівника про їхню якість. Уяву про якість варіантів характеризують принципом оптимальності. Задачею прийняття управлінських рішень є пара $\langle Q, ОП \rangle$, де Q - множина варіантів, $ОП$ -

принцип оптимальності; рішенням задачі $\langle Q, OP \rangle$ - множина $Q_{оп} \subseteq Q$, яка отримана за допомогою принципу оптимальності OP . Відсутність хоча б одного із зазначених елементів позбавляє сенсу задачу в цілому. Якщо немає множини Q , то виділяти управлінське рішення $Q_{оп}$ нема з чого. Якщо немає принципу оптимальності, то знайти рішення неможливо. Математичним виразом принципу оптимальності OP служить функція вибору $C_{оп}$. Вона зіставляє будь-яку підмножину $X \subseteq Q$ з її частиною $C_{оп}(X)$. Розв'язком $Q_{оп}$ вихідної задачі є множина $C_{оп}(Q)$.

Задачі прийняття управлінських рішень можна розрізнити залежно від наявної інформації про множину Q і принцип оптимальності OP . У загальній задачі прийняття управлінських рішень як Q , так і OP можуть бути невідомими. Інформацію, необхідну для виділення $Q_{оп}$, одержують у процесі рішення. Задача з відомим Q є задачею вибору, задача з відомими Q й OP - загальною задачею оптимізації. Таким чином, задача вибору й задача оптимізації є окремими випадками загальної задачі прийняття управлінських рішень. Особливість підходу, що тут розглядається, до рішення задачі вибору полягає в тому, що він у загальному випадку не потребує повного відновлення принципу оптимальності, а дозволяє обмежитися тільки інформацією, достатньою для виділення $Q_{оп}$. Загальна задача оптимізації може не припускати максимізації однієї або декількох числових функцій. Її зміст полягає у виділенні множини кращих елементів, тобто в обчисленні значення $C_{оп}(Q)$ при заданих Q і $C_{оп}$. Якщо $C_{оп}$ - скалярна функція вибору на множині Q , то одержуємо звичайну оптимізаційну задачу. Елементи множини Q є управлінськими альтернативами, або варіантами. Принцип оптимальності задає поняття кращих альтернатив: кращими вважають альтернативи, що належать $C_{оп}(Q)$.

Управлінські альтернативи мають багато властивостей, що впливають на рішення. Нехай деяка властивість альтернатив з Q виражається числом, тобто існує відображення $\varphi: Q \rightarrow E_1$. Тоді таку властивість називають критерієм, а число $\varphi(x)$ - оцінкою управлінської альтернативи x за даним критерієм. При прийнятті рішень одночасне урахування окремих властивостей може бути неможливим. При цьому виділяють групи властивостей, які агрегують у вигляді аспектів. Аспект являє собою складну властивість управлінських альтернатив, що одночасно враховує всі властивості, що входять до відповідної групи. В окремому випадку аспект може бути критерієм.

Процес рішення задачі $\langle Q, OP \rangle$ організують за такою схемою: формують множину Q , тобто готують управлінські альтернативи, а потім вирішують задачу вибору. У процесі формування множини Q використовують умови можливості й припустимості управлінських альтернатив, які визначаються конкретними обмеженнями задачі. При цьому вважають відомою універсальну множину Q_v всіх можливих альтернатив. Задача формування Q є задачею вибору $\langle Q_v, OP_1 \rangle$, де OP_1 - принцип оптимальності, що виражає умови припустимості управлінських альтернатив. Множину $Q = C_{оп}(Q_v)$, що отримана в результаті розв'язання зазначеної задачі вибору, називають вихідною множиною управлінських альтернатив (ВМУА). Наприклад, у кадрових питаннях при призначенні на посаду як Q_v розглядають всіх фахівців. Умови припустимості визначаються конкретними обов'язками, передбаченими посадою, зарплатою й іншими факторами.

Розглянемо процес формування множини управлінських альтернатив і прийняття управлінських рішень на прикладі. В результаті аудиту діяльності ЗАТ «Чернігівська мононіть» на відповідність ДСТУ ISO 9001 було виявлено невідповідності. Аудит проводився згідно з вимогами ДСТУ ISO 19011.

Перевірено процес «Моніторинг і вимірювання процесів» у відділі реалізації продукції, відділі постачання, відділі технічного контролю, а також виконання вимог методик «Управління документацією і протоколами», «Аналіз вимог споживача», «Оцінка задоволеності споживача», «Вибір і оцінка постачальника», «Організація закупівель», «Вхідний контроль».

Результати, висновки: в цілому дані процеси системи управління якістю відповідають вимогам ДСТУ ISO 9001 і розробленим процедурам. Водночас при проведенні аудиту було виявлено п'ять невідповідностей. Для їх ліквідації необхідно прийняти управлінські рішення.

1. Невідповідність у відділі реалізації продукції:

не виконується вимога п. 6.2.2 «Компетентність, обізнаність, і підготовка» ДСТУ ISO 9001 в частині необхідного рівня компетентності персоналу, залученого до робіт з вимірювання процесів.

Причина невідповідності: недостатня кваліфікація персоналу, що входить до складу комісії по вимірювання процесів.

Множина альтернатив управлінських дій для усунення причини невідповідності:

1. Начальнику відділу реалізації продукції в комісію з вимірювання процесів включити інших співробітників відділу.

2. Начальнику відділу реалізації продукції самому проводити вимірювання процесів у відділі.

3. Начальнику відділу реалізації продукції розробити план навчання членів комісії (співробітників відділу) з вимірювання процесів і провести навчання.

Альтернатива 3 вибрана корегуючою дією щодо вказаної невідповідності, оскільки в комісію з вимірювання процесів повинні залучатись фахівці, що пройшли навчання з вимірювання процесів.

Альтернатива 1 не була вибрана як корегуюча дія тому, що надалі це може призвести до такої ж невідповідності, оскільки фахівці не пройдуть спеціальне навчання.

Альтернатива 2 не вибрана корегуючою дією тому, що фахівці в комісії з вимірювання процесів мають бути взаємозамінними. Так само одна людина не може об'єктивно виміряти процеси, і для цього має бути призначена комісія.

2. Невідповідність у відділі постачання:

не виконується вимога п. 7.4.1 «Процес закупівлі» в частині повторного оцінювання постачальників.

Причина невідповідності: у методиці якості не встановлено критерії повторної оцінки постачальника.

Множина альтернативних рішень для усунення причини невідповідності:

1. Начальнику відділу постачання встановити і внести критерії повторної оцінки постачальників в методику якості «Вибір і оцінка постачальника».

2. Купувати продукцію тільки у надійних постачальників.

3. Вибирати постачальників, виходячи з їх здатності виробляти і поставляти продукцію відповідно до вимог підприємства.

Як корегуюча дія вибрана альтернатива 1, оскільки тільки при розроблених критеріях повторної оцінки постачальника можна зробити оцінку та висновки про подальшу співпрацю з ним.

Альтернатива 2 не може дати ефективного результату, оскільки постачальнику присвоюється статус «надійного» на момент укладення договору на постачання сировини і матеріалів, але по закінченні року постачальник може

здобути статус «незадовільного», а це свідчить про те, що необхідна повторна оцінка постачальника.

Альтернатива 3 не була вибрана як корегуюча дія, оскільки здатність постачальника виробляти і поставляти продукцію відповідно до вимог підприємства не дає гарантії, що постачальник протягом року виконуватиме всі договори і зобов'язання в строк У зв'язку з цим необхідна повторна оцінка постачальника.

3. Невідповідність у відділі постачання:

не виконується вимога п.7.4.2 «Інформація, яка стосується закупівлі» в частині забезпечення встановлених закупівельних вимог продукції в договорах. Причина невідповідності: відсутність процедури оформлення договорів.

Альтернативи дій усунення причини невідповідності:

1. Начальнику відділу постачання контролювати оформлення договорів.
2. Начальнику відділу постачання розробити положення про результат договорів.
3. Начальнику відділу постачання провести навчання персоналу стосовно складання договорів.

Альтернатива 2 вибрана корегуючою дією тому, що є найефективнішою з даних альтернатив, оскільки в положенні про укладення договорів має бути описана вся процедура складання, узгодження і укладення договорів.

Альтернатива 1 не була вибрана як корегуюча дія, оскільки начальник відділу постачання не завжди може проконтролювати всі договори через великий обсяг роботи і можливу відсутність на роботі (відрадження, відпустка, хворобі т. д.).

Альтернатива 3 не прийнята за корегуючу дію тому, що склад відділу постачання постійно поновлюється новими співробітниками і начальник відділу постачання не може постійно для нових співробітників проводити навчання.

Тому, у зв'язку з вищевикладеним, тільки розробка положення про укладення договорів принесе ефективний результат.

Отже, загальна задача прийняття управлінських рішень зводиться до розв'язання двох послідовних задач вибору. У процесі вирішення цієї задачі беруть участь: особа, що приймає рішення, експерти, консультанти.

Особою, що приймає рішення (ОПР), є людина, яка має мету, що служить мотивом постановки задачі та пошуку її рішення. ОПР, що є компетентним фахівцем у своїй галузі та має досвід діяльності в ній, має необхідні повноваження й відповідає за ухвалені рішення. У задачі прийняття управлінських рішень основна функція ОПР полягає у виділенні множини $Q_{оп}$. У розглядуваних процедурах прийняття управлінських рішень ОПР подає інформацію про принцип оптимальності.

Експертом (Е) є фахівець, що має інформацію про задачу, що розглядається, але не несе безпосередньої відповідальності за результат її розв'язання. Експерт дає оцінки управлінських альтернатив (μ), необхідні для формування ВМУА й вирішення задачі вибору. У випадку прийняття рішень у нечіткій та невизначеній обстановці ВМУА являє собою нечітку множину управлінських альтернатив Ω , кожному елементу якої поставлено у відповідність значення функції належності μ [6].

Консультантом (К) є фахівець із теорії вибору й прийняття рішень. Консультант розробляє модель вихідної задачі, процедуру ухвалення рішення, організує роботу ОПР та експертів при пошуку рішення. У найпростіших випадках задачу $\langle Q, OP \rangle$ вирішує безпосередньо ОПР без використання спеціальних процедур. Однак часто потрібні математичні моделі й методи, які допомагають ОПР одержувати обґрунтовані ефективні рішення.

Як правило, прийняття рішень відбувається в умовах невизначеності, коли наявної інформації недостатньо або має місце неточність даних, що зумовлено динамікою розвитку процесу. Сучасні математичні моделі й методи дозволяють забезпечити гнучкість при виборі й прийнятті управлінських рішень [6]. При гнучкому управлінні задача вибору оптимальних управлінських альтернатив розв'язується як задача нечіткого математичного програмування при нечіткій безлічі припустимих управлінських альтернатив Ω . Цільова функція C мінімізується на множині N_{α} тих альтернатив, які зі ступенем не менше α вважаються припустимими у вихідній задачі нечіткого математичного програмування. Розв'язок записується у вигляді

$$\mu_0(\Omega) = \sup_{\alpha} \alpha$$

$$\alpha : \Omega \in N_{\alpha} \quad ,$$

тобто його функція належності набуває значення, що дорівнює максимальному рівню α , для якого відповідна альтернатива Ω надає екстремум цільовій функції C . Його можна визначити також як

$$\mu_0(\Omega) = \begin{cases} \mu(\Omega), & \text{если } \Omega \in N_{\alpha} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким чином, якщо слід вибрати єдину управлінську альтернативу $\Omega^0 \in \Omega$, то вибір повинен ґрунтуватися не тільки на величині функції належності (ступеня належності альтернативи Ω^0 нечіткій множині припустимих управлінських альтернатив Ω), але й відповідному значенні цільової функції C . Замість задачі мінімізації при НМП ставиться задача задоволення вихідної мети, розв'язками якої крім альтернативи, що надає мінімум цільовій функції C , є й інші управлінські альтернативи, які можуть використовуватись як дублюючі. Таким чином, здійснюється вибір тих розв'язок із множини N_{α} , значення C для яких не перевищує деякого заданого значення.

Як і в інших випадках, прикладні результати теорії вибору та прийняття рішень мають вигляд алгоритмів розв'язання досліджуваних задач. Частина алгоритмів може бути реалізована вручну. У загальному випадку реалізація алгоритмів передбачає використання ЕОМ, оснащених терміналами й відповідним програмним забезпеченням для діалогового режиму роботи.

Концепція сховищ даних

Сучасні інформаційні технології дозволяють здійснювати підтримку прийняття управлінських рішень (ПУР) у різних сферах діяльності. Одним із цікавих підходів, що становлять інтерес із погляду інформаційної підтримки ПУР, є концепція сховищ даних. Вихідна концепція сховища даних була запропонована

фахівцями фірми IBM у вигляді "інформаційного сховища" і спочатку подана ними як рішення, що забезпечує доступ до даних, накопичених у нереляційних системах. Передбачалося, що таке інформаційне сховище дозволить організаціям використати їхні архіви даних для ефективного вирішення бізнес-завдань. Однак через надзвичайну складність і невисоку продуктивність подібних систем, створених на початкових етапах, перші спроби створення інформаційних сховищ в основному були відкинуті. З того часу до концепції сховищ інформації поверталися знову й знову, але тільки в останні роки потенціал технології сховищ даних став розглядатися як досить життєздатне рішення. Сховище даних - предметно-орієнтований, інтегрований, прив'язаний до часу та незмінний набір даних про об'єкти, процеси, призначений для підтримки прийняття рішень [8].

Існує досить багато визначень сховищ даних, причому найпочатковіші визначення в основному містять характеристики інформації, що знаходиться у сховищі. Подальші версії розширюють діапазон визначення сховища даних, включаючи до нього опис типу обробки даних, пов'язаної з доступом до даних з вихідних джерел і далі аж до надання даних особам, відповідальним за прийняття рішень [7].

Яким би не було визначення, кінцевою метою створення сховища даних є інтеграція даних у єдиному репозиторії, звертаючись до якого користувачі зможуть створювати запити, генерувати звіти й виконувати аналіз даних про необхідні об'єкти та процеси. Сховище даних є робочим середовищем для систем підтримки прийняття рішень, що імпортує дані, збережені в різних оперативних джерелах, організує їх і передає особам, відповідальним за прийняття рішень у даній організації. Підводячи підсумок, можна сказати, що технологія сховищ даних - це технологія керування даними і їхнім аналізом.

Переваги технології сховищ даних

При успішній реалізації сховища даних в організації можуть бути досягнуті певні переваги:

- Особи, відповідальні за прийняття рішень у даній організації, одержують доступ до раніше недоступної, невідомої інформації про об'єкти, процеси, тенденції, що раніше ніколи не використовувалась.
- Технологія сховищ даних підвищує ефективність праці осіб, відповідальних за прийняття рішень у даній організації за рахунок створення інтегрованої бази даних, яка складається з несуперечливої, предметно-орієнтованої інформації, що охоплює великий часовий інтервал. У цій базі дані, вибрані з декількох, як правило, несумісних між собою оперативних систем, інтегровані у формі, що дозволяє одержати єдине, розгорнуте в часі уявлення про діяльність об'єкта, динаміку процесів. Переробляючи вхідні дані в осмислену інформацію, сховище даних дозволяє керівній ланці виконувати більш змістовний, точний і погоджений аналіз процесу або діяльності об'єкта (підприємства, організації, об'єднання).

Незважаючи на це, концепція сховищ даних є більш прийнятною для підтримки прийняття управлінських рішень порівнянно з іншими інтелектуальними технологіями, наприклад експертними системами [8].

Таким чином, використання концепції сховищ даних для підтримки прийняття управлінських рішень дозволить керівній ланці виконувати більш змістовний, точний і погоджений аналіз процесів й об'єктів, що вивчаються, обґрунтовувати довгострокові стратегічні рішення.

Висновки:

1. Сучасним керівникам необхідно приймати багатофакторні рішення, при цьому для прийняття ефективних управлінських рішень необхідне використання складних математичних моделей, сучасних методів й алгоритмів.
2. Математичний апарат нечітких множин є ефективним інструментарієм для формалізації завдань управління. Введення нечіткості дозволяє розширити область пошуку припустимих рішень і зробити процес управління більш гнучким, урахувати реальний стан виробничого середовища на даний момент часу.
3. Застосування інформаційної технології сховищ даних підвищує ефективність праці осіб, відповідальних за прийняття рішень за рахунок створення інтегрованої бази даних, що складається з несуперечливої, предметно-орієнтованої інформації, що охоплює великий часовий інтервал.
4. У перспективі важливим є вивчення можливості застосування та апробація запропонованих моделей та технологій для підтримки прийняття управлінських рішень в системах менеджменту якості.

Список літератури:

1. Алиев Р.А. и др. Управление производством при нечеткой исходной информации.– М: Энергоатомиздат, 1991. – 238 с.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика.- М.: Наука, 1986. – 284 с.
3. Глоба Л.С., Лапа М.В. Технологии, методы и алгоритмы построения корпоративных систем конструкторско-технологической подготовки производства //Открытые информационные и компьютерные технологии: – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т. "ХАИ" – 2001. Вып. 10. – С.65-75.
4. Лапа М.В. Оптимизация и принятие решений при гибком проектировании технологических процессов // Зб. наук. пр. наук.-техн. конф. „Приладобудування 2004: стан і перспективи”. –К.: НТУУ "КПІ". – 2004. – С.76.
5. Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов.- М.: Наука, 1982. – 328с.
6. Борисов А. Н. Методы принятия решений в условиях неопределенности: Межвуз. сб. науч. тр.- Рига: РПИ, 1980.-160 с.
7. Коннолли Т., Бегг К., Страчан А. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение: Пер. с англ.- М: Изд. дом «Вильямс», 2000. – 1120 с.
8. Люгер Д. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: Пер. с англ.- М. :Изд. дом «Вильямс», 2003. – 864 с.

Подійно-орієнтована інформаційно-аналітична система підтримки життєвого циклу продуктів. Блок подання даних

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

Постановка проблеми в цілому і її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами

Подійно-орієнтована інформаційно-аналітична система підтримки життєвого циклу продуктів (ІАС ЖЦ) призначена для інтеграції й накопичення даних про події у життєвому циклі продуктів, і подання цих даних для виконання широкого спектра аналітичних задач. Важливим елементом ІАС ЖЦ є блок подання даних, що вирішує задачі, зв'язані з виконанням запитів користувачів. Дані у ІАС ЖЦ зберігаються у реляційній базі даних. Для виконання запитів щодо цих даних застосовується мова структурованих запитів – SQL. Написання текстів запитів потребує від користувача докладних знань про фізичну структуру накопичувача даних та досвіду роботи із SQL. Тому під час розробки блока подання даних необхідно приділяти значну увагу створенню зручного інтерфейсу для генерації текстів запитів без безпосереднього програмування на SQL. Такий генератор запитів має приховати від користувача особливості фізичної структури накопичувача даних, даючи взамін змогу оперувати під час створення запиту термінами предметної галузі, логічними зв'язками.

Створення генератора запитів і блока подання даних в цілому неможливе без розгляду реляційної моделі накопичувача даних і визначення особливостей запитів користувачів, чому й присвячена ця стаття.

Аналіз досліджень і публікацій, в яких розпочато вирішення проблеми і на які спирається автор

Загальні особливості реляційної моделі даних розглянуто у багатьох роботах, прикладом яких є [3]. У ній докладно розглянуті базові поняття реляційної моделі та наведено рекомендації щодо її розробки для конкретних інформаційних систем.

Технологія накопичувачів даних, запропонована В. Інмоном [1], дістала подальшого розвитку в роботах таких авторів як R. Kimball, T. Kelly, T. Moulder та ін.

У праці [4] було запропоновано ІАС ЖЦ як систему, що дозволяє інтегрувати дані про події у життєвому циклі продуктів. У праці [5] визначено уніфікований набір параметрів події, який дозволяв описати з прийнятним для багатьох аналітичних задач ступенем повноти дані про різні події. В праці [6] запропоновано зіркоподібну структуру накопичувача даних ІАС ЖЦ на рівні фактів і вимірів.

Не вирішені раніше частини проблеми, яким присвячено роботу

На цей час не вирішено такі частини проблеми:

- не розроблено реляційну модель накопичувача даних ІАС ЖЦ;
- не визначено особливості запитів користувача у ІАС ЖЦ.

Цим питанням й присвячена стаття.

Постановка задачі

Ціллю статті є розгляд реляційної моделі накопичувача даних ІАС ЖЦ і визначення особливостей запиту користувача у ІАС ЖЦ.

Основний матеріал дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Об'єкти ІАС ЖЦ, та їхнє відображення у накопичувачі даних ІАС ЖЦ

Об'єктами (сутностями) ІАС ЖЦ є:

- подія – E ;
- продукт, з яким відбулася подія, – G ;
- об'єкт, на якому відбулася подія, - O ;
- персону, з якою зв'язана подія, - P ;
- документ, що регламентує зміну стану продукту – подію, - R ;
- продукт більшого рівня ієрархії – “суперпродукт” – S .

Кожен з цих об'єктів описується відповідним набором параметрів-атрибутів Π_i :

$$\Pi_i = \{\Pi_{i1}, \dots, \Pi_{iN_i}\},$$

де N_i – кількість параметрів, що описують i -об'єкт,
 $i \in \{E, G, O, P, R, S\}$ – індекс об'єкта ІАС ЖЦ.

Ці параметри можуть бути як числовими, так і символічними:

$$\Pi_i = \{\Pi_{i1}, \dots, \Pi_{iNS_i}, \Pi_{iNS_i+1}, \dots, \Pi_{iN_i}\},$$

де NS_i – кількість символічних параметрів, що описують i -об'єкт,
($N_i - NS_i$) - кількість числових параметрів, які описують i -об'єкт.

Накопичувачі даних ІАС ЖЦ містить масиви даних про об'єкти ІАС ЖЦ - M_i . Масив даних є сукупністю значень параметрів для кожного екземпляра об'єкта (кортежів):

$$M_i = \{M_{ij}\},$$

де $j = 1..D_i$ – індекс екземпляра об'єкта;

D_i – кількість елементів масиву даних, тобто кількість об'єктів, що розглядаються у ІАС ЖЦ.

Реляційна модель накопичувача даних ІАС ЖЦ

Кожному об'єкту ІАС ЖЦ ставиться у відповідність відношення реляційної моделі накопичувача, а сама модель накопичувача ІАС ЖЦ є сукупністю зв'язаних таблиць–відношень.

Параметри об'єкта – стовпці відношення називають атрибутами відношення, а список імен атрибутів з відповідними назвами доменів (або типів даних) є схемою відношення.

Схеми відношень у реляційній моделі накопичувача даних ІАС ЖЦ подано у табл. 1-4.

Таблиця 1.

Схема відношення “Подія” (Events)

Назва параметра	Позначення параметра (атрибута)	Вид параметра	Допустимі функціональні залежності для синтетичних параметрів у запиті користувача	Допустимі операції у обмеженнях користувача
Ідентифікатор події	<i>Ev_ID</i>	числовий	немає	=
Дата події	<i>Ev_Date</i>	числовий	немає	=, ≠, ≤, ≥
Вид події	<i>Ev_Occur</i>	символьний	немає	≈ (“часткова рівність”)
Ідентифікатор продукту	<i>Goods_ID</i>	числовий	немає	=
Ідентифікатор “регламентуючого” документа	<i>Rgoods_ID</i>	числовий	немає	=
Ідентифікатор “суперпродукта”	<i>Sgoods_ID</i>	числовий	немає	=
Ідентифікатор персони	<i>Person_ID</i>	числовий	немає	=
Ідентифікатор об’єкта	<i>Obj_ID</i>	числовий	немає	=
Ідентифікатор зв’язаної події	<i>RefEv_ID</i>	числовий	немає	=
Признак актуальності події	<i>Close_Ev</i>	числовий	немає	=

“Ідентифікатор події” є сурогатним первинним ключем, що однозначно визначає кожний кортеж відношення “Подія” та забезпечує унікальність рядків відповідної таблиці накопичувача.

Для зв’язків відношення “Подія” з іншими відношеннями “Продукт”, “Суперпродукт”, “Документ”, “Персона”, “Об’єкт” застосовуються відповідні зовнішні ключі – ідентифікатори, які зв’язані з первинними ключами цих відношень. З усіма цими відношеннями “Подія” зв’язана зв’язками типу “один до багатьох”.

Таблиця 2.

Схема відношення “Персона” (Person)

Назва параметра	Позначення параметра	Вид параметра	Допустимі функціональні залежності для синтетичних параметрів	Допустимі операції у обмеженнях користувача
Ідентифікатор персони	<i>Pers_ID</i>	числовий	немає	=
Прізвище, ім’я, по батькові	<i>Pers_Name</i>	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Персони”, виділення прізвища, ім’я, по батькові у окремі поля	≈ (“часткова рівність”)
Посада персони	<i>Pers_Post</i>	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Персони”	≈ (“часткова рівність”)
Назва організації	<i>Pers_Firm</i>	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Персони”	≈ (“часткова рівність”)

Первинний ключ “Ідентифікатор персони” застосовується для встановлення зв’язку з відношенням “Подія”, відіграючи у ньому роль зовнішнього ключа.

Таблиця 3.

Схема відношення “Продукт” (Goods)

Назва параметра	Позначення параметра	Вид параметра	Допустимі функціональні залежності для синтетичних параметрів	Допустимі операції у обмеженнях користувача
Ідентифікатор продукту	Goods_ID	числовий	немає	=
Вид продукту	Goods_Class	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Продукту”	≈ (“часткова рівність”)
Повна назва продукту	Goods_Full	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Продукту”	≈ (“часткова рівність”)
Позначення та серійний номер продукту	Goods_Short	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Продукту”	≈ (“часткова рівність”)

Слід зазначити, що для опису сутностей “Суперпродукт” - SGoods та “Документ” - RGoods у накопичувачі ІАС ЖЦ застосовуються відображення таблиці “Продукт”. Такий підхід до архітектури накопичувачів даних з вимірами, які відіграють різні ролі, запропонував R. Kimball [2].

Первинний ключ “Ідентифікатор продукту” застосовується для встановлення зв'язку з відношенням “Подія”, відіграючи у ньому роль зовнішнього ключа.

Таблиця 4.

Схема відношення “Об’єкт” (Object)

Назва параметра	Позначення параметра	Вид параметра	Допустимі функціональні залежності для синтетичних параметрів	Допустимі операції у обмеженнях користувача
Ідентифікатор об’єкта	Obj_ID	числовий	немає	=
Назва об’єкта	Obj_Name	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Об’єкта”	≈ (“часткова рівність”)
Назва організації	Obj_Firm	символьний	Конкатенація з іншими символічними параметрами “Об’єкта”	≈ (“часткова рівність”)

Первинний ключ “Ідентифікатор об’єкта” застосовується для встановлення зв'язку з відношенням “Подія”, відіграючи у ньому роль зовнішнього ключа.

Загальні відомості про запит користувача

Введемо поняття запиту користувача U у ІАС ЖЦ.

У загальному вигляді запит містить перелік обмежень F_U , які накладаються на дані та перелік параметрів для їхнього подання - Π_U :

$$M_U = (\Pi_U, F_U),$$

де $\Pi_U = \{\Pi_{U1}, \dots, \Pi_{UN_U}\}$ – перелік параметрів у “відповіді” на запит користувача;

N_U – кількість параметрів;

F_U - сукупність обмежень у запиті користувача.

Перелік параметрів у “відповіді” на запит користувача є об’єднанням підмножин параметрів для кожного з об’єктів та підмножини “синтетичних” параметрів - Π_{CU} , що обчислюються на основі вже існуючих:

$$\Pi_U = \Pi_{EU} \cup \Pi_{GU} \cup \Pi_{OU} \cup \Pi_{PU} \cup \Pi_{RU} \cup \Pi_{SU} \cup \Pi_{CU}.$$

Результатом виконання запиту користувача є масив даних, що об’єднує відповідні масиви даних по об’єктах і обчислені “синтетичні” параметри M_{CU} :

$$M_U = \{M_{Ui}\} = M_{EU} \cup M_{GU} \cup M_{OU} \cup M_{PU} \cup M_{RU} \cup M_{SU} \cup M_{CU}, i=1..N,$$

де N – кардинальне число, або потужність відношення - запиту користувача, тобто кількість кортежів, яку містить результуючий масив.

До масиву даних по об’єкту M_{IU} включаються лише ті дані Π_{IUi} , які відповідають сукупності обмежень $F_i (\Pi_{Ii})$:

$$M_{IU} = \{\Pi_{IUi} \mid F_i (\Pi_{Ii})\}.$$

Заданий у запиті перелік параметрів для кожного об’єкта є підмножиною параметрів, за допомогою яких об’єкт описаний у ІАС ЖЦ: $\Pi_{IU} \in \Pi_i$.

“Синтетичні” параметри мають вигляд:

$$\Pi_{CU} = \{f(\{\Pi_{ij}\})_u\},$$

де Π_{ij} – параметри, що містяться у накопичувачі;

$j=1..Ni$ – індекс елемента набору параметрів, що застосовується для описання i -об’єкта;

f - функціональна залежність, яка є допустимою для параметрів Π_{ij} ;

$u=1..N_{CU}$ – індекс “синтетичного” параметра.

Перелік обмежень у запиті користувача є кон’юнкцією переліків обмежень щодо кожного об’єкта

$$F_U = F_E \wedge F_G \wedge F_O \wedge F_P \wedge F_R \wedge F_S,$$

де F_U – повний перелік обмежень у запиті користувача.

F_i – перелік обмежень щодо кожного об’єкта.

Обмеження F_i є сукупністю одиничних обмежень F_{ij} , кожне з яких має вигляд:

$$F_{ij} = \Pi_{ij} O_{ij}(V_{ij}),$$

де Π_{ij} – параметри, що містяться у накопичувачі;

$j=1..Ni$ – індекс елемента набору параметрів, що застосовується для описання i -об’єкта;

$O_{ij}(V_{ij})$ – операція, яка є допустимою для параметра Π_{ij} ;

V_{ij} – параметр операції, який задає користувач.

Для числових параметрів у ІАС ЖЦ застосовуються операції $=$, \neq , \leq , \geq .

Для символічних параметрів у ІАС ЖЦ визначимо операцію “часткова рівність”:

$$\Pi_{ij} \approx V \Leftrightarrow ((\Pi_{ijk} = V_k), k=1..L, L \leq M) \vee (\forall \Pi_{ij}, L=0)$$

де $\Pi_{ij} = \{\Pi_{ijm}\}$, $m=1..M$ – j -символьний параметр, що описує i -об’єкт;

M - довжина символічного параметра Π_{ij} ;

$V = \{V_l\}$, $l=1..L$ – рядок (масив) символів;

L – довжина рядка символів V .

Якщо $L=M$, то “часткова рівність” є “рівністю”: $\Pi_{ij} = V$. У випадку, коли $L=0$, обмеженню задовольняють всі дані.

Операції “часткова рівність” у SQL відповідає конструкція

$$(\text{Field_Value LIKE V||'\%'}),$$

де *Field_Value* - назва атрибута;

V - значення введеного користувачем параметра – рядок символів;

LIKE - оператор SQL;

|| - оператор конкатенації (об'єднання рядків);

% - символ, який заміщує будь-яку послідовність символів у рядку.

Одиничні обмеження гуртуються операціями кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення. Їм відповідають оператори SQL **AND**, **OR** та **NOT**.

Зазвичай, для задання запитів користувач мусить мати змістовні знання щодо особливостей фізичної структури накопичувача даних системи, та знати мову структурованих запитів – SQL. Значно знизити вимоги до його спеціальної підготовки дозволяють генератори запитів, які надають користувачу можливість за допомогою зручного інтерфейсу створювати текст запиту візуально, оперуючи лише поняттями предметної галузі.

Результатом вибору зі списку параметрів об'єктів ІАС ЖЦ, задання одиничних обмежень на значення параметрів та операторів об'єднання обмежень має бути відповідний текст запиту на SQL, виконання якого призведе до подання користувачу необхідних даних.

Для цього необхідно забезпечити наступні відповідності:

- параметрів предметної галузі (параметрів об'єктів ІАС ЖЦ) - P_U та атрибутів відношень - P_U ;
- об'єктів ІАС ЖЦ та відношень реляційної моделі ІАС ЖЦ - T_U ;
- створеної користувачем логічної “конструкції” обмежень та тексту обмеження мовою SQL - F_U .

Синтаксис такого запиту має вигляд:

SELECT P_U FROM T_U WHERE F_U ,

де P_U – перелік атрибутів у запиті користувача;

T_U - перелік відношень, атрибути яких застосовані у якості параметрів запиту користувача;

F_U - комплексне обмеження на дані, яке створюється об'єднанням одиничних обмежень із застосуванням логічних операцій.

Для створення генератора необхідно визначити перелік можливих обмежень на дані у запиті користувача.

Можливі обмеження на дані у запиті користувача

Обмеження на кортежі відношення “Подія”

Обмеження, які задає користувач у своєму запиті, складаються з обмежень на безпосередньо подію і обмежень на зв'язані з нею об'єкти – продукт, персону та ін.

Перша група складається з одиничних обмежень:

1. Рівність значення унікального ідентифікатора події Ev_ID_j заданому значенню ID_U , яке дозволяє однозначно виділити одну подію:

$FE_ID = (Ev_ID_j = ID_U)$.

2. Обмеження дати події часовими рамками $StartDate_U$ та $EndDate_U$:

$FE_Date = (StartDate_U \leq Ev_Date_j \leq EndDate_U)$.

3. Обмеження за видом події $Occur_U$:

$FE_Occur = (Ev_Occur \approx Occur_U)$

4. Обмеження за актуальністю події для пошуку актуальних подій у вигляді:

$FE_Close = (CloseEv = CloseEv_U)$,

де $CloseEv_U = 1$ під час пошуку неактуальних подій, або $CloseEv_U = 0$ - для актуальних подій.

5. Задання зв'язаної події:

$$F_{E_RefID} = (RefEv_ID_j = ID_U).$$

Сполучуваність (можливість застосування операції кон'юнкція) обмежень F_{E_i} представлена у табл.5.

Таблиця 5

Сполучуваність обмежень на кортежі відношення "Подія"

F_{E_i}	F_{E_ID}	F_{E_Date}	F_{E_Occur}	F_{E_Close}	F_{E_RefID}
F_{E_ID}	-	-	-	-	-
F_{E_Date}	-	-	+	+	+
F_{E_Occur}	-	+	-	+	+
F_{E_Close}	-	+	+	-	+
F_{E_RefID}	-	+	+	+	-

Операції диз'юнкція можуть застосовуватися для всіх обмежень F_{E_i} .

Друга група є сукупністю гуртових обмежень, які, в свою чергу, складаються з двох частин.

1. Частина, яка забезпечує цілісність посилань - зв'язків між відношеннями "Подія" та "Продукт", "Персона", "Об'єкт", "Суперпродукт", "Документ" у формі рівності значень відповідних ідентифікаторів у цільових кортежах, наприклад $Goods.Goods_ID = Events.Goods_ID$.

2. Частина, що безпосередньо обмежує кортежі відношень "Продукт", "Персона", "Об'єкт", "Суперпродукт", "Документ". Ці обмеження розглядатимуться далі.

Обмеження на кортежі відношення "Продукт".

Обмеження на кортежі відношення "Продукт" може бути:

- складовою частиною складного обмеження на дані про подію;
- обмеженням користувача у випадку, коли перелік параметрів у запиті користувача містить лише атрибути відношення "Продукт" та функціональні залежності від цих атрибутів: $\Pi_U = \Pi_{GU} \cup \Pi_{CGU}$.

Це обмеження об'єднується з використанням кон'юнкцій або диз'юнкцій з одиничних обмежень для кожного символічного атрибута, які завдаються за допомогою операції "часткової рівності":

$$F_{G_Class} = (Goods_Class \approx Class_U)$$

$$F_{G_Full} = (Goods_Full \approx Full_U)$$

$$F_{G_Short} = (Goods_Short \approx Short_U)$$

де $Class_U$, $Full_U$, $Short_U$ - обмеження користувача щодо значень параметрів "Вид продукту", "Повна назва продукту", "Позначення та серійний номер продукту".

Для пошуку конкретного продукту застосовується обмеження $F_{G_ID} = (Goods_ID = ID_U)$, яке не об'єднується з іншими обмеженнями на "Продукт".

Обмеження на кортежі відношення "Персона".

Обмеження на кортежі відношення "Персона" може бути:

- складовою частиною складного обмеження на дані про подію;
- обмеженням користувача у випадку, коли перелік параметрів у запиті користувача містить лише атрибути відношення "Персона" та функціональні залежності від цих атрибутів: $\Pi_U = \Pi_{PU} \cup \Pi_{CPU}$.

Це обмеження гуртується з використанням кон'юнкцій або диз'юнкцій з одиничних обмежень для кожного символного атрибута, які завдаються за допомогою операції "часткової рівності":

$$F_{P_Name} = (Pers_Name \approx Name_U),$$
$$F_{P_Post} = (Pers_Post \approx Post_U),$$
$$F_{P_Firm} = (Pers_Firm \approx Firm_U),$$

де $Name_U$, $Post_U$, $Firm_U$ - обмеження користувача щодо значень параметрів "Прізвище, ім'я, по батькові", "Посада персони", "Назва організації".

Для пошуку конкретної персони застосовується обмеження $F_{P_ID} = (Pers_ID = ID_U)$, яке не об'єднується з іншими обмеженнями на "Персону".

Обмеження на кортежі відношення "Об'єкт".

Обмеження на кортежі відношення "Об'єкт" може бути:

- складовою частиною складного обмеження на дані про подію;
- обмеженням користувача у випадку, коли перелік параметрів у запиті користувача містить лише атрибути відношення "Об'єкт" та функціональні залежності від цих атрибутів: $P_U = P_{OU} \cup P_{COU}$.

Це обмеження об'єднується з використанням кон'юнкцій або диз'юнкцій з одиничних обмежень для кожного символного атрибута, які завдаються за допомогою операції "часткової рівності":

$$F_{O_Name} = (Obj_Name \approx Name_U),$$
$$F_{O_Firm} = (Obj_Firm \approx Firm_U),$$

де $Name_U$, $Firm_U$ - обмеження користувача щодо значень параметрів "Назва об'єкта", "Назва організації".

Для пошуку конкретного об'єкта застосовується обмеження $F_{O_ID} = (Obj_ID = ID_U)$, яке не об'єднується з іншими обмеженнями на "Об'єкт".

Висновки з дослідження і перспективи подальшої роботи у даному напрямку

У цьому дослідженні розглянуто реляційну модель накопичувача даних ІАС ЖЦ, визначено особливості запиту користувача у ІАС ЖЦ, перелік можливих обмежень на значення даних у запиті. Подальшим напрямком роботи буде створення генератора запитів користувача.

Список літератури

1. Inmon W.H. Data Modeling for the Data Warehouse. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dbazin.com>.
2. Kimball R. Data Warehouse Role Models - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dbmsmag.com>
3. Петров В.Н. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2002. - 688 с.
4. Телепнев А.В. Информационная система поддержки жизненного цикла автоматизированных систем // Вісник Харк. нац. ун-ту ім. В.Н.Каразіна. Економічна серія. - Х.: 2003. - №608. – С.167 - 169.
5. Телепнев О.В. Подійно-орієнтована інформаційно-аналітична система підтримки життєвого циклу складних виробів. Визначення уніфікованого набору параметрів події // Открытые информационные и компьютерные технологии – Х: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». - 2005. - Вып. 27. - С.185 - 189.
6. Телепнев О.В. Структура накопичувача даних подійно-орієнтованої інформаційно-аналітичної системи підтримки життєвого циклу складних продуктів // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2005. - №2 (10). – С. 54 - 57.

Развитие инновационного бизнеса в Харьковском регионе на основе использования интеллектуальных активов

Харьковское государственное авиационное производственное предприятие

В нынешнем столетии происходят стремительные изменения в технике во всех ее областях. Все чаще мы употребляем словосочетания «инновационная экономика», «экономика, базирующаяся на знаниях». Это означает, что экономический рост Украины возможен только на инновационной основе.

Однако у предприятия, ведущего инновационную деятельность, неизбежно возникает вопрос: «как в гонке инноваций компенсировать затраты на разработку и производство новой техники?».

Понятия «инновации» и «инвестиции» тесно связаны, ведь основной приток инвестиций в промышленность возможен только при условии привлечения дополнительных инвестиций, как внутренних, так и внешних.

Высокий интеллектуальный потенциал Харьковского региона традиционно выделял наших земляков - деятелей науки и искусства – не только в Украине, но и в мире. Однако, на сегодняшний день существует проблема наиболее эффективного использования этого интеллектуального потенциала для роста промышленности, восстановления научно-исследовательских учреждений, развития предпринимательства, то есть формирования интеллектуального капитала региона.

Достижению этой цели способствует привлечение в производство интеллектуальной собственности, которая зачастую недостаточно используется на предприятиях. Важность вопросов охраны интеллектуальной собственности в Украине трудно переоценить. Достаточно сказать, что только в августе этого года правительство США отменило торговые санкции против Украины, введенные в 2002 году, в результате которых Украина понесла убытки на сумму \$75 млн [1]. Санкции были введены в части ограничения на импорт металла и другой продукции из-за проблемы борьбы с контрафактными лазерными дисками. В июле этого года Верховная Рада привела украинское законодательство по лазерным дискам в соответствие с требованиями ВТО, что позволило нашей стране вернуть преимущества в торговых отношениях с США.

Этот пример касается объектов авторского права. Что же происходит с изобретениями и ноу-хау в промышленности?

К сожалению, в Украине, показатель внедрения инноваций в производство довольно низкий:

- наукоемкость производства продолжает уменьшаться;
- общее количество прогрессивных разработок не увеличивается;
- наблюдается отсутствие связи наука– производство– бизнес.

Результаты научных исследований не внедряются в производство, новые идеи не материализуются в инновационные проекты, то есть не получают практического применения.

Мировой рынок лицензионной торговли оценивается в 73 млрд дол. в год (США – 30 %). Это торговля правами на изобретения и ноу-хау. Например, в США на НИОКР ежегодно затрачивается около 128 млрд дол. Каждые 10 дол. приносят 1 долл. чистого дохода [2]. А что происходит с наукой в Украине? Такое впечатление, что государство считает эту область убыточной. Дело в том, что если в государстве общие инвестиции в научную сферу не превышают 0,4 % ВВП, то функция науки является социокультурной, если не больше 0,8 % – познавательной, и только если больше 0,8 %, наука способна быть полноправной составляющей в экономическом прогрессе страны [3].

Несмотря на это, Украина все еще опережает ведущие страны по интеллектуальному потенциалу. Изобретательство было чрезвычайно развито в Украине до 90-х годов благодаря наличию научно-технических кадров, количество которых сейчас снизилось примерно в 5 раз из-за переквалификации и оттока за рубеж.

Кто же эти люди, которых мы называем изобретателями? Попробуем разобраться. Дело в том, что большинство людей мыслит стандартно, то есть рассуждает только о том, что находится в поле зрения. Людям, способным мыслить творчески, присущ оригинальный подход к решению поставленной задачи. Генерировать новые идеи создания нового продукта может только человек, способный найти неочевидные решения проблем, которые не лежат на поверхности [4].

Сегодня, пожалуй, трудно назвать профессию, у представителей которой не было бы своего профессионального праздника. Но вот третью субботу сентября имеют все основания считать особым днем те люди, чей талант раскрывается в совершенно разных сферах деятельности. Их всех объединяют пылкий ум, неистребимый дух творчества, умелые руки, постоянное стремление к совершенству. Речь идет о Дне изобретателя и рационализатора, который в этом году Украина отмечала уже 11-й раз со времен независимости.

Для сферы интеллектуальной собственности празднование этого дня стало доброй традицией. В разные дни по всей Украине были проведены праздничные мероприятия, состоялись научно-практические конференции, выставки изобретений, подведены итоги творческих конкурсов. А началось празднование,

как и полагается, со столицы. Именно сюда, в Киев, 16 сентября съехались представители интеллектуальной сферы деятельности, изобретатели и рационализаторы. Личные приглашения на праздник получили победители Всеукраинского конкурса "Изобретение–2004", в числе которых и Харьковское государственное авиационное производственное предприятие, победившее в номинации "Лучшее изобретение в области транспорта".

В рамках празднования Дня изобретателя и рационализатора в Украинском институте научно-технической и экономической информации (УкрИНТЭИ) прошла выставка отечественных изобретений из всех регионов нашей страны. Для представителей средств массовой информации состоялась пресс-конференция с участием председателя Госдепартамента интеллектуальной собственности Николая Палладия, представителей министерств и других государственных учреждений.

Это говорит о том, что наблюдается положительная динамика в направлении поддержки изобретательской деятельности в Украине. Создана достаточно широкая инфраструктура, разработана нормативная база в сфере охраны интеллектуальной собственности.

Но все же главной целью создания любого изобретения является его коммерциализация. Как уже отмечалось, решение этого вопроса пока замедлено. Одной из причин того, что интеллектуальный потенциал наших ученых, инженеров, изобретателей используется недостаточно, является отсутствие организационно-правовых механизмов регулирования инновационной деятельности.

Каковы же источники формирования инноваций предприятий? Современные предприятия, производящие сложную наукоемкую продукцию, ищут новые методы и подходы к упрочнению своего рыночного положения и увеличению прибыли. Патентование своих разработок – один из путей решения этой задачи. Патент на изобретение – новый прибор или технология производства – это путь от идеи к прибыли.

Для выполнения любого инновационного проекта необходимо не только благоприятное правовое поле в стране, но и наличие высококвалифицированных менеджеров по управлению процессом развития инноваций. Как уже отмечалось, ни один проект не может быть реализован без использования объектов интеллектуальной собственности. Именно они находятся на острие достижений науки и техники, являются вершиной изобретательского творчества. Необходимо как можно более эффективно вовлекать эти объекты в хозяйственный оборот. Это даст предприятию дополнительные конкурентные преимущества и позволит в том числе:

- получить средства для дальнейшего развития производства;
- стимулировать научно-технических работников;
- получить значительные дивиденды в виде роялти владельцами патентных прав;
- развивать наиболее перспективные, так сказать, прорывные, проекты будущего для завоевания новых рыночных позиций;
- пополнить бюджет страны.

Кроме того, для улучшения инновационного климата необходимо на государственном уровне уделять внимание развитию науки и образования в нашем городе. Харьков был и остается лидером по количеству научных учреждений и ВУЗов, однако необходимо обеспечить более эффективную интеграцию научного потенциала в промышленность региона.

В качестве примера успешного использования интеллектуального потенциала в производстве можно привести и Харьковский авиазавод. Только за счет одной рационализации предприятие получило сотни тысяч годовой экономии.

Следует отметить, что интерес к проблеме коммерциализации инноваций с использованием интеллектуальной собственности постоянно растет. На недавно состоявшейся конференции в Академии технологических наук Украины обсуждались вопросы использования интеллектуального потенциала страны для повышения конкурентоспособности продукции. В работе этого мероприятия участвовали представители министерств и отраслевых правительственных учреждений, руководители крупнейших предприятий, ученые и т.д.

Таким образом, для того, чтобы развитие инновационного бизнеса в Харьковском регионе было оптимальным, необходимо ускорить внедрение механизмов ведения эффективной инновационной деятельности с использованием интеллектуальных активов - изобретений и ноу-хау, то есть обеспечить связь «наука– инновации– производство».

Отсутствие законодательной базы для регулирования процесса внедрения результатов интеллектуальной деятельности в производство приводит к тому, что они могут беспрепятственно использоваться любыми желающими. Результаты научных исследований не патентуются, а публикуются в открытых изданиях. Это приносит непоправимый вред нашей экономике. В этом направлении предприняты конкретные шаги на законодательном уровне. Верховная Рада в сентябре этого года приняла Закон «О государственном регулировании деятельности в сфере трансфера технологий» [1]. Проект Закона разработан специалистами аппарата управления и Министерства образования и науки Украины и предусматривает государственную экспертизу, регистрацию передачи технологий, а также

особенности налогообложения этой деятельности. Законом определен центральный орган исполнительной власти, который будет осуществлять контроль за передачей имущественных прав на новые технологии, проводить экспертизу и вести государственный реестр договоров о трансфере и т.д.

Далее необходимо решить проблему нормативного обеспечения инновационной деятельности. Это прежде всего касается принятия изменений в Закон «Об инновационной деятельности», а также разработки общегосударственных методик, в том числе учета интеллектуальной собственности в процессе приватизации государственных объектов. Следует также внедрить механизмы льготного налогообложения предприятий инновационного сектора. Например, предприятия, активно использующие интеллектуальную собственность, уплачивают налоги только после того, как эта продукция начинает приносить прибыль [2].

Инновационный процесс невозможен без эффективного использования интеллектуальной собственности. Поэтому необходимо разработать механизмы ведения изобретательской и рационализаторской деятельности на предприятиях. Это целый комплекс мероприятий – от выявления перспективных разработок до оценки и коммерциализации новаций.

В заключение приведем известное высказывание Наполеона Бонапарта:

«Если гибнет армия — это беда, если гибнет император — беда вдвойне; но если гибнет интеллект нации — это катастрофа».

Вот поэтому необходимо сохранять и приумножать интеллектуальный потенциал нашего региона, что будет способствовать промышленному и социокультурному развитию Харькова и области.

Список литературы

1. Официальный сайт Государственного департамента интеллектуальной собственности/ <http://www.sdip.gov.ua>.
2. Немчин А.Ф. Бизнес в сфере интеллектуальной собственности и его составляющие// Тез. докл. Круглого стола „Использование интеллектуального потенциала страны – путь к эффективности и конкурентоспособности продукции”, К., 11 октября, 2005. – С. 1 - 12.
3. Николаенко С. Національна інноваційна система – дорога в майбутнє// Інтелектуальна власність. - 2005. - № 9. – С. 4 - 7.
4. Аристов В.И., Маковский А.Н., Рыбалка В.В. Интеллектуальный вид спорта: «творческие вопросы»// Винахідник і раціоналізатор. - 2005. - № 3. – С. 8 - 14.

Разработка алгоритма когерентного приема сигналов с учетом пространственного разнесения приемных и передающих элементов РСА

Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»
Харьковский университет Воздушных сил «ХУВС»

Введение. Анализ литературы.

Требования увеличения времени наблюдения объекта, получения высокого разрешения при всеракурсном обзоре, высокой помехозащищенности и живучести системы для задач предупреждения об опасных объектах, явлениях и процессах техногенного и естественного происхождения приводят к необходимости создания многопозиционных систем аэрокосмического мониторинга земной поверхности. Повышение информационных возможностей многопозиционных радиолокационных станций с синтезированием апертуры определяется результатом объединения большого количества данных, полученных отдельными бистатическими парами [1].

В системах дистанционного зондирования поверхности в случае использования высокочастотных периодических сигналов со случайными начальными фазами возможно использование когерентных или некогерентных приемных устройств [2]. Выбор того или иного метода обработки основывается на целесообразности увеличения отношения сигнал/помеха за счет усложнения схемы приемного устройства при заданных энергетических характеристиках.

В связи с особенностями функционирования радиолокационных систем с синтезированием апертуры антенны наибольшее распространение получили когерентные схемы приема. Особенности построения таких приемников, а также исследование влияния различных помех и нестабильностей (фазовых и частотных искажений сигнала, неконтролируемых изменений траектории носителя) на результат обработки в таких системах изучены достаточно хорошо [3-5].

Постановка задачи. Развитие бистатических и многопозиционных систем дистанционного зондирования [1] предполагает модификацию алгоритмов обработки с целью обеспечения когерентного приема в условиях, когда передатчик и приемник разнесены в пространстве и движутся по различным траекториям.

Рассмотрим бистатическую РСА (рис.1).

Сигнал, излучаемый передатчиком, представим в виде

$$\dot{S}_k(t) = \dot{S}_{0k}(t) \exp\{j\omega_{0k}t + \varphi_k\}, \quad (1)$$

где $\dot{S}_{0k}(t)$ – комплексная огибающая сигнала; $\omega_{0k} = 2\pi f_k$ – несущая частота излучаемого сигнала; φ_k – фаза опорного генератора передатчика, которая в общем случае может быть функцией времени.

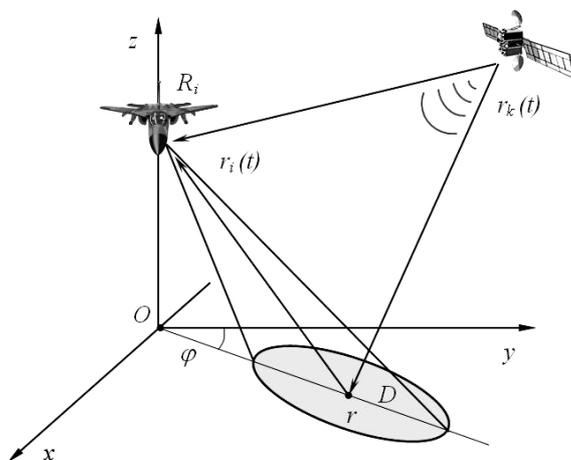


Рис.1. Бистатическая РСА

Запишем сигнал (1) в виде последовательности импульсов путем введения переменной $t = t_0 + mT_R$:

$$\dot{S}_k(t, \varphi_{km}) = \sum_{m=1..∞} \dot{S}_{0k}(t + t_0 + mT_R) \exp\{j\omega_{0k}(t + t_0 + mT_R) + \varphi_{km}\}, \quad (2)$$

где t_0 – начальный отсчет времени; T_R – период повторения импульсов.

Такая запись позволяет ввести понятие начальной фазы излучаемого сигнала в m -м периоде повторения φ_{km} , которая в общем случае может быть случайной величиной со своим законом распределения. В дальнейшем, без ограничения общности результатов, предположим, что начальный отсчет времени $t_0 = 0$.

Сигнал, отраженный от точки поверхности $\mathbf{r} \in D$ запишем так

$$\begin{aligned} \dot{S}_{Rik}(t, \mathbf{r}) = & \dot{F}_{ik}[\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] \sum_{m=1..∞} \dot{S}_{0ik}[t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] \times \\ & \times \exp\{j\omega_{0k}(t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)) + \varphi_m\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\dot{F}_{ik}[\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})]$ – комплексный коэффициент отражения элемента r с вектором электрофизических параметров $\mathbf{p}(\mathbf{r})$; $\tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)$ – полное время задержки сигнала на трассе распространения.

Оптимальная обработка принимаемого сигнала (оценка комплексного коэффициента отражения) сводится к формированию корреляционного интеграла [6], значение которого для отдельной точки при использовании модели сигнала (3) и предположении об использовании опорного сигнала со случайной (для каждого периода) начальной фазой φ_{im} можно представить в виде

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{Rik}(t, \mathbf{r}) = & \hat{F}_{ik}[\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] = \dot{F}_{ik}[\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] \sum_{m=1..∞} \exp\{j[\varphi_{km} - \varphi_{im}]\} \times \\ & \times \int_0^T \dot{S}_{0ik}[t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] \dot{S}_{0ik}^*[t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] dt, \end{aligned} \quad (4)$$

т.е. суммы оптимальных выходных эффектов внутри каждого периода повторения $\dot{Y}_m(r)$, умноженных на случайный комплексный вектор, зависящий от разности начальных фаз приемника и передатчика для m -го периода. Если используется генератор с постоянной начальной фазой φ_{i0} выражение (4) может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{Rik}(t, \mathbf{r}) = & \hat{F}_{ik}[\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] = \dot{F}_{ik}[\mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] \sum_{m=1..∞} \exp\{j[\varphi_{km} - \varphi_{i0}]\} \times \\ & \times \int_0^T \dot{S}_{0ik}[t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] \dot{S}_{0ik}^*[t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] dt. \end{aligned}$$

Из приведенных выше выражений видно, что для периодического сигнала со случайной начальной фазой обеспечить когерентный прием полезного сигнала без дополнительной информации невозможно. *Целью данной работы* является разработка алгоритма когерентного приема сигналов с условиях разнесенного положения приемной и передающей позиции РСА.

Решение задачи. Для обеспечения когерентного режима работы бистатистической РСА предлагается использовать информацию, содержащуюся в прямом сигнале. Под прямым сигналом будем понимать сигнал, излученный передатчиком и принятый приемником, задержанный на $\tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)$

$$\dot{S}_{ik}^d(t) = \sum_{m=1..∞} \dot{S}_{0ik} [t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] \exp\{j\omega_{0k}(t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)) + j\varphi_{km}\}. \quad (5)$$

При формировании модифицированного опорного сигнала можно использовать результат перемножения прямого сигнала $\dot{S}_{ik}^d(t)$ на сигнал опорного генератора

$$\sum_{m=1..∞} \dot{S}_{0k} [t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] \exp\{j[\omega_{0k}(t + mT_R) - \omega_{0i}(t + mT_R)]\} \times \exp\{-j\omega_{0k}\tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)\} \exp\{j\varphi_{km} - j\varphi_{i0}\}, \quad (6)$$

что позволяет на промежуточной (нулевой) частоте выделить функцию $\exp\{j\varphi_{km} - j\varphi_{i0}\}$ и, таким образом, обеспечить когерентную обработку даже при случайной внутриимпульсной структуре излучаемого сигнала. Данный вариант целесообразен для уточнения структуры сигнала (времени задержки и частоты Доплера), оценки коэффициента общих амплитудно-фазовых искажений $\dot{S}_k(t)$ на трассе передатчик-приемник при использовании случайных сигналов.

При известном (с точностью до начальной фазы) излучаемом сигнале и заданной пространственной конфигурации РСА для обеспечения когерентного режима работы можно использовать результат перемножения $\dot{S}_{ik}^d(t)$ на величину

$$\sum_{m=1..∞} \dot{S}_{0k}^* [t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)] \exp\{-j\omega_{0iu}(t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)) - j\varphi_{i0}\} : \sum_{m=1..∞} |\dot{S}_{0k} [t + mT_R - \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)]|^2 \exp\{j[\omega_{0k}(t + mT_R) - \omega_{0i}(t + mT_R)]\} \times \exp\{-j[\omega_{0k}\tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) - \omega_{0i}\tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i)]\} \exp\{j\varphi_{km} - j\varphi_{i0}\}. \quad (7)$$

Результатом обработки (6), (7) является процесс, содержащий информацию о разности несущих частот и начальных фаз внутри каждого периода повторения. Использование такого сигнала при формировании опорного сигнала для точки $\mathbf{r} \in D$ позволяет обеспечить когерентный режим обработки.

Рассмотрим результат оптимальной обработки (оценки комплексного коэффициента отражения) в рамках функционально-детерминированной модели поверхности для точки \mathbf{r} :

$$\dot{Y}_{ik}(\mathbf{r}) = \int_0^T u(t) S_{ik}^*(t, \mathbf{r}) S_{ik}^{Rd}(t) dt = \int_0^T u(t) S_{ik}^M(t, \mathbf{r}) dt, \quad (8)$$

где $S_{ik}^*(t, \mathbf{r})$ – опорный сигнал, комплексно сопряженный с сигналом, отраженным от поверхности; $S_{ik}^{Rd}(t)$ – результат обработки в прямом канале; $S_{ik}^M(t, \mathbf{r})$ – модифицированный опорный сигнал.

Для аддитивной модели уравнения наблюдения сигнальная составляющая выходного эффекта определяется выражением:

$$\dot{Y}_{Sik}(\mathbf{r}_l) = \int_D \dot{F}_{ik}[t, \mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] \int_0^T S_{ik}(t, \mathbf{r}) S_{ik}^*(t, \mathbf{r}) S_{ik}^{Rd}(t) dt d\mathbf{r}. \quad (9)$$

Использование подробных аналитических выражений для моделей прямого и отраженного сигналов при формировании опорного сигнала $S_{ik}^{Rd}(t)$ приводит к следующему результату

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{Sik}(\mathbf{r}_1) = & \int_0^T \int_D \dot{F}_{ik}[t, \mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] K_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^K(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Kd}(t)]\} \times \\ & \times G_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^G(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Gd}(t)]\} \dot{S}_{0k}[t - \tau_{ik}(t, \mathbf{r})] \dot{S}_{0k}^*[t - \tau_{ik}(t, \mathbf{r}_1)] \times \\ & \times \exp\{-j[\omega_{0k}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}) + \omega_{0i}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}_1)]\} \exp\{j[\omega_{0k}\tau_{ik}^d(t) - \omega_{0i}\tau_{ik}^d(t)]\} dt d\mathbf{r}. \quad (10) \end{aligned}$$

Введем понятие калибровочной величины путем рассмотрения (10) для одной точки поверхности:

$$\begin{aligned} \dot{Y}(\mathbf{r}) = & \int_0^T \dot{F}_{ik}[t, \mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] K_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^K(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Kd}(t)]\} \times \\ & \times G_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^G(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Gd}(t)]\} |\dot{S}_{0k}[t - \tau_{ik}(t, \mathbf{r})]|^2 \times \\ & \times \exp\{-j[\omega_{0k}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}) + \omega_{0i}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}_1)]\} \exp\{j[\omega_{0k}\tau_{ik}^d(t) - \omega_{0i}\tau_{ik}^d(t)]\} dt. \quad (11) \end{aligned}$$

Из полученных аналитических выражений видно, что использование предложенного алгоритма обработки полезного сигнала в бистатических РСА позволяет обеспечить когерентный режим и оценить комплексный коэффициент отражения поверхности с точностью до комплексной величины (с точностью до калибровки радиолокационной системы)

$$C^{-1}(\mathbf{r}) = K_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^K(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Kd}(t)]\} G_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^G(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Gd}(t)]\}. \quad (12)$$

Как следует из полученных результатов, предложенный алгоритм, основанный на формировании модифицированного опорного сигнала, позволяет устранить первичные искажения, связанные с нестабильностью и расхождением частот опорных генераторов. Остаточные искажения, вызванные нестабильностью частоты на периоде повторения, практически совпадают с аналогичными искажениями в однопозиционных системах.

Еще одним положительным эффектом является устранение амплитудно-фазовых искажений на трассе передатчик-приемник, что особенно важно при использовании приемно-передающих позиций, расположенных на существенно различных высотах.

Основные искажения при формировании оптимальных выходных эффектов вызваны неточностью определения времен задержки сигнала в прямом и отраженном каналах $\tau_{ik}(t, \mathbf{r})$, $\tau_{ik}^d(t)$, причем величина этих искажений зависит от расстройки несущих частот приемника и передатчика $\omega_{0k}(t) - \omega_{0i}(t)$. Необходимо отметить, что величина и поведение функции $\exp\{-j[\omega_{0k}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}) + \omega_{0i}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}_1)]\}$ в бистатической системе практически такая же, как и в однопозиционной с аналогичными характеристиками трасс распространения.

Для верификации возможности построения приемного устройства, соответствующего предложенному алгоритму когерентного приема периодических сигналов со случайными начальными фазами, было выполнено моделирование процессов обработки прямого $S_{ik}^d(t, \mathbf{r}; \varphi_k)$ и отраженного $S_{ik}(t, \mathbf{r}; \varphi_k)$ сигналов.

Сигналы, отраженные от произвольной точки поверхности \mathbf{r} для случаев случайной $S_{Rik}(t, \mathbf{r}; \varphi_k)$ и постоянной $S_{Rik}(t, \mathbf{r})$ начальной фазы, и их огибающие в бистатической паре показаны на рис.2.

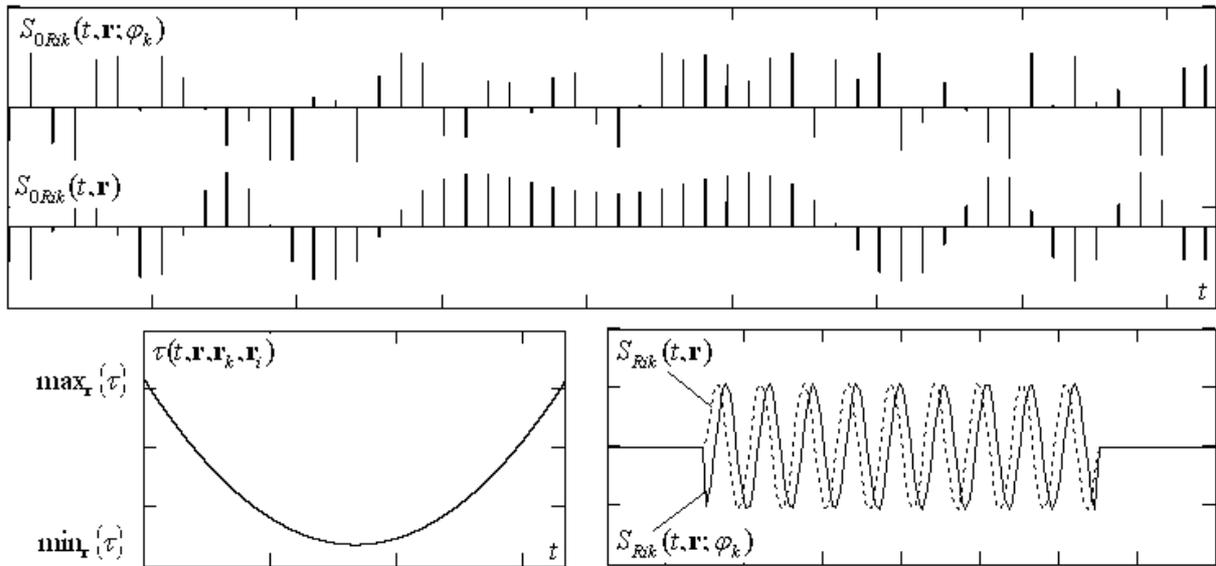


Рис.2. Сигналы, отраженные от точки поверхности

Из представленных результатов видно, что случайная начальная фаза приводит к существенному искажению огибающей отраженного от поверхности сигнала.

Результат оптимальной обработки в бистатической системе с синтезированием апертуры антенны при использовании стандартного и предложенного алгоритмов обработки показаны на рис.3.

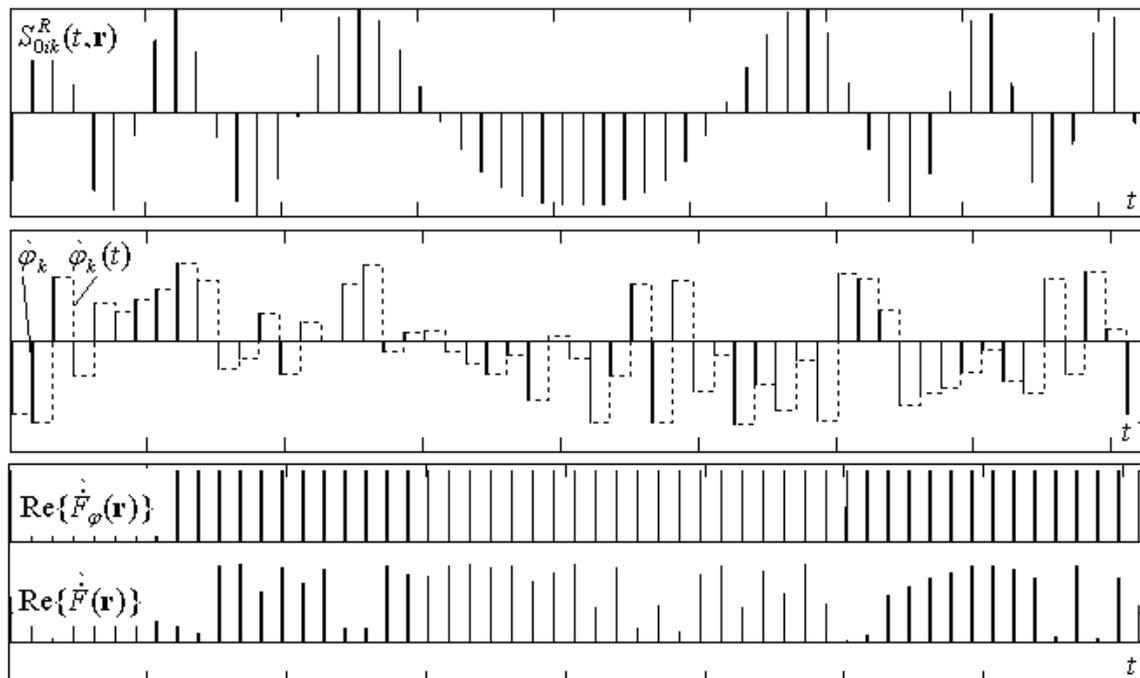


Рис.3. Результат согласованной фильтрации при когерентном и некогерентном приеме

На рис.3 $S_{0ik}^R(t, \mathbf{r})$ – комплексная огибающая опорного сигнала без учета поведения начальной фазы передатчика; $\hat{\varphi}_k, \hat{\varphi}_k(t)$ – результат оценки разности фаз по результатам обработки сигнала в прямом канале в дискретном и непрерывном виде (фиксация разности фаз на интервале повторения импульсов); $Re\{\hat{F}(\mathbf{r})\}, Re\{\hat{F}_\varphi(\mathbf{r})\}$ – результат оценки комплексного коэффициента отражения (полагается его постоянство на интервале синтеза апертуры) без использования прямого канала оценки фазы и с его использованием.

Видно, что при обработке оптимальным алгоритмом оценки комплексного коэффициента отражения изменяются во времени в соответствии с законом изменения случайной начальной фазы излучаемого сигнала, что приводит к ошибкам построения комплексных радиолокационных изображений. Использование предложенного алгоритма обработки позволяет обеспечить когерентный прием в бистатических системах с синтезированием апертуры антенны и построить комплексные радиолокационные изображения поверхности с точностью до калибровочных величин.

Выводы

Для обеспечения когерентного режима обработки в системе, с разнесенными в пространстве передающей и приемной позициями и движущимися по различным траекториям возможно использование модифицированного опорного сигнала, который представляет собой результат перемножения прямого сигнала на сигнал опорного генератора. Это позволяет обеспечить когерентную обработку даже при случайной внутриимпульсной структуре излучаемого сигнала.

Для анализа качества формирования радиолокационных изображений предложенным алгоритмом целесообразно выполнить его исследование при наличии различного рода дестабилизирующих факторов – неточностей определения координат и скоростей приемника и передатчика, неконтролируемых изменений траектории носителей, ухода частоты опорных генераторов.

Список литературы

1. Волосюк В.К., Ксендзук А.В., Евсеев И.А. Анализ возможностей многопозиционных РСА и комплексирование измерений // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – 2004. – Вип.2, № 646. – С.124-131.
2. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. Учебник для вузов. – Москва, «Сов. радио». – 1973. – 496 с.
3. Радиолокационные станции обзора Земли / Кондратенков Г.С., Потехин В.А., Реутов А.П., Феоктистов Ю.А. – М.: Радио и связь. –1983. – 272 с.
4. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / Антипов В.Н. Горяинов В.Т. Кулин А.Н. и др./ Под ред. Горяинова. – М.: Радио и связь. – 1988. – 304 с.
5. Буренин Н.И. РЛС с синтезированной апертурой. – М.: Сов. радио. – 1972. – 212с.
6. Волосюк В.К. Физические основы дистанционного зондирования природных сред радиотехническими средствами аэрокосмического базирования. Учеб. пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т. – 1997. – 97 с.

Ограничения адаптивной пространственно-временной обработки сигналов в условиях априорной параметрической неопределённости

Харьковский университет Воздушных Сил

Алгоритмы адаптивной пространственной обработки сигналов предназначены для оптимизации выходного сигнала пространственного (пространственно-частотного) фильтра в условиях, когда количество помех и их пространственная и временная структуры априори неизвестны. В общем случае неизвестны также пространственные свойства шумов (в задачах анализа часто полагают, что шум является пространственно белым, однако данная гипотеза достаточно корректна только для шумов “теплого” происхождения) [1, 2]. Отмеченные условия являются классическим примером параметрической априорной неопределенности о свойствах помех и шума [3]. Априорная неопределенность о помехах параметрическая, также о помехах априори должно быть известно, что они некоррелированы с полезным сигналом. Реальная сигнально-помеховая обстановка может отличаться от модельных предположений, используемых при синтезе параметрических алгоритмов адаптивной пространственной обработки сигналов. Обобщенная параметрическая априорная неопределенность распространяет понятие параметрической априорной неопределенности на случай, когда предварительно известна модель входных сигналов с неизвестными значениями коэффициентов.

Параметрические алгоритмы адаптивной пространственной обработки сигналов с матричной, векторной и скалярной структурой априорных данных предполагают точное знание соответствующих параметров сигнала, то есть обеспечивают получение оптимальных решений только в условиях априорной определенности о свойствах сигнала. Однако на практике априори известные параметры сигнала могут отличаться (иногда существенно) от соответствующих истинных значений [4]. Кроме того, в некоторых случаях ошибки в априорных данных могут оказаться недопустимо большими.

Цель работы – исследовать алгоритмы адаптивной пространственной обработки сигналов в условиях априорной параметрической неопределённости при ограничениях.

Решением является получение (уточнение) необходимых данных о сигнале $\vec{S}(t)$ непосредственно в процессе адаптивной пространственной обработки сигналов. Однако в общем случае точная (иногда даже приближенная) оценка необходимых параметров принципиально невозможна как вследствие наличия шумов и конечного объема выборки, так и в результате использования при оценивании соответствующих модельных предположений. При использовании методов оценивания неизвестных параметров в общем случае речь может идти лишь о некотором уменьшении ошибки в исходных данных. В этой связи, применительно к алгоритмам адаптивной пространственной обработки сигналов (АПОС) с векторной и матричной структурой априорных данных целесообразно также ввести понятия полной, параметрической и обобщенной параметрической

априорной неопределенности о векторе сигнала $\vec{S}(t)$. К полной априорной неопределенности отнесем условия, при которых необходимые для построения выходной корреляционной матрицы \mathbf{R}_{yy} данные априори отсутствуют и не могут быть оперативно оценены. В свою очередь априорную неопределенность о сигнале будем считать параметрической, если априори известна (оценена) матрица \mathbf{R}_{yy} .

Если априори известна матрица \mathbf{R}_{yy} , пусть даже достаточно близкая к корреляционной матрицы полезного сигнала \mathbf{R}_{ss} , но при этом неизвестно выполняется ли условие $\mathbf{R}_{yy} = \beta \mathbf{R}_{ss}$, то такую ситуацию будем трактовать как обобщенную параметрическую неопределенность.

Понятия полной, параметрической и обобщенной параметрической неопределенностей обобщаются на случай алгоритмов со скалярной структурой априорных данных. При этом полная априорная неопределенность имеет место в ситуациях, когда формирование опорного сигнала $r(t)$ проблематично или же вследствие тех или иных причин некоррелирован ни с сигналом, ни с помехой. Если же $E\{r(t)s^*(t)\} = \rho_{rs} \neq 0$, $E\{r(t)p_i'^*(t)\} = \rho_{rp} \neq 0$, то в зависимости от наличия или отсутствия априорной информации о значениях ρ_{rs} , ρ_{rp} имеет место параметрическая или обобщенная параметрическая априорная неопределенность.

Отмеченные ситуации возникают вследствие того, что опорный сигнал обычно формируют на основе анализа выходного сигнала адаптивной антенной решётки (ААР). При этом решения задачи синтеза опорного сигнала известны только для некоторых специальных типов временных структур полезного сигнала (сигналов модулируемых псевдослучайными последовательностями) [5]. Даже в этих частных случаях опорный сигнал не будет сформирован, если мощные помехи присутствуют непосредственно на этапе синхронизации. Таким образом, применительно к параметрическим алгоритмам адаптивной пространственной обработки сигналов априорную неопределенность о сигнале следует рассматривать как неточное знание вектора $\vec{S}(t)$ (вектора \vec{V}_y , или матрицы \mathbf{R}_{yy}).

Положим, что априорные данные о сигнале известны точно, а по отношению к помехам имеет место обобщенная параметрическая неопределенность (случай параметрической априорной неопределенности о свойствах помех учтен, непосредственно при синтезе алгоритмов). Будем считать также, что несущие частоты сигнала и помех тождественны, и при этом ААР состоит из изотропных и невзаимодействующих антенных элементов, а шум является пространственно-белым ($\mathbf{R}_{uuu} = \sigma_u^2 \mathbf{I}$). Проанализируем с учетом высказанных предположении об оптимальном векторном весовом коэффициенте: пусть $\vec{W}_1 = \lim_{(P_s/\sigma_u^2) \rightarrow \infty} \vec{W}_{\text{МОСП}}$, $\vec{W}_2 = \lim_{(P_l/\sigma_u^2) \rightarrow \infty} \vec{W}_{\text{МОСП}}$, $P_{s.\text{вблх}}(\vec{W}) = \beta \vec{W}^H \mathbf{R}_{ss} \vec{W}$. Тогда, если $(L + L') < N$ то $P_{s.\text{вблх}}(\vec{W}_1) = P_{s.\text{вблх}}(\vec{W}_2) = 0 \forall \rho_l > 0$.

Для доказательства пусть $L' = 1$, $E\{s(t)p_l^*(t)\} = \rho_l$ и представим корреляционную матрицу \mathbf{R}_{xx} в виде:

$$\mathbf{R}_{xx} = \mathbf{R}_{ss} + \mathbf{R}_{\Sigma} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^H + \mathbf{R}_{uuu}, \quad (1)$$

где $\mathbf{R}_{ss} = P_s \vec{V}_s \vec{V}_s^H$, $\mathbf{R}_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{L+1} \mathbf{R}_{jj} = \sum_{j=1}^{L+1} P_j \vec{V}_j \vec{V}_j^H$, $\mathbf{A} = \rho_l \vec{V}_l \vec{V}_s^H$, $\mathbf{R}_{uuu} = \sigma_{uu}^2 \mathbf{I}$.

Применительно к N -мерному пространственному фильтру, приходим к представлению:

$$\vec{W}_{МОСП} = \beta \mathbf{R}_{xx}^{-1} \vec{V}_s = \beta \mathbf{R}'_{nuu}{}^{-1} \vec{V}_s, \quad \mathbf{R}'_{nuu} = \mathbf{R}_{\Sigma} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^H + \mathbf{R}_{uuu}, \quad (2)$$

где \mathbf{R}_{jj} , \mathbf{A} - матрицы единичного ранга, а \mathbf{R}_{uuu} - диагональная матрица.

Следовательно, при выполнении неравенства $(L + L') < N$, $\lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu}) = \sigma_{uu}^2$, $rank(\mathbf{R}'_{nuu} - \lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu})\mathbf{I}) = rank(\mathbf{R}_{\Sigma} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^H) = L + 2$ [6]. Оптимальный векторный весовой коэффициент (2) определен с точностью до некоторого нормирующего коэффициента β , а матрицу \mathbf{R}'_{nuu} также можно считать нормированной. Полагая, что \mathbf{R}'_{nuu} нормирована путем деления на максимальный по абсолютной величине элемент, имеем

$$\lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu}) = \sigma_{uu}^2 / \left(\sum_{j=1}^{L+1} P_j + 2 \operatorname{Re}\{\rho\} \right). \quad \text{Используя последнее равенство,}$$

приходим к предельному соотношению [6]:

$$\lim_{(P_s/\sigma_{uu}^2) \rightarrow \infty} \mathbf{R}'_{nuu}{}^{-1} = \lim_{(P_l/\sigma_{uu}^2) \rightarrow \infty} \mathbf{R}'_{nuu}{}^{-1} = \mathbf{B}(\lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu})), \quad (3)$$

где $\mathbf{B}(\lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu}))$ - матрица, присоединенная для \mathbf{R}'_{nuu} . На основании (2), (3) в свою очередь получим:

$$\vec{W}_1 = \vec{W}_2 = \mathbf{B}(\lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu})) \vec{V}_s. \quad (4)$$

Известно, что столбцы $\mathbf{B}(\lambda_{\min}(\cdot))$ - собственные векторы \mathbf{R}'_{nuu} , соответствующие одному и тому же собственное число $\lambda_{\min}(\mathbf{R}'_{nuu})$ и, следовательно, ортогональны как векторам $\vec{V}_j, j = \overline{1, L+1}$, так и сигнальному вектору \vec{V}_s . Вместе с тем любая линейная комбинация собственных векторов, например (4), в свою очередь является собственным вектором [7]. Таким образом, \vec{W}_1, \vec{W}_2 - собственные векторы матрицы \mathbf{R}'_{nuu} , соответствующие ее минимальному собственному числу и в результате этого ортогональны сигнальному вектору \vec{V}_s . Следовательно, $\vec{W}_1^H \mathbf{R}_{ss} \vec{W}_1 = \vec{W}_2^H \mathbf{R}_{ss} \vec{W}_2 = 0$.

Из вышеизложенного следует, что в случае обобщенной параметрической неопределенности о свойствах помех векторный весовой коэффициент (ВВК) не только не обеспечивают получение оптимальных решений, но и асимптотически ортогональны вектору полезного сигнала. В общем (не асимптотическом) случае эти ВВК не ортогональны сигналу и качество АПОС (максимум выходного отношения мощности сигнала к суммарной мощности помехи и шума на выходе

линейного пространственного фильтра) зависит от значений $P_s/\sigma_{ш}^2$, $P_l/\sigma_{ш}^2$, ρ_l и даже $P_j/\sigma_{ш}^2$.

В качестве примера на рис. 1, 2, 3 показаны полученные путем аналитического моделирования зависимости максимум выходного отношения мощности сигнала к суммарной мощности помехи ($\eta(\vec{W})$) на выходе пространственного фильтра, оптимизируемого по критерию максимум выходного отношения мощности сигнала к суммарной мощности помехи, соответственно, от значений $P_s/\sigma_{ш}^2$, $P_l/\sigma_{ш}^2$ и $P_l/\sigma_{ш}^2$ (P_l - мощность коррелированной помехи). При построении зависимостей предполагалось, что адаптивная антенная решётка линейная, эквидистантная, $N=5$, $L=1=L'=1$, направление прихода сигнала (определяемое относительно нормали к линии расположения антенных элементов) $\Theta_s=40^0$, направление прихода некоррелированной помехи $\Theta_1=60^0$, направление прихода коррелированной помехи $\Theta_l=30^0$, входное соотношение (коррелированная помеха)/шум $10\lg P_l/\sigma_{ш}^2=10$ дБ (рис. 1, 3), сигнал/шум $10\lg P_s/\sigma_{ш}^2=20$ дБ (рис. 2, 3), (некоррелированная помеха)/шум $10\lg P_l/\sigma_{ш}^2=20$ дБ (рис. 1), $10\lg P_l/\sigma_{ш}^2=10$ дБ (рис. 2).

Из графиков (рис. 1 – 3) видно, что при наличии коррелированных с сигналом помех выходное максимум выходного отношения мощности сигнала к суммарной мощности помехи наиболее сильно зависит от входного отношения (коррелированная помех)/шум. При этом если $\rho_l \geq 0,2$, то адаптивная антенная решётка практически неработоспособна при всех сигнально-помеховых ситуациях (по отношению к потенциально достижимой величине выходное отношение мощности сигнала к суммарной мощности помехи снижается более чем на 10 дБ).

В приведенных выше рассуждениях коэффициенты ρ_l характеризует только взаимокорреляционные свойства огибающих сигнала и помехи, а их несущие частоты полагаются тождественными. При этом если при совпадающих несущих частотах $\rho_l \rightarrow 1$, то сигнал и помеху иногда называют пространственно когерентными. Этот наихудший для адаптивной пространственной обработки сигналов случай достаточно хорошо изучен [8]. Известен целый ряд решений (подходов), обеспечивающих оптимизацию пространственного фильтра по критериям максимум выходного отношения мощности сигнала к суммарной мощности помехи, минимума мощности выходного сигнала при ограничении и минимума среднеквадратического отклонения сигнала от опорного при наличии коррелированных (пространственно когерентных с сигналом) помех [9].

При всем разнообразии конкретных вариантов реализации основная идея этих подходов заключается в преобразовании вектора входных сигналов. Преобразование сохраняет пространственную и временную структуры полезного сигнала $\vec{S}(t)$ и обеспечивает декорреляцию помех $\vec{P}_l^i(t)$. В дальнейшем вектор $\vec{Y}(t)$ фильтруется с помощью рассмотренных выше параметрических алгоритмов адаптивной пространственной обработки сигналов.

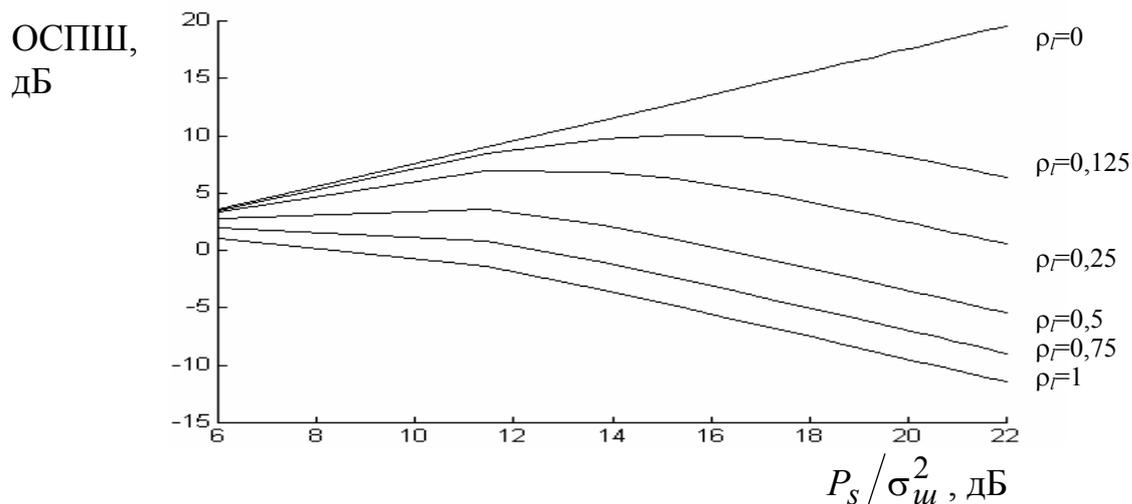


Рис. 1. Зависимость выходного ОСПШ от входного отношения сигнал/шум

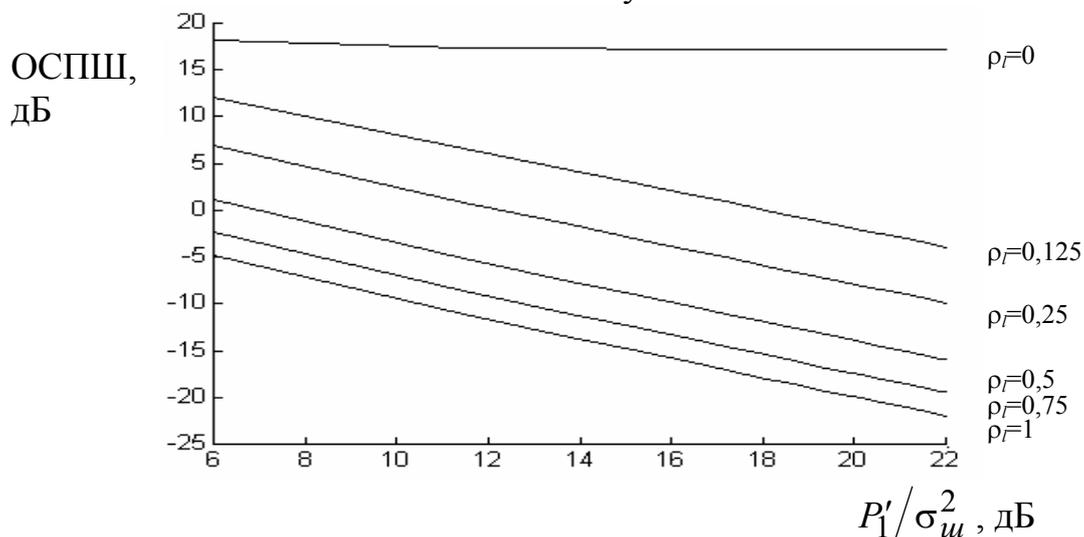


Рис. 2. Зависимость выходного ОСПШ от входного отношения (коррелированная помеха)/шум

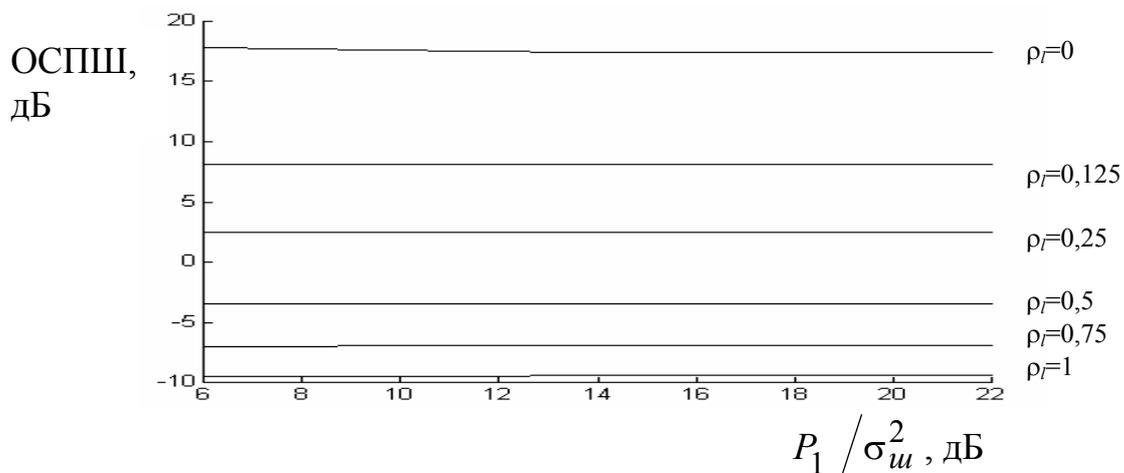


Рис. 3. Зависимость выходного ОСПШ от входного отношения помеха/шум

Собственно декорреляция помех обеспечивается случайным “сдвигом” апертуры ААР, снабжающим помехи дополнительной фазовой модуляцией при сохранении неизменной исходной временной структуры полезного сигнала, разбиением $\vec{X}(t)$ на частично перекрывающиеся подвекторы и т.д. При этом все известные подходы к построению преобразователя предполагают точное знание пространственной структуры сигнала. Кроме того, как правило, требуется избыточное число степеней свободы адаптивной антенной решётки [9].

Таким образом, хотя в настоящее время с полным правом можно говорить о распространении основных результатов классической теории АПОС на случай обобщенной параметрической неопределенности о свойствах помех, существенным ограничением этой теории является ориентация на точные априорные данные о пространственной структуре сигнала. В реальных же условиях априорные данные о сигнале, как правило, имеют приближенный характер. Поэтому вопрос о применимости адаптивной пространственной обработки сигналов в условиях обобщенной параметрической неопределенности о свойствах помех, неразрывно связан с вопросом о применимости этой обработки при отсутствии точных априорных данных о сигнале.

Основным ограничением теории адаптивной пространственной обработки сигналов является использование точных априорных данных о пространственно-временной структуре сигнала. При этом в общем случае, априорные данные имеют матричный характер (необходимо знать матрицу с точностью до постоянного коэффициента совпадающую с корреляционной матрицей полезного сигнала). Существенной ограничивающей особенностью теории является также использование модельных предположений о статистических свойствах полей помех и шума, основным из которых является гипотеза о некоррелированности полезного сигнала и помех.

Список литературы

1. Ван Трис Г.Л. Теория обнаружения, оценок и модуляции. — М.: Сов. радио, 1972. — Т.1. — 744 с.
2. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — 528 с.
3. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. — М.: Советское радио, 1977. — 432 с.
4. Vanpoucke F., Moonen M. Systolic robust beamforming with adjustable constraint // IEEE Trans. Aerospace and Electronics Systems. — 1995. — Vol. AES-32, № 2. — P. 658-669.
5. Compton R.T. Adaptive Antennas. Concept and Performance. — Prentice. Hall, Englewood, New Jersey, 1988
6. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. — М.: Наука, 1988. — 552 с.
7. Уилкинсон Дж. Х. Алгебраическая проблема собственных значений: Пер. с англ. — М.: Наука, 1970. — 564 с.
8. Марчук Л.А. Пространственно-временная обработка сигналов в линиях радиосвязи. — Л.: ВАС, 1991. — 136 с.
9. Krim H., Viberg M. Two decades of array signal processing research. The parametric approach // IEEE Signal Processing Magazine. — 1996. — Vol. 13, № 4. — P. 67-94.

Обоснование возможности снижения времени доведения информации на основе сжатия трансформант дискретного преобразования Уолша

Харьковский университет Воздушных Сил им. И.Кожедуба

Постановка проблемы

В настоящее время возрастает потребность в передаче различных видов информации во времени, близком к реальному. Поэтому, с одной стороны, при разработке и модификации информационных систем необходимо учитывать требования относительно оперативности управления. С другой стороны, скорость обработки и передачи изображений существующими техническими средствами, ввиду их ограниченных возможностей, влекут за собой увеличение времени доведения информации. Это, в итоге, приведет не только к снижению оперативности управления, но и к потере необходимой в определенное время важной информации.

Поэтому, на сегодняшний день, актуальной является задача модификации методов сжатия фотореалистических изображений, которые смогут обеспечить снижение времени доведения информации до пользователя при допустимых потерях качества восстановленных изображений.

Одним из направлений решения такой задачи является процесс представления данных, описывающих изображение с последующим преобразованием с целью компрессии в математике с целочисленными данными.

Цель статьи

Анализ характеристик ортогональных преобразований для повышения оперативности обработки фотореалистических изображений и обоснование выбора для компрессии изображений трансформант дискретного преобразования Уолша.

Основной материал

Основной процедурой существующих методов сжатия цветного изображения является применение ортогональных преобразований, хотя временные затраты на выполнение таких преобразований составляют 90% от общего времени, отводимого для компрессии [1].

При помощи различных ортогональных преобразований выполняется «перетягивание» изображения из пространственно-временной в спектрально-частотную область. Суть этого преобразования: цифровой сигнал до передачи по каналу связи подвергается обратимому преобразованию с целью превращения статистически зависимых элементов изображения в независимые коэффициенты. Положительным свойством этого преобразования является то, что все «важные»

коэффициенты сосредотачиваются в определенной зоне. Менее значимые коэффициенты преобразованного изображения можно отбросить.

В цифровой обработке изображений широко применяются такие ортогональные преобразования, как дискретно-косинусное преобразование (ДКП), дискретное преобразование Хаара (ДПХ), дискретное преобразование Уолша (ДПУ).

Для снижения вычислительной сложности обработку изображений выполняют поблочно. При этом могут использоваться различные размерности блоков $N \times N$ при $N = 4, 6, 8, 16, \dots$

Для определения эффективности того преобразования существуют ряд характеристик.

Наиболее очевидными характеристиками дискретного ортогонального преобразования является время, отводимое на преобразование:

$$T_{оп} = T_{пр} + T_{обр}, \quad (1)$$

где $T_{оп}$ – время ортогонального преобразования,
 $T_{пр}$ – время прямого ортогонального преобразования,
 $T_{обр}$ – время обратного ортогонального преобразования.

Время прямого ортогонального преобразования можно определить из выражения:

$$T_{пр} = \frac{V_{из} K_{пр}}{N^2 Q \log_2 B}, \quad (2)$$

где $V_{из}$ – объем исходного изображения;
 $K_{пр}$ – количество арифметических операций при обработке изображений размерностью $N \times N$;

Q – количество арифметических операций выполняемых вычислительной машиной за 1 секунду;

B – динамический диапазон исходного изображения.

Количество арифметических операций при обработке изображений можно рассчитать при помощи выражения:

$$K_{пр} = K_{сл/выч} + K_{ум/дел}, \quad (3)$$

где $K_{сл/выч}$ – количество арифметических операций сложения и вычитания при обработке изображений размерностью $N \times N$;

$K_{ум/дел}$ – количество арифметических операций умножения и деления при обработке изображений размерностью $N \times N$.

Время обратного преобразования можно выразить следующим выражением:

$$T_{обр} = \frac{V_m K_{обр}}{N^2 Q \log_2 B_{тр}}, \quad (4)$$

где V_m – объем трансформанты изображения;
 $K_{обр}$ – количество арифметических операций при обработке трансформанты;

$B_{тр}$ – динамический диапазон трансформанты изображения.

Выражение для определения количества арифметических операций при обработке трансформанты выглядит так:

$$K_{обр} = K'_{сл/выч} + K'_{ум/дел}, \quad (5)$$

где $K'_{сл/выч}$ – количество арифметических операций сложения и вычитания при обработке трансформанты,

$K'_{ум/дел}$ – количество арифметических операций умножения и деления при обработке трансформанты.

Следующая характеристика – это динамический диапазон трансформанты преобразования, определяющий объем памяти, которую необходимо выделить для хранения трансформанты изображения.

Динамический диапазон трансформанты преобразования ($B_{тр}$) – это разность между максимальным и минимальным элементами матрицы коэффициентов преобразования:

$$B_{тр} = \left| \max y_{i,j} - \min y_{i,j} \right| , \quad (6)$$

где $y_{i,j}$ - коэффициенты матрицы преобразования.

Поскольку ортогональное преобразование это операция обратимая, но с частичной потерей информации, постольку необходим параметр определения этой потери. Таким показателем может выступать среднеквадратическая погрешность преобразования (G).

Среднеквадратическая погрешность преобразования (СКПП) для изображения цветовой модели RGB определяется выражением [2]:

$$G = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{R-1} \sum_{j=0}^{S-1} (x_{i,j}^C - x_{i,j}^A)^2}{RS}} , \quad (7)$$

где $x_{i,j}^C$ - элемент матрицы восстановленного изображения X_{RS} ,

$x_{i,j}^A$ - элемент матрицы исходного изображения X_{RS} ,

R – количество элементов (пикселей) изображения по вертикали;

S - количество пикселей изображения по горизонтали.

При проведении исследований была задействована группа цветных изображений размерностью 128x128, которые можно разделить на три класса:

- сильнонасыщенные;
- средненасыщенные;
- слабонасыщенные.

Оценка степени насыщенности фрагментов изображений осуществлялась на основе коэффициента корреляции r .

Значение коэффициента корреляции меньше 0,7 соответствует сильнонасыщенным изображениям; от 0,7 до 0,95 – средненасыщенным и более 0,95 – слабонасыщенным изображениям [3].

Исследования проводились на персональном компьютере AMD Athlon(tm) XP 2000+ 1.66 ГГц, 256 МБ ОЗУ.

Проведен анализ обработки этой группы цветных изображений тремя видами дискретных ортогональных преобразований ДКП, ДПХ, ДПУ.

Выражения для двумерного прямого и обратного преобразования таких изображений одномерным дискретным ортогональным базисом будут выглядеть так [4]

- для ДКП:

$$Y_d(n) = D(n)X(n)D'(n) , \quad (8)$$

$$X(n) = D'(n)Y_d(n)D(n) , \quad (9)$$

где $Y_d(n)$ – матрица трансформанты ДКП,
 $X(n)$ - матрица исходного изображения,
 $D(n)$ – матрица дискретных функций ДКП;
 $D'(n)$ – транспонированная матрица $D(n)$;
 $n = \log_2 N$.
- для ДПХ:

$$Y_h(n) = \frac{1}{N^2} H(n)X(n)H'(n) , \quad (10)$$

$$X(n) = H'(n)Y_h(n)H(n) , \quad (11)$$

где $Y_h(n)$ – матрица трансформанты ДПХ,
 $H(n)$ – матрица дискретных функций ДПХ;
 $H'(n)$ – транспонированная матрица $H(n)$;
- для ДПУ:

$$Y_w(n) = \frac{1}{N^2} W(n)X(n)W(n) , \quad (12)$$

$$X(n) = W(n)Y_w(n)W(n) , \quad (13)$$

где $Y_w(n)$ – матрица трансформанты ДПУ,
 $W(n)$ – матрица дискретных функций ДПУ;

Результаты исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1

		сильнонасыщ.		средненасыщ.		слабонасыщ.	
		8x8	16x16	8x8	16x16	8x8	16x16
dkp	G	0.2896	0.2892	0.2907	0.2876	0.2893	0.2886
	T _{оп}	1.1510	0.7110	1.1420	0.8210	1.152	0.741
	B _{тр}	1751	2566	1616	2450	304	419
haar	G	2.1032	6.0712	1.9997	4.1252	2.2780	5.9485
	T _{оп}	1.001	0.671	1.002	0.66	1.082	0.710
	B _{тр}	219	201	202	175	38	20
wal	G	2.1567	4.0502	2.0055	3.2985	2.2888	4.4201
	T _{оп}	0.9210	0.6110	0.9520	0.6510	1.012	0.6110
	B _{тр}	219	201	202	175	38	20

Анализ табл. 1 показывает, что при обработке цветного изображения ДКП выигрывает, по отношению к другим дискретным преобразованиям, исходя из среднеквадратической погрешности (G). Этот показатель во всех классах изображений практически не изменяется. Однако ДКП имеет сравнительно высокий показатель динамического диапазона трансформанты (B_{тр}) и уступает по времени, которое необходимо для прямого и обратного преобразования перед ДПУ и ДПХ.

Сравнительно высокий показатель среднеквадратической погрешности у ДПХ и ДПУ. СКПП дает нормировочный коэффициент и погрешность округления вещественного числа в процессе преобразования.

Исследования показали, что нормировку можно производить при прямом, обратном или при прямом и обратном преобразованиях.

Производя нормировку при обратном преобразовании, выражения 10-13 приобретут соответственно вид:

$$Y_h(n) = H(n)X(n)H'(n) , \quad (14)$$

$$X(n) = \frac{1}{N^2} H'(n)Y_h(n)H(n) , \quad (15)$$

$$Y_w(n) = W(n)X(n)W(n) , \quad (16)$$

$$X(n) = \frac{1}{N^2} W(n)Y_w(n)W(n) . \quad (17)$$

Результаты исследований для преобразования определенных выражениями 14-17 приведены в табл. 2.

Таблица 2

		сильнонасыщ.		средненасыщ.		слабонасыщ.	
		8x8	16x16	8x8	16x16	8x8	16x16
dkp	G	0.2896	0.2892	0.2907	0.2876	0.2893	0.2886
	T _{оп}	1.1510	0.7110	1.1420	0.8210	1.152	0.741
	B _{тр}	1751	2566	1616	2450	304	419
haar	G	0.0221	5.1213	0.0222	2.9631	0.0202	4.6720
	T _{оп}	1.002	0.6310	1.002	0.6810	1.1020	0.7010
	B _{тр}	14011	41050	12925	39194	2434	6700
wal	G	0	0	0	0	0	0
	T _{оп}	0.9710	0.6110	0.9520	0.6310	0.7610	0.6310
	B _{тр}	14011	41050	12925	39194	2434	6700

Из табл. 2 следует, что обработка этих же изображений блоками размерностью 8x8, при выполнении нормировки при обратном преобразовании (выражения 14-17), значение СКПП при ДПХ значительно меньше, чем при ДКП, а при ДПУ СКПП принимает нулевое значение. При таком ортогональном преобразовании это же значение остается и при повышении размерности блоков обработки изображения, чего нельзя сказать о ДПХ. При повышении размерности блоков обработки изображений (16x16, 32x32 и т.д.) применив ДПХ, наблюдается резкое возрастание значения СКПП.

Однако при таком способе преобразования возрастает значение динамического диапазона трансформанты ДПХ и ДПУ, который превышает значение динамического диапазона трансформанты ДКП на один порядок.

Производя нормировку при прямом и обратном преобразовании, выражения 10-13 приобретут вид:

$$Y_h(n) = H(n)X(n)H'(n) , \quad (18)$$

$$X(n) = \frac{1}{N^2} H'(n)Y_h(n)H(n) , \quad (19)$$

$$Y_w(n) = W(n)X(n)W(n) . \quad (20)$$

$$X(n) = \frac{1}{N^2} W(n)Y_w(n)W(n) \quad (21)$$

Результаты исследований для этого преобразования приведены в табл. 3.

Таблица 3

		сильнонасыщ.		средненасыщ.		слабонасыщ.	
		8x8	16x16	8x8	16x16	8x8	16x16
dkp	G	0.2896	0.2892	0.2907	0.2876	0.2893	0.2886
	T _{оп}	1.1510	0.7110	1.1420	0.8210	1.152	0.741
	B _{тр}	1751	2566	1616	2450	304	419
haar	G	0,3298	5.1092	0.3317	2.9645	0,3999	4.6533
	T _{оп}	1,002	0.6710	1.091	0.7010	1.0520	0.7010
	B _{тр}	1751	2566	1616	2450	304	419
wal	G	0,3160	0,2937	0,3150	0,2909	0,3214	0,2922
	T _{оп}	1,0010	0.6910	0.9920	0.6910	0.9920	0.6681
	B _{тр}	1751	2566	1616	2450	304	419

Анализ табл. 3 показывает, что при обработке цветных изображений блоками размерностью 8x8 и 16x16, производя нормировку при прямом и обратном преобразовании (выражения 18-21), установлено, что во всех классах изображений при ДКП и ДПУ значения СКПП приблизительно равны, минимальны и практически неизменны. Значения динамического диапазона во всех трех видах также одинаковы. Однако ДКП уступает по времени необходимому для прямого и обратного преобразования. Замечено что, при увеличении размерности блоков обработки изображений (16x16, 32x32 и т.д.), применив ДПХ, наблюдается резкое возрастание значения СКПП.

Выводы

Применив к общему алгоритму компрессии изображений алгоритм ДПУ, с предварительной разбивкой исходного изображения на блоки 16x16 пикселей, позволит за счет свойств ортогонального базиса Уолша:

1. Повысить скорость компрессии на 10-15% относительно ДКП и ДПХ.
2. Сэкономить объем памяти на 30-50% за счет снижения динамического диапазона трансформанты изображения и хранения в памяти всего одного массива значений матрицы ортогонального базиса;
3. Уменьшить значения СКПП, что может существенно сказаться на качестве декодированных изображений.

Список литературы

1. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. – М.: Сов.радио,1979. – 312с.
2. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2003. – 384с.
3. Н.А.Королева, А.А.Красноруцкий. Кодирование трансформант преобразований Уолша // Збірник наукових праць. Випуск 1(1). – Харків: ХУ ПС, 2005. – 101-103.
4. Прэт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – 790с.

Состояние проблемы утилизации авиационных боеприпасов для систем вооружения летательных аппаратов

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Введение

Пилотируемые летательные аппараты боевого назначения (самолёты и вертолёты) применяются для поражения летательных аппаратов противника, уничтожения его наземных сил и материальных объектов, а также средств и объектов морского (подводного) базирования. В зависимости от поставленных задач каждый вид летательных аппаратов оснащается определённым комплексом авиационного вооружения. С развитием военной техники перед боевой авиацией всё чаще ставятся новые задачи, для успешного решения которых возникает необходимость в разработке новых видов вооружений или модернизации существующих систем [1, 2].

Постоянное совершенствование комплексов вооружений приводит к тому, что значительная часть существующих систем либо отдельные компоненты по тем или иным причинам не отвечают современным требованиям боевого применения, в результате чего их снимают с вооружения.

В наибольшей степени это касается авиационных боеприпасов, среди которых боеприпасы к артиллерийскому авиационному вооружению занимают ведущее место. Помимо снятия с вооружения «морально» устаревших боеприпасов имеют место и проблемы с боевыми припасами, у которых вышли сроки хранения и эксплуатации. В связи с этим возникает необходимость в их утилизации, а также разработке соответствующих экологически чистых и безопасных технологий [3, 4].

Анализ исследований и публикаций

Исследование проблемы утилизации авиационных мелкокалиберных боеприпасов показало, что в настоящее время имеются три основных направления, каждое из которых характерно для определённого временного периода существования этой проблемы. Тем не менее каждое из них может параллельно осуществляться в зависимости от сложившихся условий и вида утилизируемого боеприпаса [5].

На первом периоде утилизация осуществлялась непосредственно уничтожением боеприпасов. Достаточно простой процесс был связан с необходимостью ликвидации в кратчайшие сроки боеприпасов, изготовленных в период Второй мировой войны и имевших, соответственно, незначительные сроки хранения и годности к эксплуатации. В это время проблемы безопасности окружающей среды и экономические факторы рассматривались в последнюю очередь.

С выдвиганием на первое место экономических факторов встал вопрос о совершенствовании этого процесса, что привело к необходимости создания технологий утилизации боевых припасов, в которых дальнейшей переработке подвергались элементы снаряжения боевых припасов с целью получения

остродефицитных материалов. Одним из наиболее простых способов было термическое воздействие на мелкокалиберные боеприпасы, что приводило к воспламенению порохового заряда, ведущего к демонтажу элементов снаряжения. Однако ряд наиболее дефицитных материалов, таких, как материал, плакированный томпаком и использовавшийся для изготовления оболочек пуль и гильз, вторично уже не мог быть использован в дальнейшем из-за воздействия высокой температуры и химических процессов. В этом случае экологическим проблемам окружающей среды также уделялось недостаточно внимания.

Повышение требований к экологической безопасности технологических процессов утилизации, а также превалирование экономических факторов привело к необходимости создания практически безотходных технологий. Суть их заключается в создании условий демонтажа элементов снаряжения боеприпасов с учётом возможности их последующего использования в основном производственном процессе после соответствующих доработок и химической обработки. Такой подход позволяет снизить себестоимость изготовления новых боеприпасов за счёт вторичного использования элементов снаряжения и способствует улучшению экологической обстановки и безопасности.

Постановка задачи

Достаточно долго проблема утилизации как мелкокалиберных авиационных боевых припасов, так и боеприпасов к другим системам вооружений решалась одним способом – путём их непосредственного уничтожения. Утилизация боеприпасов средних и крупных калибров осуществлялась путём демонтажа снарядов из гильз, что характерно для боеприпасов унитарного заряжания. В дальнейшем гильзы подлежали дальнейшей утилизации (реставрированию либо переплавке), а снаряды в основном уничтожались.

В свою очередь, процесс уничтожения осуществлялся тремя способами. Первым способом был подрыв боеприпасов на полигоне, вторым – затопление в акваториях морей или океанов, третьим – сжигание в специальных печах. С технической точки зрения указанные способы являются самыми простыми. Однако они наносят наиболее серьёзный ущерб окружающей среде и приводят к существенным экономическим потерям. Кроме того, они небезопасны и имеют ряд отрицательных факторов.

Необоснованное уничтожение списанных боеприпасов приводит к значительному материальному и экономическому ущербу. Результаты труда различных слоев общества (ученых, инженеров, конструкторов, рабочих, испытателей); достаточно ценные материалы; использованная электроэнергия – все это представляет собой безвозвратные потери.

В ходе постоянного совершенствования боеприпасов, разработки новых, более эффективных, образцов целые коллективы ученых проводят исследования, затрачивая на это большие средства. Идеи ученых, их расчетно-теоретические построения реализуют в опытные образцы инженеры-конструкторы и высококвалифицированные рабочие опытных производств. Проводятся разносторонние испытания образцов с использованием дорогостоящего оборудования лабораторий, полигонов на соответствие их заданным требованиям. Иногда по результатам испытаний образцы возвращаются на доработку, и весь цикл повторяется полностью или частично. После принятия боеприпаса на вооружение организуется его серийное производство, для чего на предприятиях промышленности создается технологическое оборудование

различной степени сложности по изготовлению боеприпасов. В процессе производства осуществляются контроль качества и испытания боеприпасов, что также требует больших затрат.

Наконец, для создания мобилизационных запасов и поддержания на необходимом уровне обороноспособности страны боеприпасы закладываются на хранение. Затраты на хранение боеприпасов на складах, базах и арсеналах складываются из затрат на оборудование складов, содержание подразделений охраны и пожарных команд, обслуживающего персонала (штатных работников) склада, осуществляющих осмотр, ремонт, контрольные испытания, учет поступления и отправки боеприпасов в воинские части, на испытания и др.

Другая негативная сторона уничтожения списанных боеприпасов связана с ухудшением экологии окружающей среды, загрязнением почв, поверхностных и подземных вод, растительности и воздушной среды.

Таким образом, все изложенные выше отрицательные аспекты содержания списанных боеприпасов (опасность длительного хранения, затраты на хранение, ущерб от уничтожения списанных боеприпасов, возможность их хищения, нарушение экологического равновесия окружающей природной среды) свидетельствуют о том, что уничтожение списанных боеприпасов в большинстве случаев необоснованно и нецелесообразно, а в широких масштабах – недопустимо.

Методы утилизации боеприпасов, основанные на получении дефицитных материалов

Процесс утилизации включает в себя операции по демонтажу боеприпасов на составные элементы (гильза, снаряд, порох), переработке составных элементов до безопасного состояния и получению материалов для последующего вторичного использования в промышленном производстве.

Существующая технология расснаряжения унитарных патронов основана на выжигании в специально оборудованных печах. Патроны помещают в печь, и под действием высокой температуры происходит их разрушение.

Недостатки данной технологии:

1. Невозможность вторичного использования элементов снаряжения. После процесса выжигания оставшиеся элементы снаряжения (капсюли, гильзы, оболочки пуль, сердечники) сортируют и направляют на переработку (переплавку).

2. Вредные газообразные продукты.

В настоящее время разработаны научные положения для демонтажа унитарных патронов по схемам:

- изгиб - растяжение;

- изгиб - кручение - растяжение;

- выворачивание с применением рычажно-роликового узла силового воздействия на снаряд.

Способ разделки патронов и конструктивное оформление узла силового воздействия на снаряд определяются конструкцией унитарного выстрела. Достоинством данного способа является «экологически чистая» утилизация, недостатком - невозможность вторичного использования элементов снаряжения патрона.

Методы утилизации боеприпасов, основанные на вторичном использовании элементов снаряжения в производственном процессе

Оптимальным путем решения проблемы списанных боеприпасов является их утилизация, основанная на демонтаже боевых припасов и элементов их снаряжения, для вторичного использования в основном процессе изготовления новых боеприпасов того же образца. Это актуально и для решения проблемы утилизации мелкокалиберных авиационных боеприпасов (патронов калибра 7,62 - 12,5 мм), так как их демонтаж и последующая переработка позволяют значительно уменьшить затраты на производство новых образцов боеприпасов.

Демонтаж (расснаряжение) списанных патронов и вторичное использование полученных при демонтаже элементов снаряжения (пуль, гильз) позволит значительно облегчить изготовление патронов, в том числе и для стрелково-пушечного авиационного вооружения.

С целью устранения недостатков был разработан технологический процесс демонтажа унитарных патронов, предназначенный для применения на существующих роторных линиях [6].

Процесс состоит из ряда последовательных технологических этапов, включающих в себя контроль поступающих на утилизацию патронов, демонтаж элементов их снаряжения и последующую переработку полученных материалов и элементов снаряжения.

На этапе контроля происходит осмотр поступившей партии патронов с целью определения их вида (трассирующие, бронебойно-зажигательные, пристрелочные) для проведения их демонтажа.

Патроны, снаряженные пулями специального назначения, в состав которых входят пиротехнические смеси (трассера, зажигательные составы), за исключением бронебойных, направляются на уничтожение (выжигание в специально оборудованных печах). После процесса выжигания оставшиеся элементы снаряжения (капсюли, гильзы, оболочки пуль, стаканчики для трассеров, сердечники) сортируют и направляют на переработку (переплавку). Количество патронов, снаряженных пулями специального назначения, сравнительно невелико, поэтому в целях безопасности их утилизацию можно производить таким образом.

Для патронов, снаряженных обычными типами пуль (со свинцовым сердечником, бронебойных), на этом этапе происходит их сортировка по партиям при наличии определенных дефектов и степени коррозии на пулях и гильзах. Их сортируют на пригодные для дальнейшего переснаряжения и на те, которые сразу после демонтажа направляют на утилизацию (переработку материалов, из которых они были изготовлены). Порох из обеих партий может идти на дальнейшую переработку.

Одним из этапов этого метода утилизации патронов является удаление капсюлей из гильз. Удаление можно осуществлять двумя способами - выжиганием или выпрессовыванием.

При выжигании гильзы нагреваются до температуры, при которой происходят воспламенение капсюльного состава и самоизвлечение из капсюльных гнезд гильз.

Достоинства этого способа:

- минимальное оборудование для извлечения капсюлей;
- возможность одновременного удаления лакового покрытия на наружной поверхности гильз.

Недостатки:

- частичное (полное) изменение физико-механических свойств материала гильз в связи с термическим воздействием (нагревом);
- наличие вредных газообразных продуктов горения капсюльных составов и лаков;
- необходимость калибровки гильз после термообработки.

Выпрессовывание капсюлей из гильз осуществляется с помощью жидкости или газа (возможно применение пороховых газов при использовании пороховых зарядов утилизированных патронов), который подается в пустую гильзу под давлением.

Недостатки:

- сложное технологическое оборудование;
- наличие вредных газообразных продуктов (при использовании пороховых зарядов);
- изменение формы гильзы (большой процент непригодных для дальнейшего переснаряжения гильз).

После демонтажа элементы снаряжения подвергаются химической обработке для удаления лакокрасочного покрытия (на гильзах) и следов коррозии (на пулях и гильзах).

Заключение

Оптимальным путем решения проблемы списанных боеприпасов является их утилизация, основанная на демонтаже боевых припасов и элементов их снаряжения, для вторичного использования в основном процессе изготовления новых боеприпасов того же образца. Это актуально и для решения проблемы утилизации мелкокалиберных авиационных боеприпасов (патронов калибра 7,62 - 12,5 мм), так как их демонтаж и последующая переработка позволяют значительно уменьшить затраты на производство новых образцов боеприпасов.

Список литературы

1. Дорофеев А.Н., Морозов А.П., Саркисян Р.С. Авиационные боеприпасы. – М.: ВВИА, 1978. – 446 с.
2. Агокас Е.В. Основы вооружения самолетов. - М.: Оборонгиз, 1946. – 230 с.
3. Сухов Л.В. Создание и совершенствование авиационного вооружения // История науки и техники. – 2004. - №2.- С. 46 – 51.
4. Лобачев Н.А., Полковников В.А. Стрелково-пушечное вооружение самолетов и вертолетов // История науки и техники. – 2004. - №2.- С. 38 – 45.
5. Кобрин В.Н., Полищук Е.А. Исследование проблемы утилизации списанных боеприпасов // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х: НАКУ «ХАИ». - 2005. - Вып. 27. – С. 190 - 194.
6. Технология демонтажа мелкокалиберных авиационных боеприпасов / Н.В. Нечипорук, А.В. Коломийцев, Е.А. Полищук, Н.В. Кобрин // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Х: НАКУ «ХАИ». - 2005. - Вып. 28. – С. 144 - 147.

Знаниеориентированный метод автоматизированного синтеза расписаний учебных занятий

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Постановка задачи

Современный этап развития образования в Украине характеризуется высокими темпами компьютеризации и информатизации. Несомненные преимущества использования информационных технологий в образовательной сфере ни у кого не вызывают сомнения. Были созданы необходимые предпосылки для выполнения требований Государственной национальной программы [1] - построение единой информационно - компьютерной системы управления образованием. Однако следует заметить, что проблема создания единой информационно-компьютерной системы управления образованием и её составных элементов еще далека до своего окончательного решения [2].

Спецификой управления учебными процессами является сложность организации целенаправленных взаимосвязанных действий профессорско-преподавательского состава, обучающихся и персонала, обеспечивающего функционирование учебного заведения. Кроме того, субъективность принимаемых решений в ходе учебного процесса приводит к нежелательным последствиям. Следовательно, процесс выработки решений по управлению учебным процессом осуществляется в условиях полной неопределенности, а принятым решениям соответствует некоторая степень риска. Как правило, риск оказывает негативное влияние на процесс выработки решений и принятия той или иной стратегии управления учебным процессом, которое может привести к негативным последствиям, например, к снижению качества преподавания или эффективности функционирования учебного заведения в целом [2].

Одной из основополагающих компонент процесса управления учебным заведением является составление расписания занятий.

Каждый, кто хоть раз сталкивался с задачей составления расписания, прекрасно понимает, насколько трудно её формализовать. Характерно, что каждый новый учебный год появляются новые исходные данные (изменяются контингент студентов, перечень специальностей, по которым ведется обучение в вузе, а зачастую и учебные планы). Понятно, что в таких условиях принятие только экстенсивных мер не может являться эффективным.

Одним из перспективных способов решения этих проблем является создание специализированных компьютерных комплексов.

В настоящее время в большинстве высших учебных заведений используется технология составления расписания вручную, которая предполагает сбор и классификацию исходной информации, составление вспомогательных таблиц, непосредственно составление расписания, его проверку и корректировку [3, 4]. При такой технологии очень трудно получить расписание, которое бы учитывало все особенности учебного заведения и соответствовало санитарно-гигиеническим требованиям.

В последнее время рынок программных продуктов предлагает широкий выбор автоматизированных систем составления расписания. Однако

предлагаемые системы не решают проблемы оптимального планирования и распределения учебных занятий и аудиторного фонда, т.к. в них, как правило, ведется только фактический учет проводимых занятий, использования аудиторного и профессорско-преподавательского фонда. В связи с вышесказанным актуальной проблемой является разработка системы поддержки принятия решения при планировании расписаний учебных занятий, которая, кроме того, давала бы рекомендации по составлению расписания и распределению аудиторного фонда.

Анализ исследований и публикаций

Расписание занятий для учебных заведений относится к классу NP-полных задач целочисленного программирования с булевыми переменными. Французские специалисты по методам исследования операций А. Кофман и А. Анри-Лабордер называют ее задачей *“планирования загрузки преподавательского состава и обеспечения студентов аудиториями”* [5].

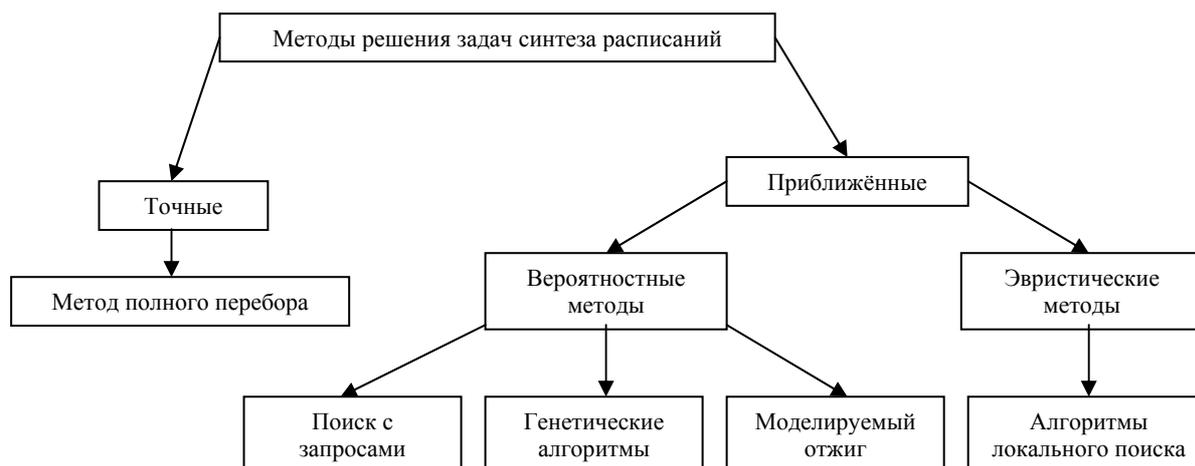
Формально задачу составления учебного расписания можно поставить следующим образом [6]:

Заданы множества рабочих часов H , преподавателей C , учебных дисциплин T , а также для всех $c \in C$ и $t \in T$ подмножества допустимых часов $A(c), A(t) \subseteq H$ и требуемая нагрузка $R(c, t) \in N_0^+$. Установить, существует ли учебное расписание $f: C \times T \times H \rightarrow \{0, 1\}$, удовлетворяющее следующим свойствам:

- 1) $f(c, t, h) = 1$ тогда и только тогда, когда $h \in A(c) \cap A(t)$;
- 2) для каждого $h \in H$ и $t \in T$ существует не более одного $c \in C$ такого, что $f(c, t, h) = 1$;
- 3) для каждой пары $(c, t) \in C \times T$ существует ровно $R(c, t)$ значений h , для которых $f(c, t, h) = 1$.

Для решения задачи построения расписания был предложен ряд процедур и методов выбора оптимального расписания – процедуры Лемке - Шпильберга, Балаша, динамического программирования, последовательного анализа вариантов, ветвей и границ, поисковая процедура и многие другие. При компьютерной реализации указанных процедур непременно возникают две основные проблемы – значительная длительность процесса составления расписания и значительный объем памяти для хранения промежуточных результатов [7]. Так, например, множество всех решений задачи синтеза расписаний содержит $(n!)^m$ элементов, где n - число занятий, которые необходимо распределить, m - число аудиторий [8]. Размерность задачи является главным препятствием для использования точных методов при решении больших практических задач.

Такое положение развития точных методов решения задач синтеза расписаний привело к разработке приближенных методов, позволяющих получать приемлемые решения при сравнительно небольших временных затратах и средствах. Условно приближенные методы можно разделить на эвристические и вероятностные, представлен на рисунке. Эвристические алгоритмы основаны на приеме, который называется приемом снижения требований. Он заключается в отказе от поиска оптимального решения за приемлемое время. Эвристические алгоритмы используют различные разумные соображения без строгих обоснований.



Иерархия методов решения задачи синтеза расписания

Широко применяется так называемый метод локального поиска. При этом заранее выбранное множество перестановок используется для последовательного улучшения начального решения до тех пор, пока такое улучшение принципиально возможно, в противном случае считают, что достигнут локальный оптимум.

Еще одно из направлений эвристических методов решения задач составления расписаний состоит в формировании правил или функций предпочтения (приоритетов).

Суть метода состоит в следующем: для каждого занятия из множества занятий вычисляется значение функции предпочтения и выбирается то занятие, для которого функция достигает максимума или минимума.

Достоинством эвристических методов является удобство реализации их на ЭВМ даже при решении громоздких задач. Кроме того, для каждой функции предпочтения существуют задачи, для которых применение данной функции приводит к плохим результатам. Один из путей совершенствования метода функций предпочтения состоит в их привязке к классам задач.

Недостатки эвристических методов заключаются в сложности оценки близости полученных расписаний к оптимальному.

Вероятностные методы связаны с k - кратным моделированием расписаний. Выбор занятия из множества занятий осуществляется случайным образом. После многократного проигрывания выбирают наилучшее расписание, которое принимают за решение задачи. При этом различают: ненаправленный случайный поиск; направленный случайный поиск без самообучения; направленный случайный поиск с самообучением.

Цель статьи

Разработка и обоснование модели решения задачи синтеза учебных расписаний с использованием искусственного интеллекта.

Изложение основного материала исследований

Необходимость автоматизации процессов управления учебными заведениями и соответственно, планирования и принятия решений при составлении расписаний занятий предопределена возможностью возложить на компьютер роль консультанта по принятию решений и тем самым рационально

распределить функции между пользователем, диспетчером учебного заведения и компьютером [4].

Поэтому модель решения задачи синтеза расписания занятий должна представлять собой синтез методов обработки знаний, принятия решений и традиционных математических методов.

Процесс составления расписания занятий диспетчером Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» состоит из нескольких последовательных этапов. Так, на первом этапе в расписание добавляют занятия, расположение которых в расписании заранее известно; например, к таким занятиям можно отнести уроки физической культуры, занятия военной (альтернативной) подготовки и др. На втором этапе в расписание добавляют занятия, для проведения которых требуются аудитории с большой вместимостью и занятия, требующие специально оборудованных аудиторий. На третьем этапе в расписание добавляют лабораторные занятия. На четвёртом этапе в расписание добавляют оставшиеся лекционные, а затем и практические занятия.

Итак, явно прослеживаются четыре основных этапа составления расписания учебных занятий: инициализация расписания занятий (на данном этапе в расписание вносятся занятия военных подготовок и физкультуры); размещение специальных занятий (на этом этапе составления расписания занятий решается задача размещения занятий требующих больших или специальных аудиторий); размещение лабораторных занятий (на этом этапе в расписание занятий вносятся различные лабораторные занятия); размещение практических занятий (на этом этапе в расписание занятий вносятся практические занятия). Каждый этап составления расписания занятий состоит из более мелких подзадач размещения конкретного занятия в расписание занятий, которые отличаются от подобных подзадач других этапов характером и числом ограничений.

Налицо многостадийность процесса составления расписания. Каждая стадия составления учебного расписания характеризуется своими специфическими для данной стадии ограничениями, алгоритмами и вариантами размещения занятий в расписании. Таким образом, при решении задачи синтеза расписания учебных занятий следует учитывать его многостадийность и специфику составления расписания на каждой стадии.

Необходимость учёта многочисленных качественных и количественных критериев при составлении расписания учебных занятий делает эту задачу ещё и многокритериальной.

Следует заметить, что при составлении расписания занятий практически не возможно оценить влияние выбранного варианта размещения занятия на какой-либо из стадий составления на результирующее расписание ввиду его большой размерности. Это свидетельствует о том, что составление расписаний учебных занятий происходит при наличии условий неопределённости. Эта неопределённость связана с объективной невозможностью точного учёта реакции окружающей среды [10].

Один из способов «снятия» неопределённости заключается в субъективной оценке диспетчера, которая определяет его предпочтения. Оценка диспетчера - это оценка сделанная им на основе собственного опыта, интуиции, предпочтений. Следовательно, комплексы автоматизации составления расписания учебных занятий должны включать в себя подсистему использования и накопления экспертных знаний.

Одним из классических способов решения многостадийных задач, является метод динамического программирования предложенный Р. Беллманом. Суть метода состоит в том, что оптимальное решение строится постепенно, шаг за шагом. На каждом шаге оптимизируется решение только этого шага, но решение выбирается с учетом последствий, так как решение, оптимальное для этого шага, может привести к неоптимальному решению всей задачи, т.е. оптимальное решение задачи содержит оптимальные решения ее подзадач. Р. Беллман сформулировал также принцип оптимальности, который гласит: каково бы ни было начальное состояние на любом шаге и решение, выбранное на этом шаге, последующие решения должны выбираться оптимальными относительно состояния, к которому придет система в конце данного шага. Использование этого принципа гарантирует, что решение, выбранное на любом шаге, является не локально лучшим, а лучшим с точки зрения задачи в целом [11].

Однако существуют и более простые и быстрые алгоритмы решения многостадийных оптимизационных задач, чем динамическое программирование, – это жадные алгоритмы. Такой алгоритм делает на каждом шаге локально оптимальный выбор, – в надежде, что итоговое решение также окажется оптимальным. Необходимо отметить, что это не всегда так, но во многих случаях получаемое решение оказывается достаточно близким к оптимальному решению или оптимальным решением [11].

Следовательно, при автоматизированном составлении расписания можно, использовать синтезированный метод, основанный на жадном алгоритме и знаниеориентированной системе поддержки принятия решений. Синтез состоит в том, чтобы на каждом шаге жадного алгоритма составления расписания, опираясь на базу знаний диспетчера, выбирать оптимальную альтернативу.

Исходя из вышесказанного, для интеллектуальной автоматизированной системы синтеза учебных расписаний характерно наличие следующих подсистем: подсистема ведения справочных данных; подсистема составления расписания занятий; интеллектуальная подсистема; подсистема импорта/экспорта расписания и данных.

Необходимо отметить, что интеллектуальная автоматизированная система синтеза учебных расписаний обладает рядом существенных отличий от традиционных программ: она представляет собой синтез циклических прогонов и процесс логического вывода вместо однообразных циклических прогонов, а также более эффективно обрабатывает большие базы знаний и базы данных.

Во многом качество знаниеориентированных систем зависит от выбранной модели представления знаний. Существует множество моделей представления знаний [12,13,14], однако наиболее адекватной моделью представления знаний являются «кванты знаний» [13]. К достоинствам данной модели относится наличие строгого математического аппарата, относительная простота представления знаний в виде векторно-матричных структур, простые алгоритмы манипулирования знаниями посредством векторно-матричных операций, наличие строго формализованного механизма вывода, возможность представления знаний в виде логической сети вывода решений и др.

В зависимости от условия неопределённости для решения задачи выбирают определённый тип квантов знаний [13]. Из анализа ограничений присущих задаче следует, что неопределённость в задаче синтеза учебного расписания относится к классу β -неопределённости, и следовательно для

решения задачи синтеза учебного расписания целесообразно, согласно [13], использовать π-кванты знаний.

Выводы

Предложен и обоснован метод знаниеориентированного синтеза учебных расписаний на основе жадных алгоритмов, что даёт возможность качественно и в сжатые сроки составлять расписания занятий для высших учебных заведений. Выбрана и аргументирована модель представления знаний диспетчеров.

Список литературы

1. Постанова Кабінету Міністрів України № 896 від 3 листопада 1993 року. Державна національна програма "Освіта" (Україна ХХІ століття).
2. Метешкин К.А. Кибернетическая педагогика: теоретические основы управления образованием на базе интегрированного интеллекта: Монография. - Х: Международный славянский университет, 2004. - 400 с.
3. Пайкерс В.Г. Методика составления расписания в образовательном учреждении.- Изд. 3-е испр. и доп. – М.: АРКТИ, 2001. – 112 с.
4. Гусаков В.П., Шпак А.В. Автоматизированная система поддержки принятия решений распределения аудиторного фонда вуза //Материалы конф. "Информационные технологии в образовании" ("ИТО-2004").-М.:ИТО, 2004
5. Рубина Т.Б. Применение метода замещений для решения задачи составления расписания учебных занятий. Сборник трудов IX Международной конференции-выставке "Информационные технологии в образовании" ("ИТО-99").-М.:ИТО, 1999.
6. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применения. - СПб: БХВ–Петербург, 2003.- 1104 с .
7. Мальцев М.В. Автоматизация управления учебным процессом //Материалы конф. "Новые информационные технологии в университетском образовании".- Н.:НГУ.-1996
8. Основы системного анализа и проектирования АСУ/ Под. ред. А.А. Павлова.- К.:Вища шк., 1991.- 367 с.
9. Костенко В.А. Задача построения расписания при совместном проектировании аппаратных и программных средств// Программирование, 2002.- N 3.- С. 64 - 80.
10. Трахтенгерц Э.А.Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений// Проблемы управления №1, 2003 С.13 - 27
- 11.Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ/ Пер. с англ. под ред. А.Шеня.-М.:МЦНМО, 2002.- 960 с.
- 12.Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях; - М.: ДМК Пресс, 2004. - 312 с.
- 13.Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. К.: Изд-во Наукова думка, 2002.- 328 с.
- 14.Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Спб.:Питер, 2001.- 384 с.

Принцип построения и структура многосекционной базы знаний для поддержки решений при планировании учебных расписаний

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Введение

Деятельность высшего учебного заведения многогранна и включает в себя выполнение задач учебного, научно-исследовательского и административно-хозяйственного характера. Во всех этих задачах внедрение информационных технологий позволяет принимать более обоснованные решения и уменьшить затраты времени и средств [1].

Эффективность современного высшего образования во многом определяется качеством и быстротой принятия решений в процессе планирования учебного процесса, что, в свою очередь, прямо зависит от эффективности использования знаний и опыта работников высшей школы.

В результате развития науки и образования накоплен значительный объем знаний, сосредоточенных в литературе и нормативной документации. Однако эффективность применения знаний заметно снижается вследствие ряда недостатков, важнейшими из которых являются [2]:

- рассредоточенность знаний как по источникам, так и по времени приобретения и вследствие этого их сравнительно малая доступность и неизвестность для потенциальных пользователей;
- непроверенность знаний, возможность вытеснения более истинного знания менее истинным или даже ошибочным, но энергично пропагандируемым;
- невозможность немедленного использования знаний без умелых преобразований и приложений специалистом.

Перечисленные недостатки приводят к крайне низкой эффективности использования знаний в ходе принятия решений при управлении учебным процессом ВУЗа, в частности при планировании учебных расписаний.

Постановка задач

Для принятия решений при планировании учебных расписаний отсутствуют формализованные алгоритмы выбора аудитории и расстановки занятий, а также системы поддержки принятия решений (СППР) для планирования расписаний. Использование только БД для планирования расписания недостаточно, так как невозможно воспроизвести сценарий принятия решений диспетчером при планировании расписаний с помощью известных регулярных методов принятия решений, а необходимо использовать знания. Отсутствует строгое определение понятия „знания”. Наиболее распространено следующее определение: знания – это закономерности предметной области (принципы, связи, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области [3].

Отсутствует также методика обеспечения принятия решений, начиная с определения источников знаний, извлечения, формализации знаний и заканчивая выводом решений. Решение указанной проблемы очень наукоемко, требует создания средств инженерии знаний для моделирования умений диспетчера принимать решения, опираясь на собственный опыт и знания.

Задача планирования расписаний определяется набором данных и документов, необходимых для формирования расписаний, и сценарием его построения. Знания о подразделениях и кадрах высшего учебного заведения, а также учебная нагрузка большей частью являются документами, которые могут быть достаточно легко представлены в виде баз данных. Знания о сценарии составления расписаний чаще всего являются логическими утверждениями; они при текстовой форме представления знаний выражены неявно, трудно-извлекаемы и практически неформализуемы [4].

Процесс планирования расписаний требует использования знаний, большая часть которых может быть приобретена путем интенсификации, эффективного использования накопленных знаний и получения благодаря им новых, еще не известных, знаний.

Результаты исследований

В основу предлагаемого принципа построения многосекционной базы знаний (МБЗ) положена идея активизации знаний, заключающаяся в представлении знаний и хранении их в виде, обеспечивающем готовность к немедленному использованию. Исходные компоненты знаний могут быть применены непосредственно в процессе планирования учебного процесса, а также для получения новых знаний.

Главным путем реализации этой идеи в планировании расписаний является создание диспетчерской МБЗ. В основе построения МБЗ лежат принципы современной инженерии знаний, ориентированной на создание "умелых" систем на базе квантов знаний, обеспечивающих извлечение знаний, которыми располагают специалисты, и организацию знаний, позволяющую их наиболее эффективное использование. Диспетчерская МБЗ представляет собой интерактивный программный комплекс, реализующий функции извлечения, представления, хранения и актуализации знаний.

От широко известных и применявшихся до сих пор систем информационной поддержки процесса планирования расписаний МБЗ принципиально отличаются:

- комплексность подхода к использованию знаний, заключающаяся в обеспечении взаимодействия разных по характеру знаний;
- возможность применения математического аппарата манипулирования знаниями, как алгоритмическими структурами;
- возможность неограниченного наращивания знаний;
- контроль достоверности поступающих знаний.

Организуется МБЗ по уровневому принципу. Каждый из четырех уровней (секций) содержит базы знаний, определяющие соответственно санитарно-гигиенические нормы выбора времени занятия, правила выбора аудитории, учёт пожеланий преподавателей, действия при возникновении отклонений.

База знаний, находящаяся на том или ином уровне, представляет собой автономную базу знаний МБЗ, имеющую все составляющие для обеспечения

наполнения МБЗ необходимыми знаниями для решения поставленных задач поддержки принятия решений (рис. 1).

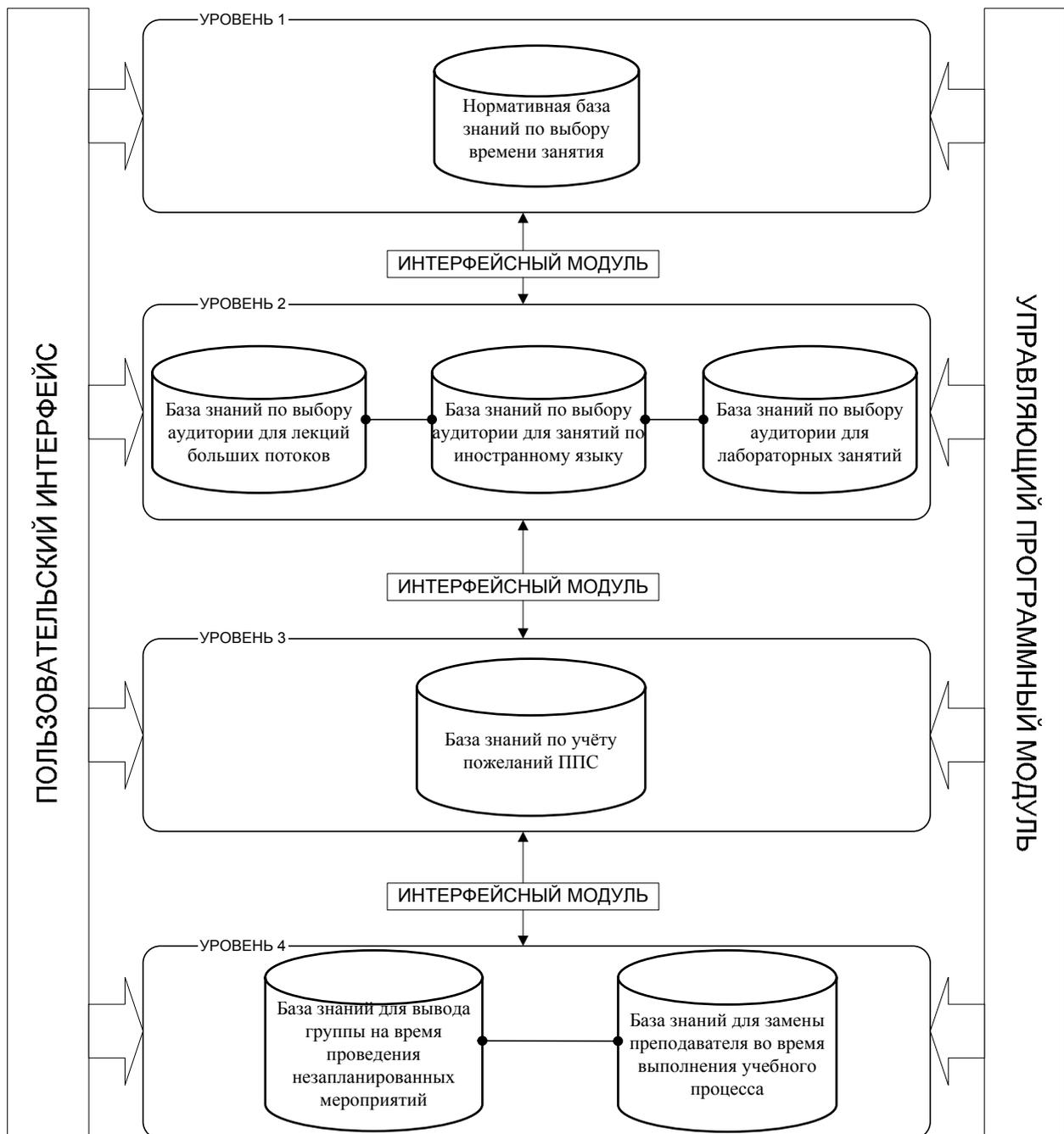


Рис. 1. Архитектура многосекционной базы знаний для поддержки решений при планировании учебных занятий

Общение эксперта с МБЗ осуществляется через интерфейс пользователя, управление МБЗ выполняется управляющим программным модулем. Взаимосвязь автономных баз знаний в пределах одного уровня и между уровнями обеспечивают интерфейсные модули. Такой принцип построения МБЗ создает возможность для большой гибкости при последующем формировании решений.

Знания в автономной базе знаний имеют квантовое представление, что обеспечивает строгую формализацию порций знаний как содержательных алгоритмических структур данных, машинное манипулирование ими средствами алгебр конечных предикатов и векторно-матричных операторов, а также индуктивный синтез базы квантов знаний (БкЗ) в процессе обучения компьютера по сценарным примерам ситуаций конкретной предметной области.

Архитектура системы формирования базы квантов знаний представлена на рис. 2.

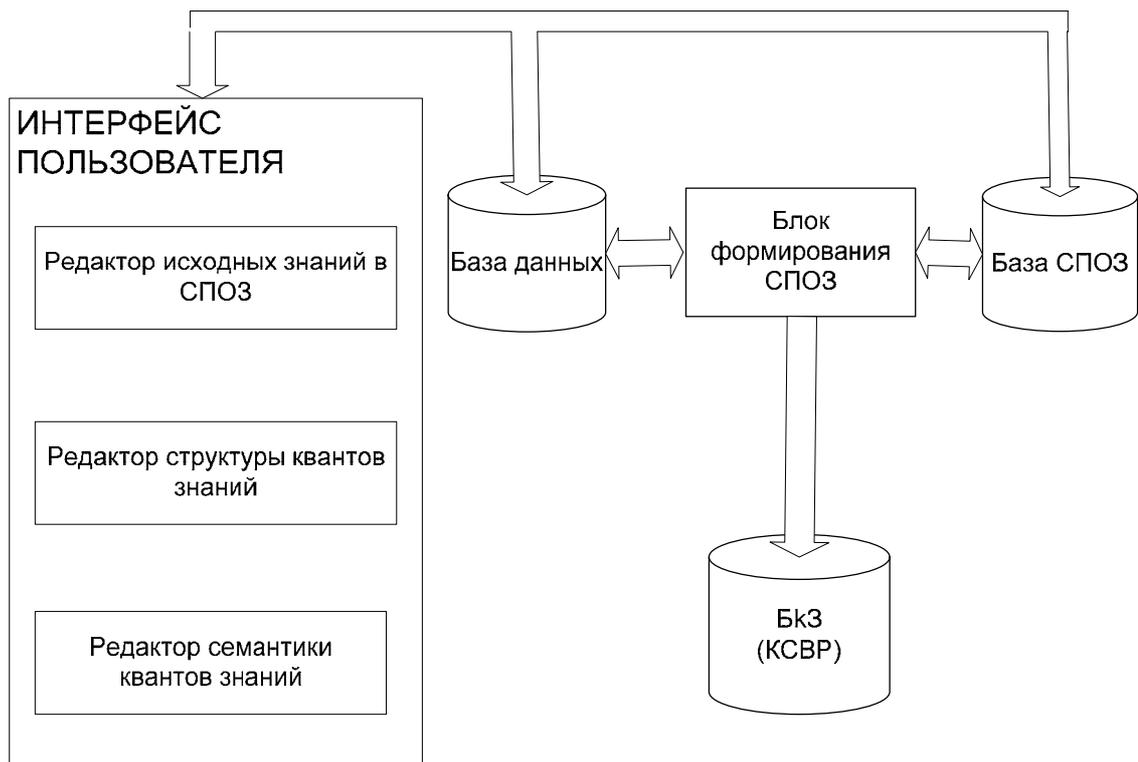


Рис. 2. Архитектура системы формирования базы квантов знаний

Предложенный индуктивный РАКЗ-метод обеспечивает построение обучаемых квантовых сетей вывода решений (КСВР) как моделей логических рассуждений человека от посылок через промежуточные следствия к целевым следствиям, т.е. принимаемым решениям. Кванты знаний в узлах КСВР (в отличие от нейронов интеллектуальной нейронной сети) представляют собой не только своеобразные процессоры со встроенными алгоритмами для переработки входной информации (посылок) в выходную (следствие) с определением его показателя достоверности, но и специальные векторно-матричные структуры (порции) данных об объекте принятия решений (ОПР). Именно поэтому стало возможным эффективное манипулирование к-знаниями посредством машинных алгебр и одновременное использование КСВР как в роли обучаемой базы квантов знаний (БкЗ), так и механизма вывода искомых решений. БкЗ представляется системой обнаруживаемых по выборочным знаниям имплицативных (запретных) и/или функциональных закономерностей, а механизм вывода реализуется операторно-алгоритмическими средствами. При этом имплицативной

закономерностью или запретом r -го ранга называется устойчивая связь между r характеристиками ОПР из общего числа n ($r \leq n$), представленная недопустимостью хотя бы одной комбинации их значений на множествах квантов знаний (k -знаний). Функциональной закономерностью r -го ранга на множествах k -знаний называется устойчивая связь между r ($r \leq n$) признаками ОПР, позволяющая по значениям одних признаков – аргументов однозначно определить значения других – функций. Обучение КСВР осуществляется по выборочным таблицам эмпирических данных (ТЭД) и/или по сценарным примерам обучающих знаний (СПОЗ) исследуемой предметной области, которые формируются экспертами с инженерами по знаниям. Процесс обучения состоит в алгоритмическом нахождении по ТЭД и/или СПОЗ адекватного задаче количества квантовых узлов сети, логических связей между ними и компонентов структуры квантов. Обучение завершается построением КСВР и её оптимизацией по критерию структурной избыточности [5].

Выводы

Таким образом, в качестве нового решения задачи планирования учебных расписаний предлагается использовать знаниеориентированный подход.

Построение многосекционных баз знаний дает возможность использовать не только данные в виде фактов, но и правила, дерево целей, дерево контекстов и фиксированную иерархию объектов, определяющую структуру диалога эксперта и машины, т. е. все то, что действительно представляет собою знания в общепринятом смысле. Предложенный новый принцип построения диспетчерской многосекционной базы знаний, основанный на квантовых моделях знаний, позволит обеспечить представление знаний и их хранение в виде, обеспечивающем готовность к немедленному использованию, а также строгую формализацию порций знаний как содержательных алгоритмических структур данных и машинное манипулирование ими средствами алгебр конечных предикатов и векторно-матричных операторов.

Список литературы

1. Норенков И. П., Зимин А. М. Информационные технологии в образовании. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 352 с.
2. Андрейченков А. В., Андрейченкова О. Н. Интеллектуальные информационные системы.– М.: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
4. Россоха С. В., Соханюк И. Е. Проблема поддержки принятия диспетчерских решений при планировании расписания учебных занятий в техническом университете// Искусственный интеллект. – 2003. – №4. – С.349 – 356
5. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 с.

Модель оценки качества учета товарно-материальных ценностей

*Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»,
НПО «Технология»*

Общая постановка проблемы. В соответствии с Международными стандартами бухгалтерского учета (IAS) товарно-материальными ценностями (ТМЦ) считаются активы, которые характеризуются следующим [1]:

- хранятся для перепродажи при нормальном ходе деятельности;
- находятся в процессе производства для дальнейшей продажи;
- существуют в форме материалов или запасов, которые будут потреблены в процессе производства или оказания услуг.

Согласно приведенному выше определению, ТМЦ подразделяют на три категории: сырье, незавершенное производство и готовая продукция.

Сырье - это необработанные предметы, которые будут использованы в процессе производства; к незавершенному производству относят товары, производство которых завершено частично, а готовая продукция - это законченные товары, готовые к продаже.

При массовом выпуске в цехе находится большое количество изделий, находящихся в незавершенном производстве. Общее количество «незавершенных изделий» может измеряться сотнями тысяч единиц. Процесс пересчета изделий, находящихся в незавершенном производстве, например, для прессово-штамповочного цеха, представляется невыполнимой задачей. В связи с особенностями технологического процесса, обусловленными значительными временными затратами, затратами на переналадку и подготовку оснастки, перестройку оборудования, а также высокой производительностью операций, создаются большие межоперационные заделы. Информация о количестве межоперационных заделов поступает на основании нарядов основных рабочих, в которых отражено выполнение ими сменных норм. Эти данные имеют отклонения, вызванные наличием брака на операции, необходимостью повторных действий (ходов) оборудования для выполнения одной и той же операции, ошибок в предоставлении основными рабочими данных о количестве выпущенной продукции за смену, не соответствующими реальности нормами расходов. Причин для отклонений может быть достаточно велико. Если эти причины и отклонения вовремя не выявлять, то постепенно происходит накопление ошибок, приводящих, например, к несоответствию между фактическим состоянием и учетными данными сырья в цехе, повышенным выплатам заработной платы за фактически не выполненную операцию, скоплению бракованной продукции среди межоперационных заделов. Отклонения могут достигать до 20 ... 50% в год от месячного количества незавершенного производства. Последнее приводит к злоупотреблениям на рабочем месте, к повышению себестоимости продукции и недополучению прибыли предприятием, к невозможности выполнения заказа из-за отсутствия сырья, которое исходя из учетных данных должно быть в наличии [2].

Анализ и исследование публикаций по теме статьи. Цель статьи. В связи с изложенным выше представляется актуальным усовершенствование подходов к учету ТМЦ, опорными точками которого являются:

- усовершенствование учета ТМЦ, находящихся в незавершенном производстве;
- усовершенствование методики начисления фонда заработной платы и ликвидация источника ошибок при заполнении нарядов;
- выявление брака между операциями и ликвидация причин, его порождающих;
- усовершенствование методики определения норм расхода сырья для изготовления заготовки в ходе выполнения конкретной операции.

Для решения поставленной проблемы воспользуемся системой уравнений, описывающей производственный процесс через моменты функции распределения ТМЦ по скоростям изменения затрат $\chi(t, S, \mu)$ в фазовом пространстве (S, μ) [3]:

$$\begin{cases} \frac{\partial[\chi]_0}{\partial t} + \frac{\partial[\chi]_1}{\partial S} = 0; \\ \frac{\partial[\chi]_1}{\partial t} + \frac{\partial[\chi]_2}{\partial S} = f(t, S)[\chi]_0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь S – сумма общих затрат, потраченных предприятием на ТМЦ в текущий

момент времени; μ - скорость изменения затрат; $[\chi]_1 = \int_0^{\infty} d\mu \cdot \mu \cdot \chi(t, S, \mu)$ - темп

движения ТМЦ вдоль технологической цепочки (первый момент функции распределения); $f(t, S) = \frac{d\mu}{dt}$ - функция, определяющая скорость изменения затрат

на ТМЦ при их движении вдоль технологической цепочки производственного процесса; $[\chi]_0 = \int_0^{\infty} d\mu \chi(t, S, \mu)$ - величина заделов ТМЦ (нулевой момент функции

распределения); $[\chi]_2 = \int_0^{\infty} \mu^2 \chi d\mu$ - второй момент функции распределения ТМЦ.

Основной материал. Ежедневно диспетчер производства получает информацию о выполнении рабочими сменных заданий в установленной на предприятии форме. Одной из принятых форм является матрица «рабочий - операция», общий вид которой представлен в таблице. Она служит основанием для начисления месячного фонда заработной платы каждому рабочему, занятому на основных операциях.

Для столбцов и строк таблицы справедливо равенство

$$\sum_{j=1}^M z_{jk} = \sum_{i=1}^N y_{ik} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ij_k}, \quad (2)$$

где M – число операций в технологической цепочке; N - число рабочих, занятых в технологическом процессе; x_{ij} - величина заготовок, находящихся в незавершенном производстве, полученная i – м рабочим при выполнении j – й операции; y_i - общее количество заготовок, полученное по данным,

предоставленным i – м рабочим при выполнении всех операций; z_j - общее количество заготовок на j – й операции.

Матрица «рабочий - операция»

ФИО основного i -го рабочего	Операция 1		Операция M	Итого по рабочему
Рабочий 1	x_{11k}	...	x_{1Mk}	$y_{1k} = \sum_{j=1}^M x_{1jk}$
Рабочий 2	x_{21k}	...	x_{2Mk}	$y_{2k} = \sum_{j=1}^M x_{2jk}$
...
Рабочий N	x_{N1k}	...	x_{NMk}	$y_{Nk} = \sum_{j=1}^M x_{Njk}$
Итого по j -й операции	$z_{1k} = \sum_{i=1}^N x_{i1k}$...	$z_{1k} = \sum_{i=1}^N x_{iMk}$	$\sum_{j=1}^M z_{jk} = \sum_{i=1}^N y_{ik} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ijk}$

Выражение (2) представляет собой общую сумму операций, выполненных рабочим (учетной единицей) за рассматриваемый отрезок времени. Символ « k » свидетельствует о том, что матрица составлена для « k »-го момента времени.

На практике за единичный временной отрезок довольно часто принимают величину $\Delta t = \Delta t_k = t_k - t_{(k-1)}$ - рабочий день, ежедневно предоставляя данные диспетчеру.

Нетрудно заметить, что справедливо равенство

$$z_k^L \Delta \tau_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} [\chi]_1 d\tau, \quad (3)$$

где $z_k^L \Delta \tau_k$ - число заготовок, произведенных за отчетный период $\Delta \tau_k$ во временном диапазоне $[t_{(k-1)}, t_k]$ по L -му виду изделий; z_k^L - темп движения заготовок для L -го вида изделий в момент времени t_k (количество операций в

день); $\int_{t_{k-1}}^{t_k} [\chi]_1 \cdot d\tau$ - количество выполненных операций за отчетный период

протяженностью Δt во временном диапазоне $[t_{(k-1)}, t_k]$.

Величина z_k^L в уравнении (3) - это усреднение величины $[\chi]_1$ за промежуток времени $\Delta \tau_k$, т.е.

$$z_k^L = \frac{1}{\Delta \tau_k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} [\chi]_1 d\tau, \quad (4)$$

которая описывает пооперационный темп движения межоперационных заготовок от операции к операции по L -му виду изделий.

Перерабатывая в диспетчерском пункте информацию, представленную в матрице «рабочий - операция», а именно z_k^L , значение величины $[\chi]_1$ определяем следующим образом:

$$z_k^L = \frac{1}{\Delta \tau_k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} [\chi]_1 d\tau = \frac{1}{\Delta \tau_k} [\chi]_1(t_k, S_L) \Delta \tau_k + o(\Delta \tau_k) = [\chi]_1(t_k, S_L) + o(\Delta \tau_k), \quad (5)$$

где $o(\Delta \tau_k)$ - члены более высокого порядка малости.

Выражение (5) позволяет представить систему (1) в виде

$$\begin{cases} \frac{\partial [\chi]_0}{\partial t} + \frac{\partial [\chi]_1}{\partial S} = 0; \\ [\chi]_1(t_k, S_L) = z_k^L - o(\Delta \tau_k), \end{cases} \quad (6)$$

где первое уравнение – уравнение межоперационных заготовок вдоль технологической цепочки; второе – уравнение темпа заготовок вдоль технологической цепочки, записанное с точностью $o(\Delta \tau_k)$, что значительно упрощает решение задачи.

Рассмотрим первое уравнение системы (6).

Представим его в конечно-разностном виде для момента времени t_k и координаты в технологической цепочке S_L с шагом по времени $\Delta \tau_k$ и шагом по координате в технологической цепочке ΔS_L

$$\frac{\partial [\chi]_0}{\Delta \tau_k} + \frac{\partial [\chi]_1}{\Delta S_L} = o(\Delta \tau_k, \Delta S_L) \rightarrow 0,$$

где $o(\Delta \tau_k, \Delta S_L)$ - погрешность перехода к конечно-разностному уравнению, являющаяся величиной более высокого порядка малости в сравнении со слагаемыми уравнения и определяемая из разложения

$$\begin{aligned} [\chi]_0(t_k + \Delta \tau_k, S_L) &= [\chi]_0(t_k, S_L) + \\ &+ \frac{\partial [\chi]_0}{\partial t} \Big|_{t=t_k, S=S_L} \Delta \tau_k + \frac{\partial^2 [\chi]_0}{2 \partial t^2} \Big|_{t=t_k, S=S_L} (\Delta \tau_k)^2 + o(\Delta \tau_k^3); \\ [\chi]_1(t_k, S_L + \Delta S_L) &= [\chi]_1(t_k, S_L) + \frac{\partial [\chi]_1}{\partial S} \Big|_{t=t_k, S=S_L} \Delta S_L + \\ &+ \frac{\partial^2 [\chi]_1}{2 \partial S^2} \Big|_{t=t_k, S=S_L} (\Delta S_L)^2 + o(\Delta S_L^3); \end{aligned}$$

$$\left. \frac{\partial [\chi]_0}{\partial t} \right|_{\substack{t=t_k \\ S=S_L}} = \frac{[\chi]_0(t_k + \Delta\tau_k, S_L) - [\chi]_0(t_k, S_L)}{\Delta\tau_k} + o(\Delta\tau_k) = \frac{\Delta[\chi]_0}{\Delta\tau_k} + o(\Delta\tau_k);$$

$$\left. \frac{\partial [\chi]_1}{\partial S} \right|_{\substack{t=t_k \\ S=S_L}} = \frac{[\chi]_1(t_k, S_L + \Delta S_L) - [\chi]_1(t_k, S_L)}{\Delta S_L} + o(\Delta S_L) = \frac{\Delta[\chi]_1}{\Delta S_L} + o(\Delta S_L).$$

Шаг интегрирования $\Delta\tau_k$, ΔS_L взят переменным по координатам (t, S) , что довольно широко распространено при решении дифференциальных уравнений приближенными методами. Если информация предоставляется диспетчеру ежедневно или через равные промежутки времени, то можно положить $\Delta\tau_k = \Delta\tau$. Иная ситуация происходит с промежутком ΔS_L . Этот промежуток определяет возрастание стоимости заготовки при ее движении от операции к операции и является переменной величиной, определяемой функцией $\Delta S_L = f(S_L)$.

Проведем оценку малости вклада слагаемого $o(\Delta\tau, \Delta S_L)$.

Умножив конечно-разностное уравнение, описывающее движение межоперационных заготовок вдоль технологической цепочки, на $\Delta\tau \cdot \Delta S_L$, получим

$$[\chi]_0(t_k + \Delta\tau, S_L)\Delta S_L = [\chi]_0(t_k, S_L)\Delta S_L + \{[\chi]_1(t_k, S_L + \Delta S_L) - [\chi]_1(t_k, S_L)\}\Delta\tau.$$

Здесь выражение $[\chi]_0(t_k + \Delta\tau, S_L)\Delta S_L$ определяет число межоперационных заготовок в момент времени $(t_k + \Delta\tau)$ на операции технологического процесса в интервале координат $(S_L; S_L + \Delta S_L)$, т.е.

$$z_{S_L} = \int_{S_L}^{S_L + \Delta S_L} dS[\chi]_0,$$

которое в конечно-разностном виде можно представить с определенной точностью

$$z_{S_L}(t_k, S_L) = \int_{S_L}^{S_L + \Delta S_L} dS[\chi]_0(t_k, S_L) = [\chi]_0(t_k, S_L)\Delta S_L + o(\Delta S_L^2). \quad (7)$$

Аналогично для произведенных операций за отчетный период протяженностью Δt во временном диапазоне $[t_{(k-1)}, t_k]$:

$$z_k^L(t_k, S_L)\Delta\tau = \int_{t_{k-1}}^{t_k} [\chi]_1 d\tau = [\chi]_1(t_k, S_L)\Delta\tau + o(\Delta\tau^2). \quad (8)$$

Таким образом, конечно-разностное уравнение величины межоперационных заготовок вдоль всей технологической цепочки по L -му виду изделий представим как

$$Z_{S_L}(t_k + \Delta\tau, S_L) = z_{S_L}(t_k, S_L) + [z_k^L(t_k, S_L + \Delta S_L) - z_k^L(t_k, S_L)]\Delta\tau, \quad (9)$$

где $Z_{S_L}(t_k + \Delta\tau, S_L)$ - фактическое число заготовок вдоль технологической цепочки в момент времени $(t_k + \Delta\tau)$ для L -го вида изделий; $z_{S_L}(t_k, S_L)$ - фактическое число заготовок вдоль технологической цепочки в момент времени t_k для L -го вида изделий; $z_k^L(t_k, S_L + \Delta S_L)$ - поступление заготовок с предыдущей технологической операции; $z_k^L(t_k, S_L)$ - выбытие заготовок с технологической операции.

Выражение (9) представим в виде *уравнения уровня*, предложенного Дж. Форрестером в его работе «Основы кибернетики предприятия» [4]. Введем следующие обозначения. Пусть $Z_{S_L}(t_k + \Delta\tau, S_L) = IAR.K_L$ - фактический межоперационный задел в момент времени $(t_k + \Delta\tau)$ для L -го вида изделий (в терминах Дж. Форрестера - L -го уровня); $z_{S_L}(t_k, S_L) = IAR.J_L$ - фактический межоперационный задел в момент времени t_k для L -го уровня; $z_k^L(t_k, S_L + \Delta S_L) = SRR.JK_L$ - поступления заготовок с предыдущего уровня; $z_k^L(t_k, S_L) = SSR.JK_L$ - выбытие заготовок с уровня; $\Delta\tau = DT$ - приращение времени, интервал времени между решениями системы уравнений.

Тогда выражение (9) запишем в виде

$$IAR.K_L = IAR.J_L + DT(SRR.JK_L - SSR.JK_L). \quad (10)$$

Это пример типичного уравнения уровня, в котором за уровень взято количество заготовок для L -го вида изделий. «Уравнение устанавливает прямую количественную зависимость, согласно которой ...» величина межоперационных заготовок «... $IAR.K$ в момент времени K равна предыдущему значению $IAR.J$ в момент времени J плюс произведение разности между темпами входящего потока $SRR.JK$ и исходящего потока $SSR.JK$ на продолжительность интервала DT , в течение которого существуют эти темпы [4, с. 65]». Здесь уровни характеризуют возникающие накопления внутри системы, а темпы определяют существующие мгновенные потоки между уровнями в системе.

Среди основных свойств уравнений уровня выделим следующие [4]:

- уравнения уровней не зависят одно от другого;
- решение каждого из уравнений зависит только от информации, касающейся предшествующего момента времени;
- порядок решения уравнений не имеет значения;
- при решении какого-либо уравнения уровня в момент времени K не нужна информация из других уравнений уровней, решаемых для того же момента времени;
- уровень в момент времени K зависит от его предыдущего значения в момент J и от темпов движения заготовок вдоль технологической цепочки в интервале $[J, K]$.

Уравнение (10) является исходным для составления программ при решении задач оценки качества учета ТМЦ на предприятии. Рассмотрим, какие данные можно получить при его решении.

Исходными данными для диспетчера при оценке качества учета являются:

- состояние уровней в начальный момент времени

$$IAR.J_L = IAR.O_L,$$

которое определяется инвентаризацией или другим удобным способом;

- информация о выполнении сменных заданий в установленной на предприятии форме «рабочий - операция», ежедневно подаваемая на обработку диспетчеру;

- установленные на предприятии расценки за операцию и пооперационные нормы расхода сырья и материалов.

В текущем порядке по расходным накладным в цех поступает сырье и материалы и аналогично по расходным накладным продукция сдается из цеха на склад готовой продукции. Зная состояние уровней в начальный момент времени, вводя информацию о выполнении сменных заданий в форме «рабочий - операция», информацию о поступлении сырья и материалов в цех и сдачи готовой продукции из цеха на основании приходно-расходных накладных, с помощью уравнение уровня (10) получаем однозначную информацию о состоянии уровней.

В ходе внесения данных диспетчерами возможны ситуации, когда уравнение уровня (10) дает отрицательное значение

$$IAR.K_L < 0. \quad (11)$$

Уровень с отрицательным значением существовать не может. Следовательно, в данных о выполнении сменных заданий в форме «рабочий - операция» есть ошибки, выраженные, например, в предоставлении рабочим завышенной информации о выполнении сменного задания.

Если ввести для данного случая обозначение $IAR.K_L = \Delta IAR.K_L < 0$, то величина $\Delta IAR.K_L$ - основание для предписания мастеру или начальнику цеха на проведение инвентаризации по перепроверке учетных данных о выполненных основных операциях, предоставленных из цеха. Таким образом, отклонение $\Delta IAR.K_L$ есть параметр для формирования управляющего воздействия от диспетчерской службы.

Возможна и другая ситуация, когда диспетчеру предоставляется информация о том, что на L -м уровне отсутствует межоперационный задел, в то время как исходя из диспетчерской информации на основании уравнения уровня задел больше нуля. Имеем отклонение

$$IAR.K_L > 0. \quad (12)$$

Такую ситуацию можно расценивать двояко.

В первом случае $IAR.K_L = \Delta IAR.K_L > 0$ - ошибка в предоставлении данных о выполнении сменных заданий в форме «рабочий - операция», когда рабочим дана заниженная информация. В данном случае рабочий «ошибся» в пользу предприятия, однако его ошибка приводит к неправильному представлению о состоянии межоперационных заделов вдоль технологической цепочки изготовления L -го вида изделия.

Возможен и другой исход, когда рабочим предоставлена правильная информация, а указанное отклонение уровня $\Delta IAR.K_L$ является результатом выпуска бракованной продукции, о существовании которой известно только рабочему и которая, например, отправлена на участок сдачи металлолома. Данная ситуация довольно типична для ряда производств. Исходом описанного варианта есть формирование управляющего воздействия от диспетчерской

службы в технический отдел для выяснения причин возникновения брака на L -м уровне.

Довольно интересен и другой случай, когда имеем отклонение на первом шаге

$$IAR.1_L > 0, \quad (13)$$

что свидетельствует о несоответствии норм расхода сырья и материалов, когда операция выполнена при условии отсутствия сырья.

Значит, на выполнение операций технологической цепочки пошло сырье, «сэкономленное» путем назначения завышенных норм расхода при выполнении остального количества операций на данном уровне.

Зная однозначную информацию о состоянии уровней, можно определить состояние сырья $C_{факт}^m$ в незавершенном производстве вдоль всей технологической цепочки [2]

$$C_{факт}^m = \sum_L IAR.J_L \cdot H_{C_{факт}^m},$$

где m означает сырье и материалы m -го типа; $H_{C_{факт}^m}$ - количество сырья, которое на основании норм расхода содержится в изделии, находящемся на L -уровне.

Обозначим через $C_{бух}^m$ количество находящегося в цеху сырья и материалов m -го типа, полученного посредством данных бухгалтерского учета. Тогда

$$\Delta C = C_{бух}^m - C_{факт}^m \quad (14)$$

характеризует отклонение фактического состояния сырья и материалов m -го типа по данным бухгалтерского учета и фактическому его состоянию.

Величина отклонения ΔC является основанием для предписания на проведение инвентаризации по состоянию сырья и материалов m -го типа, а значит, отклонение ΔC - параметр для формирования управляющего воздействия от диспетчерской службы.

Умножив значения темпов на каждом уровне на расценку за выполнение операции R_L и просуммировав за отчетный период $[t_{JK} - t_1]$, получим фонд оплаты труда цеха за отчетный период

$$F_{JK} = \sum_t \sum_L SSR.JK_L \cdot R_L.$$

Ясно, что должно выполняться равенство

$$F_{JK} = \sum_t \sum_L SSR.JK_L \cdot R_L = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_k \sum_L x_{ijk} \cdot R_L, \quad (15)$$

где $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \sum_k \sum_L x_{ijk} \cdot R_L$ определяет фонд оплаты труда на основе расчетов,

сделанных рабочими ко дню сверки с данными по фонду оплаты труда за отчетный период.

Наличие отклонения ΔF_{JK} в равенстве (15) является основанием для формирования управляющего воздействия от диспетчерской службы при решении задач управления начислением фонда заработной платы основному рабочему.

В терминах Дж. Форрестера $\Delta IAR.K_L$, ΔC , ΔF_{JK} определяют «... функции решений, которые представляют собой формулировку линии поведения, определяющую, каким образом имеющаяся информация об уровнях приводит к выбору решений, связанных с величинами текущих темпов [4, с. 59]».

Заключение

В результате рассмотрения производственной системы появилась возможность определения величины межоперационных заготовок вдоль всей технологической цепочки по L -му виду изделий на основе представления, аналогичного уравнению уровня, предложенного Дж. Форрестером в 1961 г. Такой подход позволил сформулировать управляющие воздействия диспетчерской службы как результат возникновения отклонений при сравнении решений уравнений уровня и фактических данных. Они имеют следующий вид:

1. При $IAR.K_L < 0$ формируется воздействие, направленное на усовершенствование методики начисления фонда заработной платы и ликвидации источника ошибок при заполнении нарядов.

2. В случае $IAR.K_L > 0$ формируется ряд воздействий вида:

- выявление брака между операциями и ликвидация причин, его порождающих;

- усовершенствование методики определения норм расхода сырья для изготовления заготовки в ходе выполнения конкретной операции;

- ликвидация источника ошибок при заполнении нарядов.

3. При появлении отклонения ΔC формируется управляющее воздействие, предполагающее усовершенствование учета сырья в незавершенном производстве.

4. При появлении отклонения ΔF_{JK} формируется управляющее воздействие, направленное на усовершенствование методики начисления фонда заработной платы.

Список литературы

1. Товарно-материальные ценности // www.goap.ru/biblio.htm.
2. Модель определения качества учетной политики предприятия / В.С. Пигнастая, С.Ю. Мелешенко, Е.Н. Пищик, А.Р. Емад // Труды Междунар. конф. по управлению «Автоматика - 2004». – К.: Киевск. ун-т пищевых тех-ий. – 2004. – С. 63.
3. Демущий В.П., Пигнастая В.С., Пигнастый О.М. Теория предприятия: Устойчивость функционирования массового производства и продвижения продукции на рынок - Х.: ХГУ, 2003. - 272 с.
4. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия / Индустриальная динамика. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.

Определение тематической направленности запросов путем анализа наборов рейтинговых источников

1. Ситуация, сложившаяся сегодня в области сетевых информационных ресурсов, обладает рядом специфических аспектов, требующих известного переосмысления сформировавшихся за последние годы подходов. К числу таких аспектов относится, в частности, фактор интенсивного развития систем обработки больших текстовых массивов на фоне быстрого, по-видимому, экспоненциального, роста объемов информации, представленной в сетях. Вместе с тем, несомненно, в сетевом информационном пространстве существуют секторы, обладающие удивительным постоянством, примером которых могут служить web-сайты информационных агентств: ежедневно они предоставляют посетителям определенное количество сообщений, причем примерно одинакового объема. При этом материалы, в зависимости от текущей ситуации, могут варьироваться и ранжироваться по актуальности и содержанию. По-видимому, подобный режим подачи данных тесно связан с природой процессов сбора и обработки информации, общих для многих медийных средств.

В связи с этим, естественным выглядит разделение сетевого информационного пространства на две части и, соответственно, ввести понятия стационарных и нестационарных информационных потоков. При этом особый интерес вызывают именно стационарные потоки, удовлетворяющие следующим условиям:

- средняя плотность потока информации постоянна;
- изменения в распределении сообщений по основным параметрам в основном определяется изменениями внешнего контекста.

Поскольку с понятием информационных потоков тесно связано понятие источников, имеет смысл говорить также о стационарных и нестационарных источниках информации. Соответственно, интенсивный рост объемов сетевой информации может быть объяснен сочетанием трех факторов:

- увеличение количества стационарных источников;
- увеличение скорости генерирования информации нестационарными источниками;
- накопление ретроспективной информации на фоне неразвитых средств ее утилизации (архивирования).

Следует отметить, что приведенное понятие стационарности в определенной мере является условным, поскольку реальные источники в силу тех или иных причин могут прекращать свое существование. Однако всегда можно говорить о стационарности в локальном временном интервале.

В этой работе представлены полученные авторами результаты, относящиеся к задаче вычисления тематической направленности запросов пользователей к информационно-поисковой системе, которые базируются на анализе корреляций стационарных источников сетевой информации, соответствующих релевантным документам.

2. Одним из наиболее интересных аспектов сетевого информационного пространства, по мнению авторов, является распределение его элементов по тематическим группам, проявляющееся, в частности, в наличии характерных

корреляций, которые могут быть выявлены путем анализа больших объемов данных. Именно такие корреляции и могут стать мощным инструментом структуризации сетевых информационных потоков.

В последнее время для структуризации документальных данных применяется преимущественно два качественно различных метода: рубрикация (тематическая классификация) и кластеризация. Напомним, в чем заключается различие между ними. Рубрикация предполагает распределение документов по группам, ассоциированным с осмысленными рубриками, принадлежащими некоторому заданному заранее набору. Кластеризация же заключается в группировке документов на основании их внутреннего подобия.

Однако существует еще один способ структуризации документальных потоков, который занимает в определенном смысле промежуточное место между рубрикацией и кластеризацией. Это построение с помощью информационно-поисковых систем наборов документов, релевантных определенным запросам. Действительно, запрос представляет собой нечто внешнее по отношению к полному набору документов, однако отбираются документы на основании подобия, обусловленного формальной релевантностью. В случае использования запросов может возникнуть два предельных случая. Если запрос фиксирует полный комплекс характеристик, отвечающих определенной рубрике, имеем рубрикацию, если же запрос фиксирует некоторые формальные параметры документа, то, фактически, имеем кластеризацию.

Таким образом, варьируя объем и структуру запроса, можно получить достаточно гибкий и эффективный метод группировки документов с преобладанием свойств, присущих либо рубрикации, либо кластеризации.

Особый интерес представляет исследование корреляций между распределениями классической рубрикации (поскольку она предоставляет в распоряжение устойчивое распределение документов по очерченным комплексам осмысленных характеристик) и аналогичных распределений кластеризации, построенной по заданным пользователями запросам.

В предлагаемой работе исследовалось локальное во времени распределение источников, соответствующих определенным тематическим запросам. Локальность во времени связана с тем, что абсолютно стационарные источники – понятие скорее абстрактное.

3. В качестве основы для приведенной ниже модели использовалась система контент-мониторинга InfoStream, разработанная в Информационном центре "ЭЛВИСТИ" (EIVisti). Система InfoStream применяется для решения задач автоматизированного сбора новостной информации с открытых web-сайтов, ее систематизации и обеспечения доступа к ней в поисковых режимах. Эта система в настоящее время охватывает порядка 2000 стабильных источников информации - более 30000 уникальных новостных сообщений в сутки. На определенном этапе заполнения информационных фондов системы понадобился механизм уточнения запросов, доступный не только профессионалам, но и простым пользователям.

Исследования проводились с помощью набора инструментальных средств системы InfoStream, обеспечивающих построение, так называемого, информационного портрета, содержащего, помимо прочих, такой параметр, как «Источники» (Рис. 1). Информационный портрет - это адаптивный механизм уточнения запросов, который строится после того, как пользователь введет запрос либо активизирует режим поиска по определенной тематической рубрике.

Однако он также представляет собой достаточно универсальный инструмент для изучения характеристик различных документальных выборок.

В рамках моделирования для некоторой фиксированной тематической рубрики определялся набор наиболее рейтинговых источников – информационных web-сайтов, наиболее часто публикующих информацию по данной тематике в течение определенного периода времени, к примеру, недели.



Рис. 1. Список наиболее рейтинговых источников по рубрике «Банковская деятельность»

Построенный таким образом набор данных использовался далее как эталонный. При этом полученные «сырые» данные ранжировались по 10-бальной шкале (т. е., каждому источнику в зависимости от количества релевантных рубрике документов из этого источника, присваивался нормализованный ранг в интервале от 1 до 10). В описываемом ниже примере использовались источники, соответствующие рубрике «Компьютеры», список которых приведен в Табл. 1. Точки, соответствующие этим источникам изображались на графиках символами «*» (Рис. 2-4.).

Для вычисления корреляций запросов и тематической рубрики, аналогичным образом на основании информационного портрета строились распределения рангов источников, соответствующих запросам пользователей. Рассматривалось множество наиболее рейтинговых источников, соответствующих запросам. В случае если рейтинговый для рубрики источник не входил в список рейтинговых источников запроса, то его рангу приписывалось значение 20 (что в два раза превышает реальный максимальный ранг). Ранги источников, соответствующих запросам пользователей, на графиках представлены точками.

На Рис. 2. приведен гипотетический случай, заключающийся в том, что

источники, соответствующие запросу пользователя, абсолютно не коррелируют с источниками основной темы.

На Рис. 3. и 4. приведены примеры сравнения “через призму источников” тематической рубрики “Компьютеры” с пользовательскими запросами “процессоры” и “мобильные телефоны”. Отклонение запроса от тематики вычислялось по формуле:

$$\delta S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\Delta R_i|$$

где δS – линейное отклонение (разброс) источников, N – количество источников (в исследуемом случае 50), ΔR_i – разность рангов источника по основной теме (рубрике) и запросу пользователя.

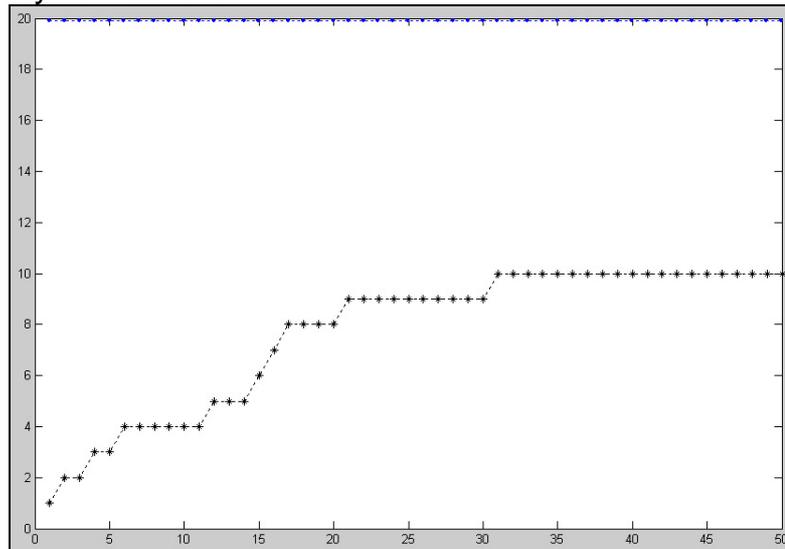


Рис. 2. Основная тема – рубрика «Компьютеры», с ней сравнивается некоррелирующий по источникам запрос. $\delta S = 12.30$

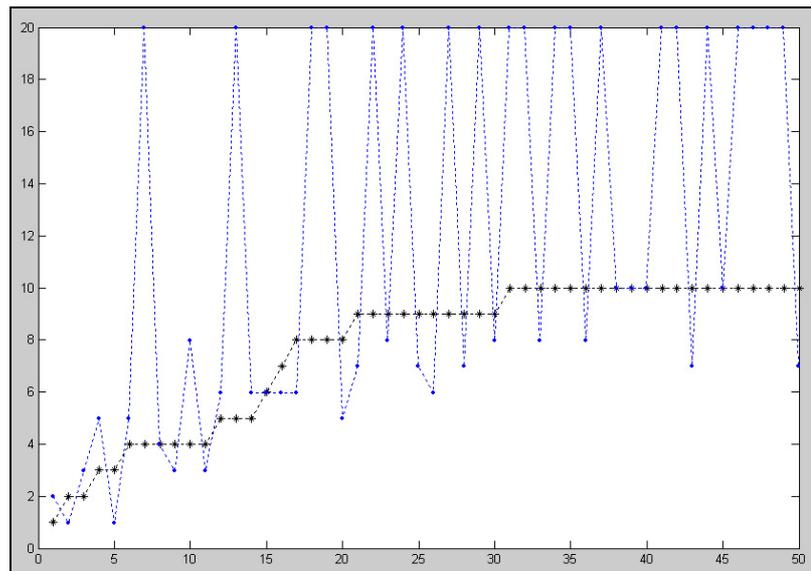


Рис. 3. Основная тема – рубрика «Компьютеры», с ней сравниваются результаты запроса «процессоры». $\delta S = 5.24$

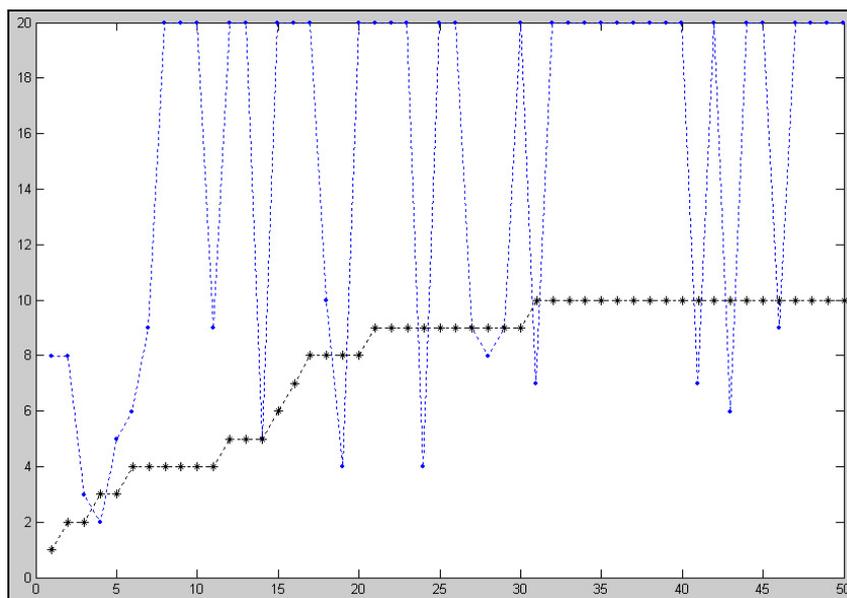


Рис. 4. Основная тема – рубрика «Компьютеры», с ней сравниваются результаты запроса «мобильные телефоны». $\delta S = 8.14$

Табл.1. 50 рейтинговых источников, соответствующих рубрике «компьютеры»

Источники (количество документов)	Ранг	Источники (количество документов)	Ранг
iXBT (30)	1	НРСru (3)	9
Россия-Он-Лайн (22)	2	Пробуем.ру (3)	9
@Astera (20)	2	Подробности (3)	9
RAMBLER (15)	3	VLASTI.NET (3)	9
Компьюлента (14)	3	ZDNet (3)	9
CNews.ru (11)	4	РИА "Новости" (2)	10
ПРАЙМ-ТАСС (11)	4	Казинформ (2)	10
iTware (11)	4	Електронні Вісті (2)	10
Инфо-Бизнес (11)	4	Журнал "ИТОГИ" (2)	10
TUT.BY (10)	4	Еженедельник "Аптека" (2)	10
3DNews.RU (10)	4	DELFI (2)	10
Tom's Hardware Guide (8)	5	Портал "2000" (2)	10
ФЦП "Электронная Россия" (7)	5	HackZona (2)	10
Новости@MAIL.RU (7)	5	Lenta.Ru (2)	10
ComputerWorld/Украина (6)	6	Computer Crime Research Center (2)	10
Новости мира мобильных компьютеров (5)	7	NEWSRU.com (2)	10
PCWEEK/RE ONLINE (4)	8	UA TODAY (2)	10
Издательский дом "Коммерсантъ" (4)	8	КМ-Новости (2)	10
Sostav.ru (4)	8	Журнал "Компьютеры+Программы" (2)	10
ITC online (4)	8	AllExpo.ru (2)	10
Утро (3)	9	INLINE.RU (2)	10
Эксперт-центр (3)	9	Портал "ИСПАЛЕНД" (2)	10
Независимая газета (3)	9	Время новостей (2)	10
Альянс Медиа (3)	9	ГУДОК.РУ (2)	10
CITFORUM.RU (3)	9	DORE.RU (2)	10

Из приведенных результатов с очевидностью следует, что «процессоры» значительно ближе по списку источников к основной теме, чем «мобильные телефоны».

Таким образом, получена возможность оценки тематической близости документальных массивов по характеристикам, не заданным изначально при построении собственно набора рубрик. При этом подобный анализ может проводиться независимо от использовавшихся ранее методов рубрикации.

Также следует отметить как несомненное достоинство методики простоту и наглядность интерпретации конечных результатов, связанную, в том числе, и с компактностью их представления.

4. Итак, мы видим, что приведенная методика вычисления тематической близости оказалась достаточно эффективной, в частности, для систем интеграции новостей, где количество источников ограничено (например, в настоящее время системой InfoStream охватывается порядка 2000 источников). Эта методика менее затратная и более подходит для интерактивных систем, чем такой достаточно часто применяемый метод, как анализ корреляции термов. Эффективность вычислений, кроме того, может быть повышена обучением системы – перечень рейтинговых источников, соответствующих рубрикам меняется не так уж и часто.

В заключение приведем две области практического применения приведенной методики - это контекстная реклама и развитие тематического рубрикатора. В нашем случае, если реклама привязана, например, к рубрике «Компьютеры», то ее имеет смысл демонстрировать и по запросу «процессоры». С другой стороны, если линейный разброс источников какого-либо запроса с источниками всех рубрик пороговый, то имеет смысл говорить о расширении рубрикатора - порождении новой рубрики.

Список литературы

1. Григорьев А.Н., Ландэ Д.В. Адаптивный интерфейс уточнения запросов к системе контент-мониторинга InfoStream/ Труды международной конференции "Диалог' 2005", с. 109-111
2. Ландэ Д.В. Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа - М.: "Вильямс", 2005. - 272 с.

Методика определения характеристик локального НДС и податливости элементов срезного соединения заклепками с корончатым и цилиндрическим компенсаторами

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

В конструкции сборных панелей крыла самолета Ан-74 для соединений стрингеров с обшивкой в регулярной части межнервюрной зоны применяются соединения заклепками по ОСТ 1 34052-85 (рис. 1).

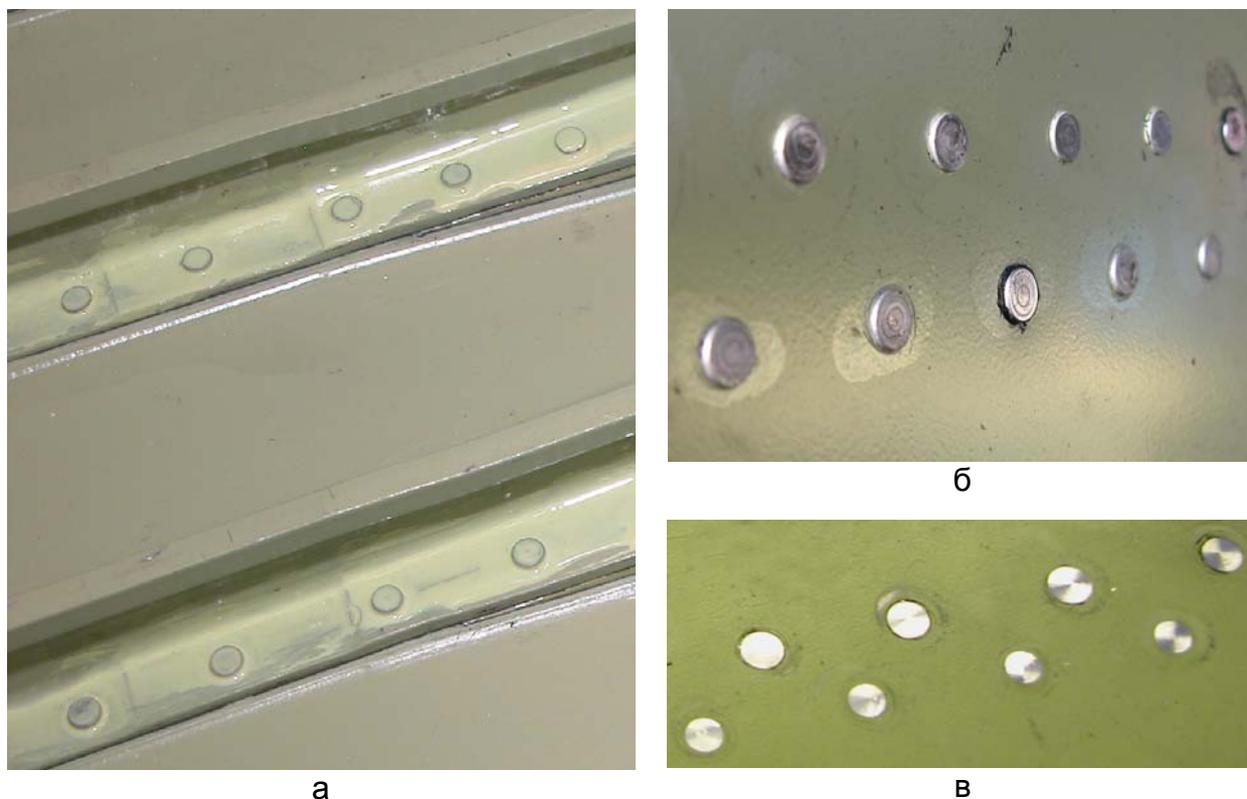


Рис. 1. Фрагмент сборной панели крыла самолета Ан-74. Соединения стрингеров с обшивкой выполнено заклепками по ОСТ 1 34052-85: а – вид со стороны замыкающих головок; б – закладные головки заклепок после клепки до фрезерования; в – закладные головки заклепок после фрезерования

Особенностью соединений, выполненных заклепками с корончатым компенсатором по ОСТ 1 34052-85, является то, что допустимое выступание закладных головок (0,05 мм) после клепки может быть реализовано путем их механической зачистки (фрезерованием), поскольку объем выступающей перед клепкой части закладной головки (объем компенсатора) значительно превышает величину, необходимую для заполнения зазоров на участке зенкованного гнезда и для создания радиального натяга в соединении по толщине пакета.

В процессе зачистки удаляется защитное антикоррозионное покрытие с закладных головок заклепок и не исключается повреждение их и обшивки на примыкающих к закладным головкам участках из-за имеющей место утяжки последней, а также при применении для зачистки ручного механизированного инструмента. Это обстоятельство потребовало разработки новых заклепок и технологии их поставки.

Одним из путей повышения усталостных характеристик сборных авиационных конструкций является создание прогрессивных крепежных элементов, технологии их установки, условий, обеспечивающих характеристики долговечности герметичности и качества внешней поверхности. Одним из таких крепежных элементов является заклепка с цилиндрическим компенсатором по ОСТ 134055-92, разработанная специалистами ХАИ, АНТК им. О.К. Антонова и НПО "Нормаль".

Проведенные ранее исследования [1, 2] характеристик НДС элементов заклепочных соединений не учитывали влияние технологических отклонений геометрических размеров отверстий и заклепок на характеристики НДС элементов соединения. Не рассматривалось также контактное взаимодействие между элементами заклепочного соединения, НДС элементов соединения после фрезерования закладных головок.

Целью данной статьи является разработка методики определения влияния корончатого и цилиндрического типов компенсаторов на характеристики локального НДС элементов соединений и их податливости с учетом физической и геометрической нелинейности характеристик элементов соединения, а также их контактного взаимодействия и истории деформирования.

В качестве исходных рассматриваются геометрические характеристики соединяемых элементов, действующие в них расчетные нагрузки, типы применяемых крепежных элементов.

Методика определения характеристик локального НДС и податливости элементов срезного соединения включает в себя:

1. Выделение из модели распределения пространства агрегата самолета зоны исследуемого заклепочного соединения и его границ. Определение характеристик общего НДС соединения.

2. Выбор параметров, влияние на характеристики локального НДС которых необходимо исследовать. Задание диапазонов изменения выбранных параметров.

3. Создание трехмерной модели элементов соединения. Разработка расчетной схемы. Создание конечно-элементной модели, включающей в себя контактные элементы, моделирование процесса выполнения и работы соединений при нагружении с учетом контактного взаимодействия элементов.

4. Установление характера взаимодействия соединяемых элементов и расчет распределения нагрузок между ними:

- а) определение стягивающих усилий в теле заклепки;

- б) выявление характера распределения контактных давлений и натягов между стенками отверстия и заклепкой;

- в) рассмотрение контактного взаимодействия соединяемых пластин. Определение зон действия максимальных контактных давлений;

5. Определение характера распределения эквивалентных напряжений в соединяемых элементах. Выявление зон возможного усталостного разрушения и определение в них отнулевых эквивалентных напряжений и деформаций, а также произведения этих величин.

6. Построение зависимостей "нагрузка – смещение" и определение податливости соединений с рассматриваемыми типами компенсаторов.

7. Анализ полученных результатов и разработка методов улучшения качества рассматриваемых соединений.

Предложенная методика апробирована при исследовании характеристик локального НДС и податливости однорядных соединений заклепками ОСТ 1 34052-85 и ОСТ 1 34055-92. Образцы соединений соответствуют заклепочным соединениям стрингеров с обшивкой сборной панели крыла (рис. 2).

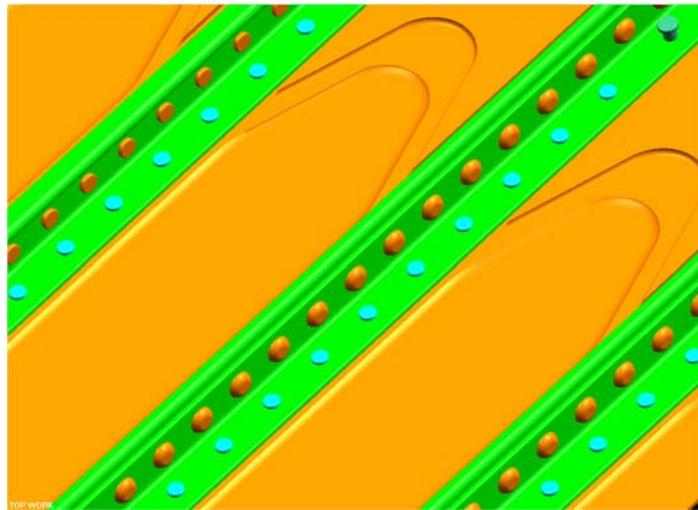


Рис. 2. Фрагмент конструкции сборной панели крыла

Моделирование заклёпок осуществляется путём вращения генерирующего контура вокруг оси заклёпки. Контур заклёпки строится по чертежу (рис. 3).

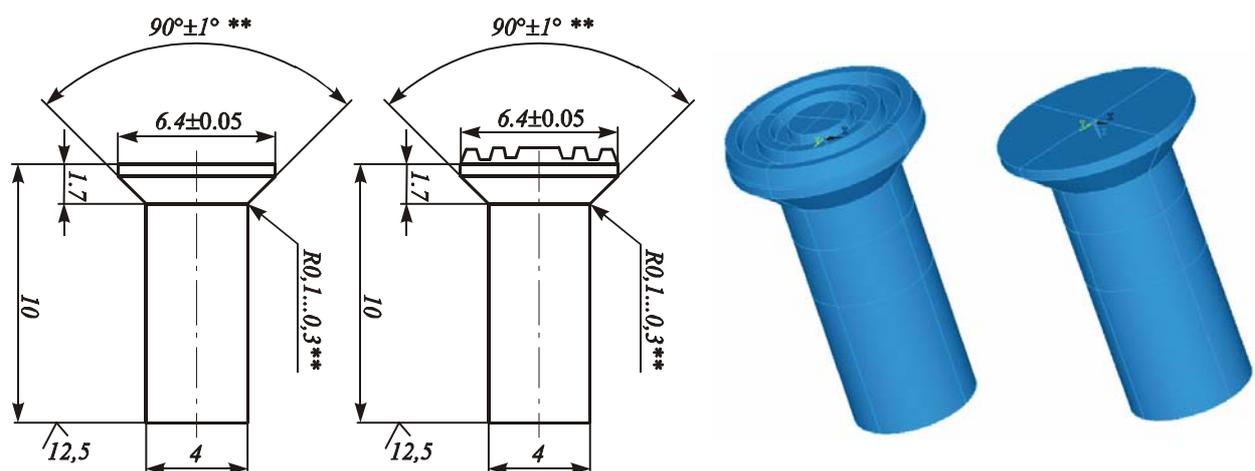


Рис. 3. Заклёпки с потайной закладной головкой по ОСТ 1 34055-92 и ОСТ 1 34052-85

Модели соединяемых пластин с толщинами, соответствующими толщинам стрингера $\delta_{стр}=2$ мм и обшивки $\delta_{обш}=3$ мм, имеют зенкованные отверстия, выполненные с цилиндрическим пояском (рис. 4).

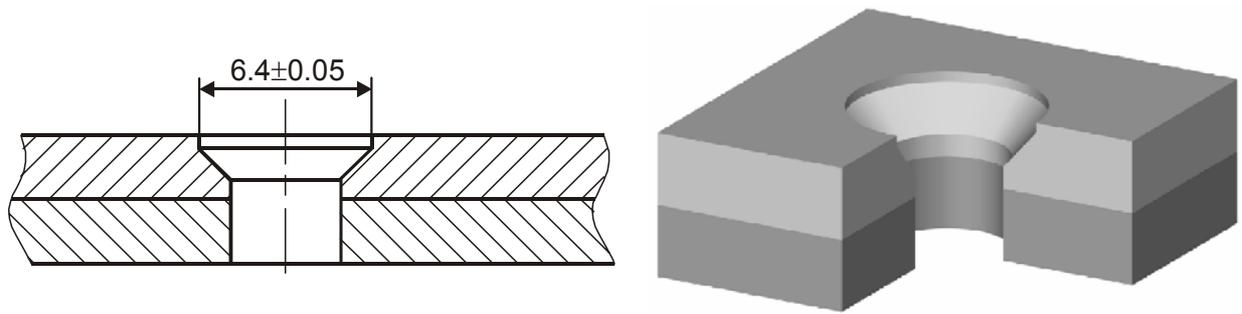


Рис. 4. Гнездо под заклёпки по ОСТ 1 34055-92 и ОСТ 1 34052-85

Рассмотрено соединение пластин заклепкой $\varnothing 4$ мм. При указанных допусках на изготовление заклепок и гнезд под их установки возможная разница диаметров компенсатора и цилиндрической части отверстия составляет 0,1 мм. Для заклепок по ОСТ 1 34055-92 исследовалась степень влияния гарантированного натяга при разнице диаметров компенсатора и цилиндрического пояска зенкованного отверстия $D_{\text{комп}} - D_{\text{отв}} = 0, 0,05$ и 0,1 мм (рис. 5).

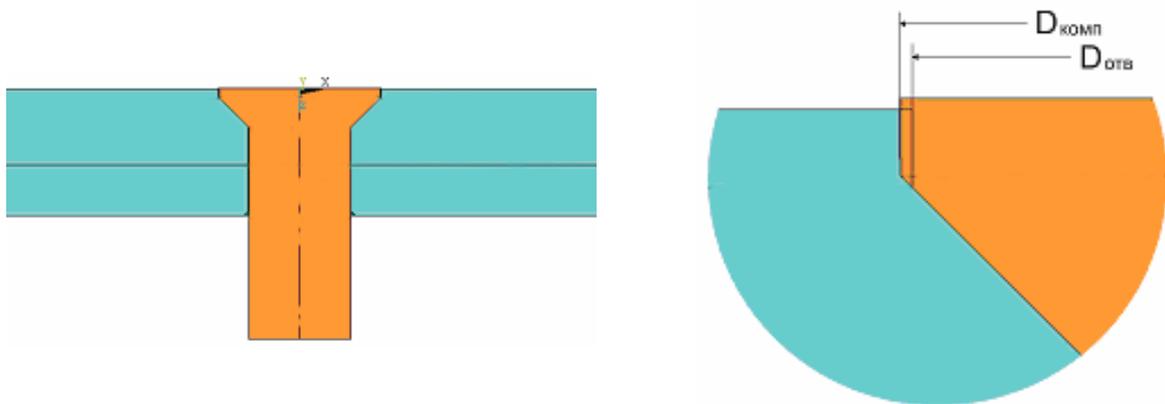


Рис. 5. Постановка заклепки по ОСТ 1 34055-92 с гарантированным натягом по цилиндрической части отверстия

Расчетная схема однорядного односрезного заклепочного соединения представлена на рис. 6.

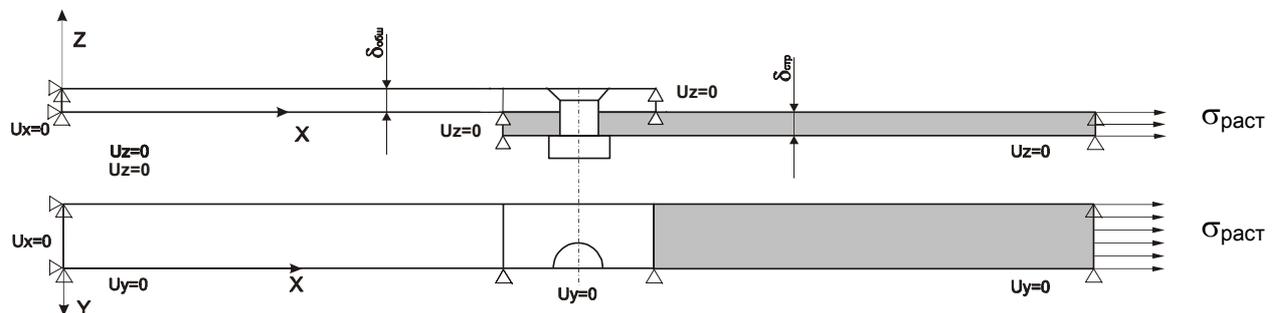


Рис. 6. Расчетная схема односрезного однорядного заклепочного соединения

Ввиду симметрии образцов рассматривалась 1/2 часть моделей с соответствующими условиями закрепления. Все узлы, лежащие в плоскости симметрии модели, имеют ограничения в перемещении по оси Y . Для закрепления образца

в направлении Z выбраны узлы, лежащие на торцевых поверхностях. Все торцевые узлы модели верхней пластины закреплены в направлении X-й компоненты.

Вследствие эксцентриситета передачи нагрузки возможна деформация однорядного соединения в виде поворота, что отразится на точности измерения перемещений соединяемых пластин в абсолютной системе координат XYZ. В работе многорядного заклепочного соединения обшивки со стрингером такой поворот исключен. Для предотвращения поворота модели однорядного заклепочного соединения выполнялось закрепление всех узлов, лежащих в плоскостях свободных торцов, путем недопущения вертикальных перемещений UZ. Ограничения накладывались после моделирования процесса клепки перед приложением растягивающей нагрузки $\sigma_{\text{раст}}$.

Конечно-элементная модель соединения (рис. 7) выполнена из объемных восьмиузловых элементов SOLID45 и контактных элементов второго порядка CONTA173, TARGE170, представленных в базе данных ANSYS [3].

Модель заклепки с корончатым компенсатором состоит из двух составляющих: фрезеруемой части закладной головки и непосредственно самой заклепки. Процесс фрезерования после клепки выступающей части закладной головки моделировался путем деактивирования элементов, соответствующих фрезеруемой части заклепки. Граница раздела этих двух тел выбиралась таким образом, чтобы выступание закладной головки заклепки после моделирования фрезерования не превышало 0,05 мм от поверхности соединяемой пластины. В модели заклепки по ОСТ 134055-92 корончатый компенсатор отсутствует.

Для удобства представления графических результатов приняты следующие обозначения:

- 1 – соединение заклепкой по ОСТ 1 34052-85;
- 2 – соединение заклепкой по ОСТ 1 34055-92 с посадкой без зазора и натяга между компенсатором заклепки и зенкованным отверстием;
- 3 – соединение заклепкой по ОСТ 1 34055-92 с разницей диаметров цилиндрического компенсатора и зенкованного отверстия $\Delta=0,05$ мм;
- 4 – соединение заклепкой по ОСТ 1 34055-92 с разницей диаметров $\Delta=0,1$ мм.

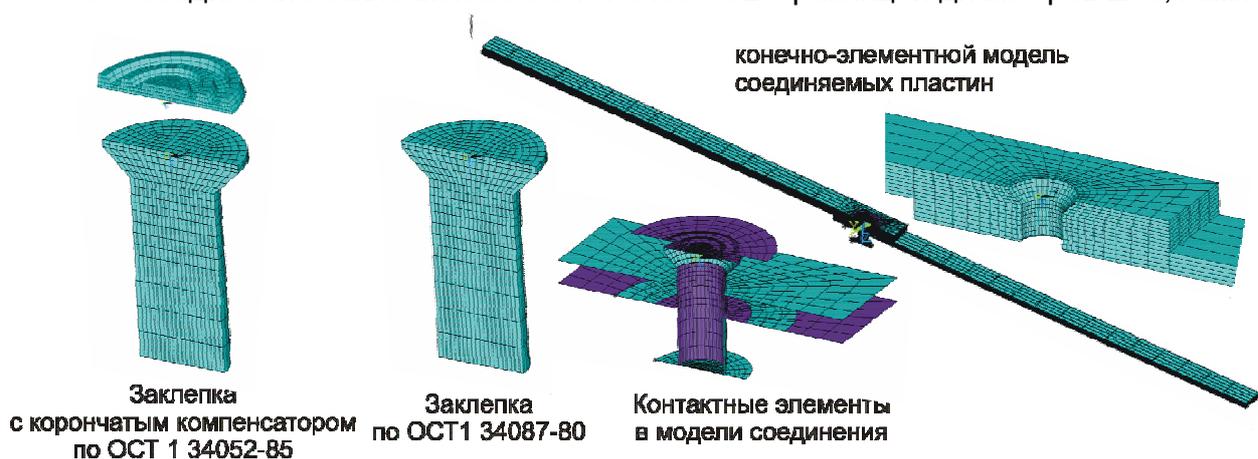


Рис. 7. Конечно-элементная модель однорядного заклепочного соединения

В процессе решения конечно-элементной задачи получено поле распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ в элементах рассматриваемых соединений после процесса клепки и величины контактных давлений между заклепкой и стенками отверстия в пластинах (рис. 8, 9).

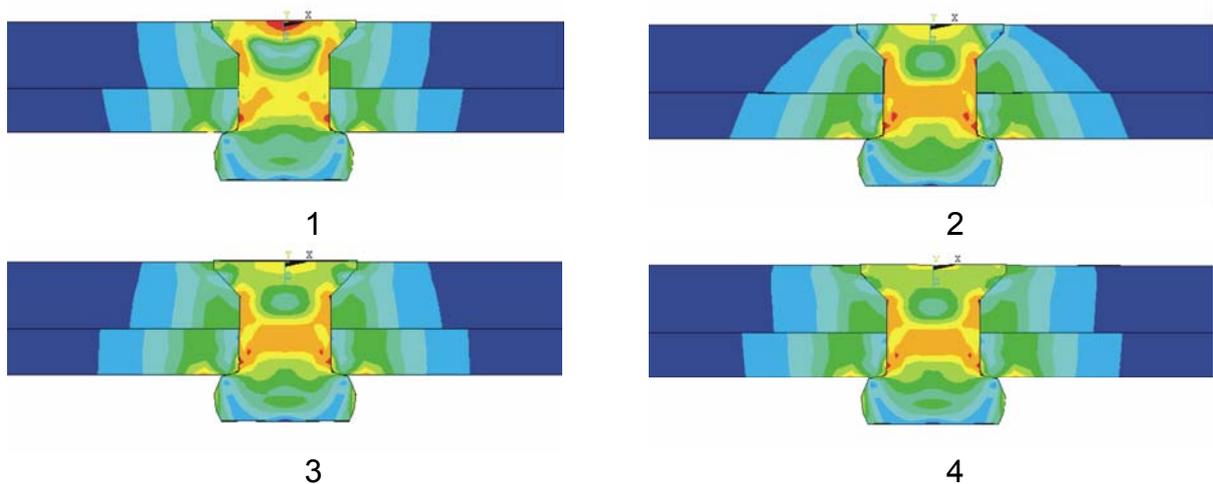


Рис. 8. Характер распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ в элементах однорядных заклепочных соединений после моделирования процессов клепки

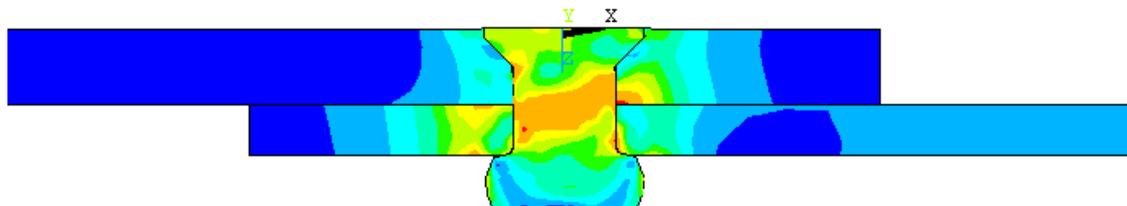


Рис. 9. Характер распределения эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ в элементах однорядных заклепочных соединений при растяжении

Как видно из рис. 8, равномерное поле эквивалентных напряжений достигается при использовании заклепки с корончатым компенсатором (ОСТ 1 34052-85) и при постановке заклепки по ОСТ 1 34055-92 с разницей диаметров цилиндрического пояса и зенкованного отверстия $\Delta=0,1$ мм.

Для определения стягивающих усилий были определены напряжения σ_z , действующие в стержне заклепки в направлении, указанном на рис. 10, 11.

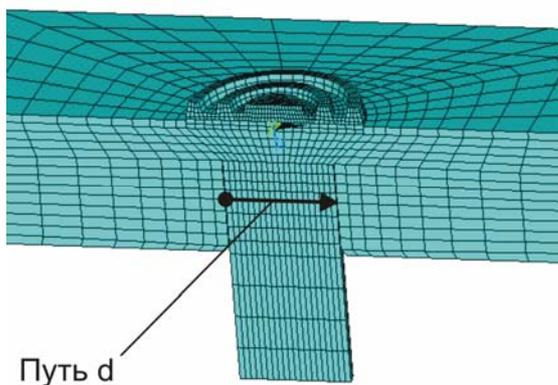


Рис. 10. Путь d, по которому отображаются напряжения σ_z

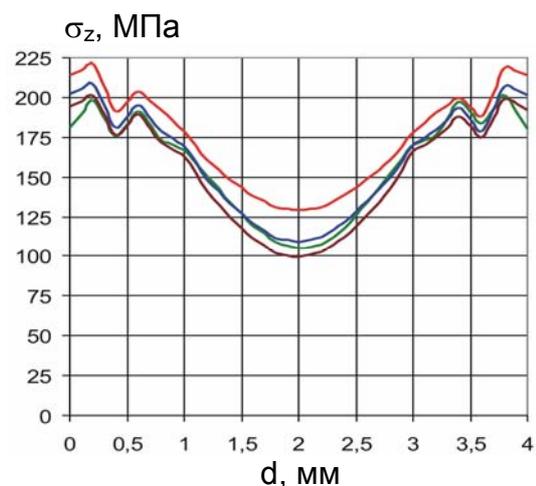


Рис. 11. Растягивающие напряжения σ_z в теле заклепки по пути d после моделирования процесса клепки

Как видно из рис. 11, напряжения в цилиндрической части тела заклепки имеют осесимметричный характер. Для определения усилия в стержне заклепки после клепки поле напряжений в цилиндрической части тела заклепки представлено в виде кольцевых зон, в которых напряжения принимались постоянными. Формула для определения в стержне заклепки следующая:

$$P = \frac{\pi}{2} \sum_{i=1}^{N-1} (R_{i-1}^2 - R_i^2) (\sigma_{i-1} + \sigma_i),$$

где N – число кольцевых зон, на которые разбито сечение заклепки;

i – номер кольцевой зоны ($i=1 \dots N$);

R_{i-1}^2, R_i^2 – внутренний и внешний радиусы кольцевой зоны;

σ_{i-1}, σ_i – напряжения на границах кольцевой зоны;

Усилия в стержне заклепки для различных вариантов представлены в таблице.

Вариант	1	2	3	4
$P, Н$	2171	2394	2247	2162
% от $P_{разр}=5526Н$	39	43	40	39

Рассмотрен характер контактного взаимодействия между заклепкой и стенками отверстия и между соединяемыми пластинами (рис. 12).

Установлено, что контактные давления $\sigma_{\text{конт}}$ между заклепкой и цилиндрическим пояском зенкованного отверстия в пластине в варианте 4 достигают 380 МПа, что на 270 МПа больше величины контактных давлений в варианте постановки заклепки с одинаковыми диаметрами закладной головки и отверстия под нее (2) и на 200 МПа больше, чем при постановке заклепки с корончатым компенсатором (1). Установлено также, что величина контактного давления между заклепкой и стенками отверстия в верхней и нижней пластинах находится на уровне 380...400 МПа (вариант 4).

Рассмотрено контактное взаимодействие соединяемых пластин. На рис. 13 приведен характер распределения контактных давлений $\sigma_{\text{конт}}$ между верхней и нижней пластинами.

Как видно из рис. 13, зона максимальных контактных давлений между соединяемыми пластинами расположена на кромке отверстия. В соединении заклепкой с корончатым компенсатором максимальные контактные давления больше на 25...30 МПа по сравнению с вариантом соединения заклепкой по ОСТ 134055-92.

Исследован характер распределения эквивалентных напряжений в пластине с зенкованным отверстием после клепки при внешнем растягивающем нагружении (рис. 14).

В качестве критических рассмотрены кромки перехода цилиндрического пояса в зенкованную часть отверстия в поперечном сечении пластины (рис. 15).

Для определения долговечности заклепочных соединений важна оценка НДС в критических зонах путем приведения действующих в них напряжений к отнулевому циклу по формуле Одингга:

$$\sigma_0 = \sqrt{2\sigma_a \sigma_{\text{max}}}, \quad (1)$$

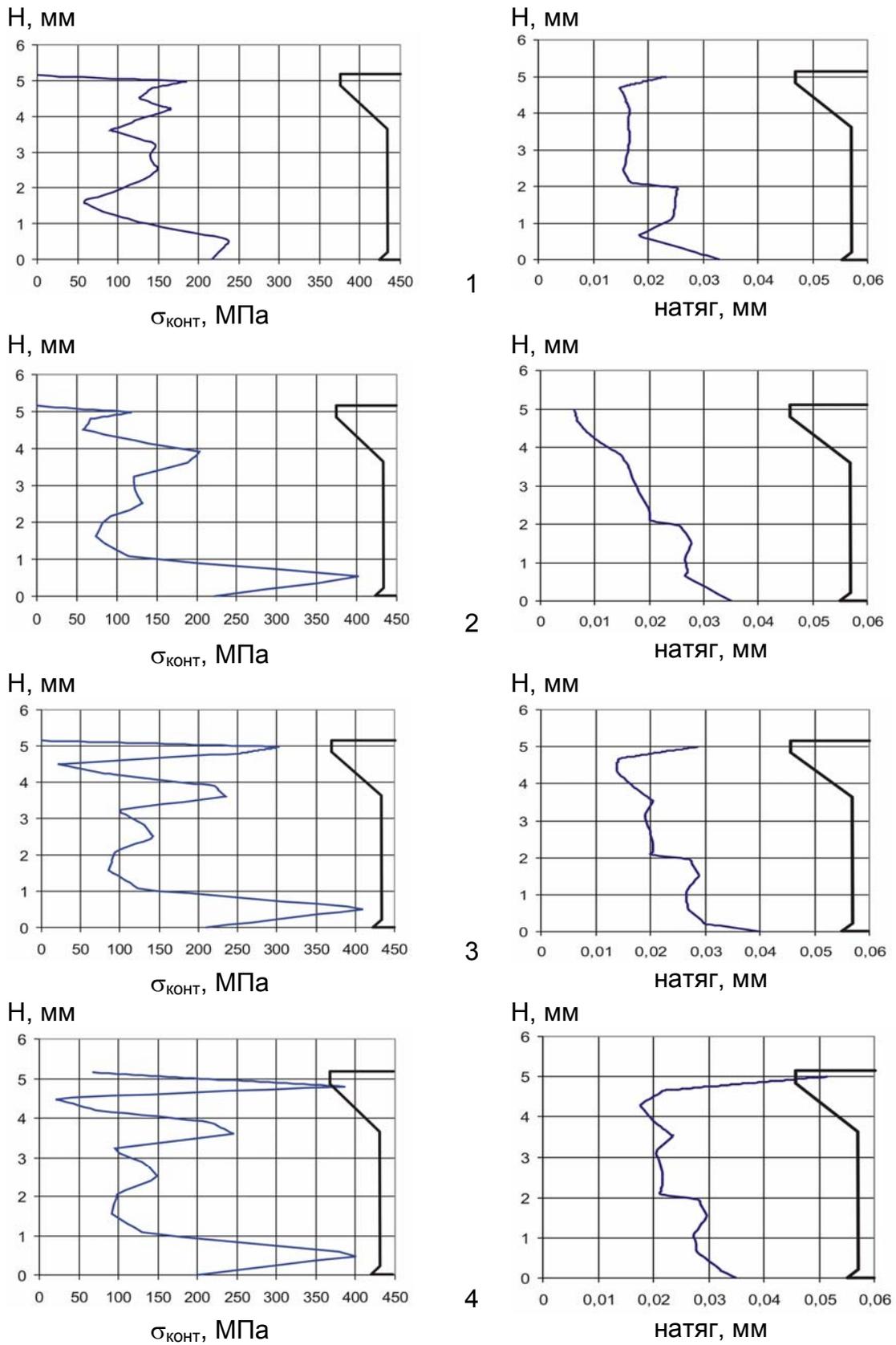


Рис. 12. Характер распределение контактных давлений $\sigma_{\text{конт}}$ и натягов между заклепкой и стенками отверстий по толщине соединяемого пакета H после моделирования процесса клепки и фрезерования

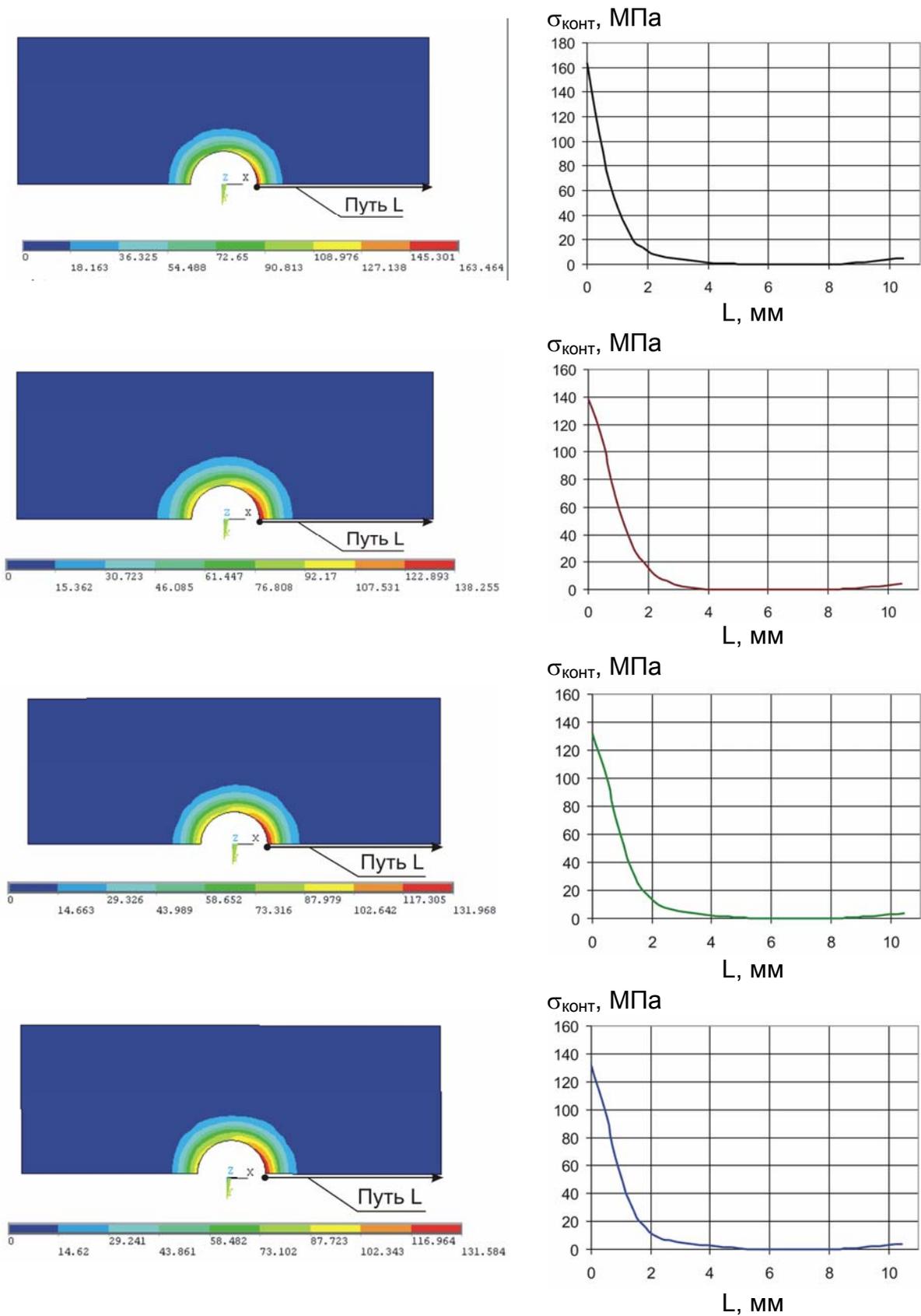


Рис. 13. Характер распределения и величина контактных давлений между пластинами при внешнем растягивающем нагружении $P_{\text{раст}} = 1800 \text{ Н}$ ($\sigma_{\text{раст}} = 50 \text{ МПа}$)

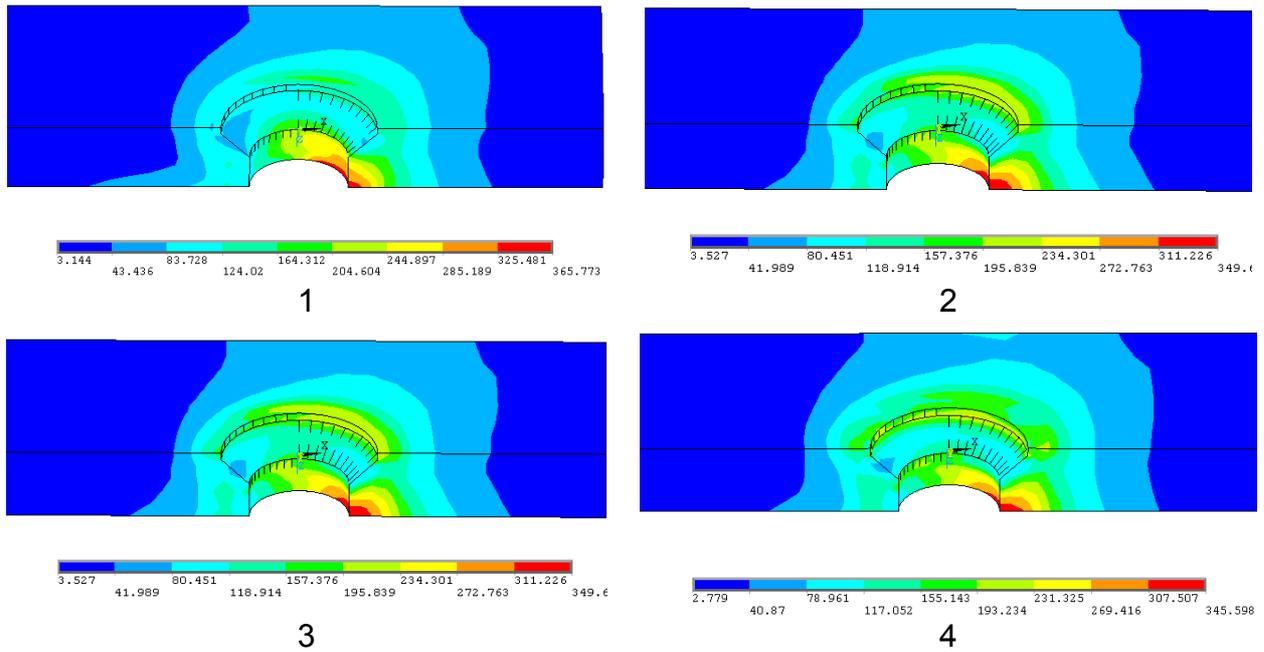


Рис. 14. Характер распределения эквивалентных напряжений σ_{eqv} в верхней пластине при различных вариантах установки заклепки и уровне внешнего нагружения $\sigma_{раст} = 50$ МПа

Из рис. 15 видно, что эквивалентные напряжения, приведенные к отнулевому циклу, действующие в рассмотренной зоне, достигают величины 35...100 МПа при $\sigma_{раст} = 50$ МПа. Постановка заклепки по ОСТ 1 34055-92 с диаметром компенсатора, большим на 0,1 мм диаметра отверстия, снижает величину $\sigma_{eqv 0}$ практически в 2 раза по сравнению с постановкой "в номинал" (вариант 2) и в 3 раза по сравнению с вариантом соединения заклепкой с корончатый компенсатором (вариант 1).

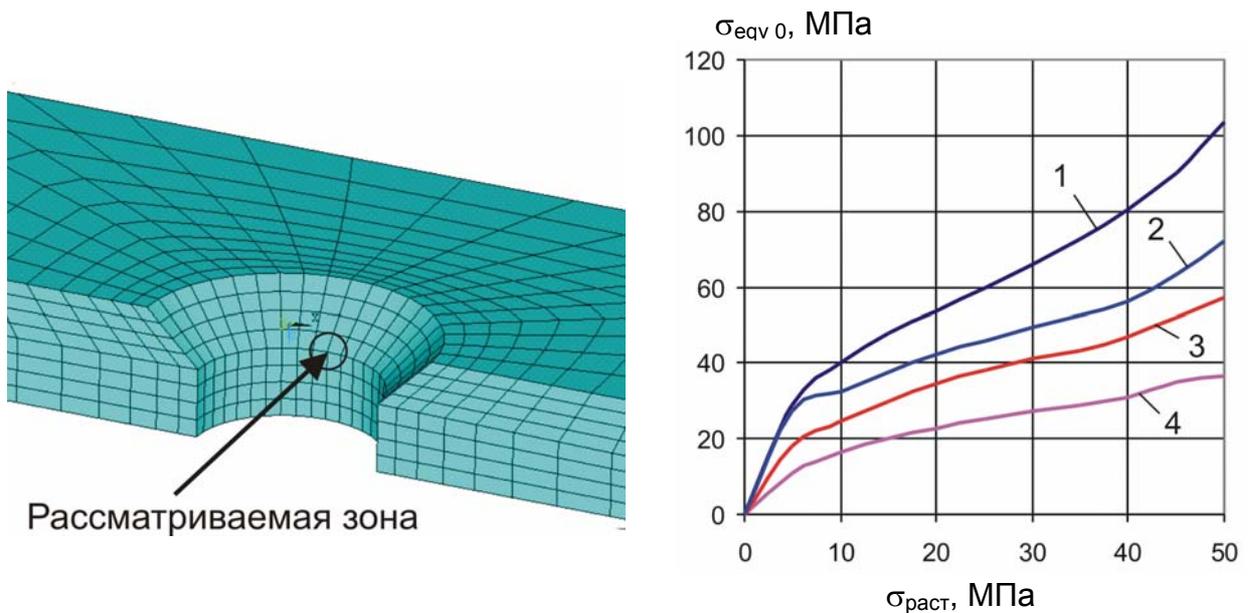


Рис. 15. Влияние уровня нагружения $\sigma_{раст}$ и типа заклепки на величину эквивалентных напряжений $\sigma_{eqv 0}$ в рассматриваемой зоне

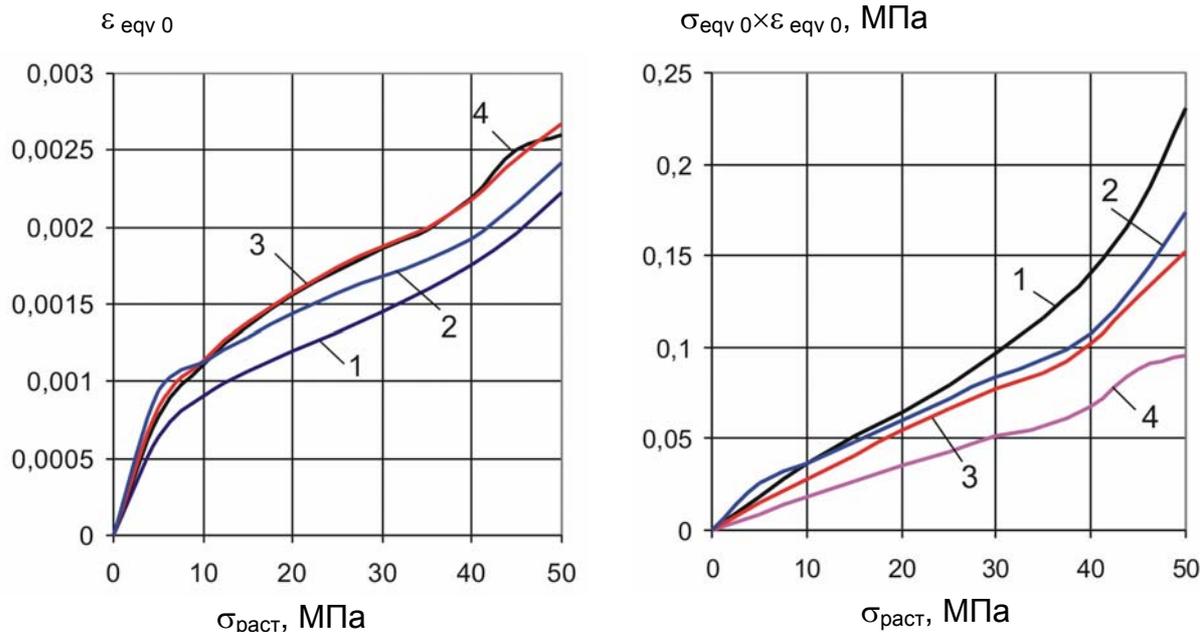


Рис. 16. Влияние уровня нагружения $\sigma_{\text{раст}}$ и типа заклепки на величину эквивалентных деформаций $\varepsilon_{\text{eqv } 0}$ и произведения $\sigma_{\text{eqv } 0} \times \varepsilon_{\text{eqv } 0}$

На рис. 17, 18 приведены зависимости "нагрузка – смещение" и зависимости податливости для рассматриваемых соединений. Замеры проводились по свободным торцам [4].

Как видно из рис. 18 податливость рассмотренных соединений отличается незначительно и лишь при внешней растягивающей нагрузке более 1200 Н значение податливости соединения заклепкой с корончатым компенсатором меньше 15% по сравнению с вариантами соединений по ОСТ 1 34055-92.

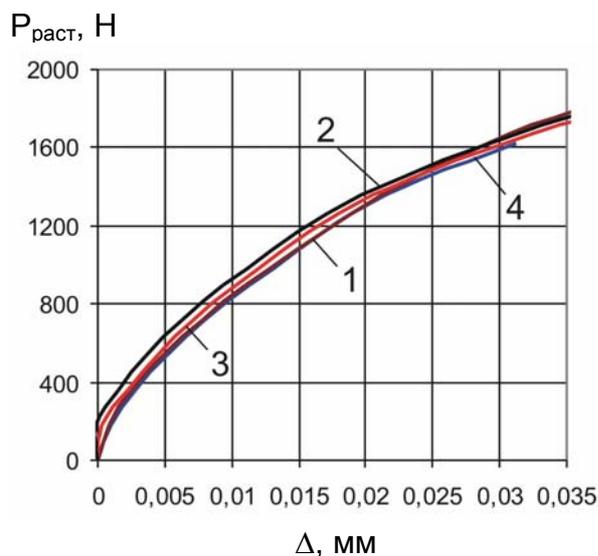


Рис. 17. Зависимость "нагрузка-смещение" для образцов заклепочных соединений

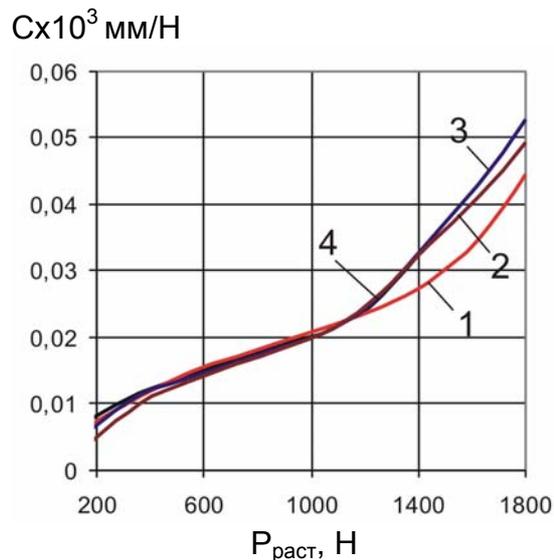


Рис. 18. Зависимость податливости рассмотренных образцов от приложенной растягивающей нагрузки

Выводы

1. Разработана методика определения характеристик локального НДС и податливости элементов в срезном заклепочном соединении с корончатым и цилиндрическим компенсатором с помощью системы инженерного анализа CAD/CAE ANSYS, включающая в себя определение стягивающих усилий в теле заклепки, выявление характера распределения контактных давлений и натягов между стенками отверстия и заклепкой, рассмотрение контактного взаимодействия соединяемых пластин, определение зон действия максимальных контактных давлений, определение характера распределения эквивалентных напряжений в соединяемых элементах, выявление зон возможного усталостного разрушения и определение в них отнулевых эквивалентных напряжений и деформаций, а также произведения этих величин, построение зависимостей "нагрузка – смещение" и определение податливости соединений с рассматриваемыми типами компенсаторов.

2. Установлено, что соединение заклепкой по ОСТ 1 34055-92 имеет меньшую величину произведения $\sigma_{\text{eqv}} \times \varepsilon_{\text{eqv}}$, при чем с увеличением натяга по цилиндрической части отверстия величина произведения уменьшается в 2...2,5 раза.

3. Установлено, что при постановке заклепки с цилиндрическим компенсатором целесообразно обеспечить дополнительный натяг между цилиндрическим пояском зенкованного отверстия и заклепкой путем выполнения диаметра цилиндрического пояса зенкованного отверстия на 0,1 мм меньше диаметра цилиндрического компенсатора заклепки.

Список литературы

1. Лебединский А.Г. Исследование усталостной прочности потайных заклепочных соединений повышенного ресурса: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.07.03 / Харьк. авиац. ин-т. – Х., 1975. 30 с.
2. Семенов Л.П. Исследование и определение конструктивно-технологических параметров клепки и внедрение технологических процессов, обеспечивающих рациональное значение радиального натяга в заклепочных соединениях авиаконструкций. Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.07.04 / Харьк. авиац. ин-т. – Х., 1993. 20 с.
3. ANSYS Element Guide. Chapter 3. Element References. Section 3.1. Element library. 001087. 4th Edition. SAS IP[©].
4. Гребеников А.Г., Дубров И.Н. Методика расчета распределения усилий между рядами в срезных болтовых соединениях авиационных конструкций с помощью системы инженерного анализа ANSYS // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 17 – С. 31-41.

Рефераты

УДК 629.735: 53.08: 658.51.4

Применение эквидистантных областей для технологического контроля поверхностей общего вида / П. О. Науменко, И. В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 5 – 10.

Рассмотрено практическое применение косвенного метода технологического контроля деталей с поверхностями общего вида. Показано, что при технологической подготовке технологического контроля необходимо построить область допусков поверхности общего вида, а затем эквидистантную область допусков положений центра тактильной сферической головки.

Ил. 8. Библиогр.: 2 назв.

Розглянуто практичне застосування непрямого методу технологічного контролю деталей з поверхнями загального вигляду. Показано, що при технологічній підготовці технологічного контролю необхідно побудувати область допусків поверхні загального вигляду, а потім еквідистантну область допусків положень центру тактильної сферичної головки.

Іл. 8. Бібліогр.: 2 назви

УДК 681.58

Системная информатизация избирательных и референдумных процессов: методологические основы статистических исследований электронных информационных ресурсов в период избирательной кампании / В.Н. Фурашев, Д.В. Ландэ, С.М. Брайчевский // Открытые информационные и компьютерные технологии. Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29 – С. 11 – 15.

Объектом исследования являются методологические основы статистических исследований электронных информационных ресурсов средствами информатизации как одной из составляющих принятия и корректировки решений во время избирательной кампании.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

Об'єктом дослідження є методологічні засади статистичних досліджень електронних інформаційних ресурсів засобами інформатизації як однієї із складових прийняття та корегування рішень під час виборчої кампанії.

Іл. 2. Бібліогр.: 2 назв.

УДК 629.735.33.018.7.016

Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 1 / А. Н. Нарожный, Г. Г. Высокогляд, А. И. Шелудько, Н. И. Стефанишин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29 – С. 16 – 26.

Представлены результаты исследований проблемы рациональной организации летных испытаний транспортного самолета в части определения его летно-технических характеристик с целью уменьшения объема испытаний и финансовых затрат на их проведение. Первые алгоритмы, ранее апробированные на разных исходных данных, доработаны и собраны в общую логическую схему, комплексная работа и новые открывающиеся возможности которой продемонстрированы на основе единого гипотетического самолета.

Ил. 5. Библиогр.: 4 назв.

Подано результати досліджень проблеми доцільної організації льотних випробувань транспортного літака в частині визначення його льотно-технічних характеристик з метою зменшення обсягу випробувань і фінансових витрат на їхнє проведення. Перші алгоритми, раніше апробовані на різних вихідних даних, дорацьовані та зібрані в загальну логічну схему, комплексна робота і нові можливості, що відкриваються, продемонстровані на основі єдиного гіпотетичного літака.

Іл. 5. Бібліогр.: 4 назви

УДК 629.735.33.027.2

Численные исследования модели процессов истечения газа из отсека / В.Д. Доник // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 27 –34.

Проведены исследования математической модели вблизи критического режима течения газа. Уточнена математическая модель для отсеков, в которых установлено оборудование. Показано, что разработанная программная модель истечения газа из отсека с использованием математической модели и численных методов позволила расширить класс решаемых задач.

Іл. 2. Библиогр.: 11 назв.

Проведено дослідження математичної моделі поблизу критичного режиму витікання газу. Уточнено математичну модель для відсіків, у яких встановлено устаткування. Показано, що розроблена програмна модель витікання газу з відсіку з використанням математичної моделі та чисельних методів дозволила розширити клас розв'язуваних задач.

Іл. 2. Бібліогр.: 11 назв

УДК 533.6.08

Определение погрешности приближённого вычисления потенциала двойного слоя и его производных / В.В. Тюрёв, В.А. Тараненко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 35 –38.

Решается задача определения аэродинамических характеристик крыла методом потенциала двойного слоя. Рассмотрены вопросы сходимости и устойчивости численного метода в общем виде. Проведено сравнение полученных результатов с данными других авторов.

Іл. 4. Библиогр.: 4 назв.

Розв'язується задача визначення аеродинамічних характеристик крила методом потенціалу подвійного шару. Розглянуто питання збіжності та стійкості чисельного методу в загальному вигляді. Проведено порівняння одержаних результатів з даними інших авторів.

Іл. 4. Бібліогр.: 4 назви

УДК 517. 927. 21

Теоремы сложения для решений уравнения Гельмгольца в декартовой системе координат и системе координат эллиптического цилиндра / В.С. Проценко, Я.П. Бузько, Т.В. Денисова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 39 –45.

Получены новые теоремы сложения для решений уравнения Гельмгольца, которые позволяют перейти от системы координат эллиптического цилиндра к декартовой системе и обратные им. Указано возможное применение к решению задач математической физики.

Библиогр.: 4 назв.

Одержано нові теореми додавання для розв'язків рівняння Гельмгольца, які дозволяють перейти від системи координат еліптичного циліндра до декартової системи та зворотні їм. Вказано можливе застосування до розв'язання задач математичної фізики.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 629

Выбор коэффициента перекрытия для ускоренного статистического моделирования НДС конструкций / В.Г. Сухоробрый, А.С. Стерлева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 46 –56.

Исследованы различные модели критериальных функций для проведения ускоренного статистического моделирования с целью определения оптимального коэффициента перекрытия при оценке вероятности разрушения конструкций. Разработаны рекомендации по выбору коэффициентов перекрытия при использовании этих моделей для оценки вероятности разрушения.

Ил. 7. Библиогр.: 7 назв.

Досліджено різні моделі критеріальних функцій для проведення прискореного статистичного моделювання з метою визначення оптимального коефіцієнта перекриття при оцінці ймовірності руйнування конструкцій. Розроблено рекомендації стосовно вибору коефіцієнтів перекриття при використанні цих моделей для оцінки ймовірності руйнування.

Іл. 7. Бібліогр.: 7 назв

УДК 620.178.16.:620.178.3

Методика определения влияния фреттинг–коррозии на усталостную долговечность гладких конструктивных элементов из титанового сплава ВТ6 /А.Г. Гребеников, В.Н. Клименко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 57 – 68.

Предложена методика определения повреждающего влияния фреттинг–коррозии на усталостные характеристики плоских образцов конструктивных элементов из титанового сплава ВТ6. Исследовано влияние величины контактных давлений, амплитуды относительных перемещений деталей и сочетания материалов в контактной паре на усталостную долговечность гладкой полосы из сплава ВТ6. Получены формулы для оценки влияния фреттинг–коррозии на усталостную долговечность титанового сплава ВТ6 при различных величинах контактных давлений, амплитуды относительных перемещений и различных сочетаний материалов в контактных парах.

Ил.13. Библиогр.: 8 назв.

Запропоновано методику визначення пошкоджуючого впливу фреттинг–корозії на утомні характеристики плоских зразків конструктивних елементів з титанового сплаву ВТ6. Досліджено вплив величини контактних тисків, амплітуди відносних переміщень деталей та сполучення матеріалів в контактній парі на втомну довговічність гладкої полоси зі сплаву ВТ6. Одержано формули для оцінки впливу фреттинг–корозії на втомну довговічність титанового сплаву ВТ6 при різних величинах контактних тисків, амплітуди відносних переміщень та різних сполучень матеріалів у контактних парах.

Іл.13. Бібліогр.: 8 назв

УДК 629.735:531.3

Решение задачи о возможности опробования тяги двигателя самолета / В.И. Гончаренко, В.А. Гончаренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. Вып. 29. – С. 69 – 74.

Решена задача о страгивании тяжелого твердого тела, лежащего на наклонной плоскости. Применительно к стоящему самолету дан метод определения максимально допустимой тяги двигателя в зависимости от плеча его расположения.

Ил. 1. Библиогр.: 11 назв.

Вирішено задачу про зрушення важкого твердого тіла, що лежить на похилій площині. Стосовно до нерухомого літака дано метод визначення максимально припустимої тяги двигуна залежно від плеча його розташування.

Іл. 1. Бібліогр.: 11 назв

УДК 338.244

Методы управления подсистемами программы развития авиационной техники / А.Р. Емад // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 75 – 80.

Рассмотрены вопросы системного управления подсистемами программы развития авиационной техники. Предложены методы построения временной и стоимостной моделей для каждого уровня программы и заданы критерии оценки управления.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Розглянуто питання системного управління підсистемами програми розвитку авіаційної техніки. Запропоновано методи побудови часової та вартісної моделей для кожного рівня програми й задано критерії оцінки управління.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв

УДК 629.7.02-192:629:8.015.9

Испытания на надежность бортовой аппаратуры с учетом термостойкости и влажности / В.О. Повгородний // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 81 – 91.

Рассмотрены вопросы экспериментального исследования показателей надежности (безотказности) механических конструкций бортовой аппаратуры отечественных и зарубежных самолетов с учетом термостойкости и влажности, что является новой задачей.

Ил. 3. Табл. 4. Библиогр.: 4 назв.

Розглянуто питання експериментального дослідження показників надійності (безвідмовності) механічних конструкцій бортової апаратури вітчизняних і зарубіжних літаків з урахуванням термостійкості та вологості, що є новою задачею.

Іл. 3. Табл. 4. Бібліогр.: 4 назви

УДК 629.7.01

Оценка влияния корреляции на хвосты распределений функций случайных аргументов / В.Г. Сухоревый, М.И. Никифорова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 92 – 97.

Исследовано влияние корреляции на хвосты распределений функций случайных аргументов при оценке проектной вероятности работоспособности технических объектов. Показано, что корреляция оказывает существенное влияние на конечный результат.

Ил. 10. Библиогр.: 6 назв.

Досліджено вплив кореляції на хвости розподілів функцій випадкових аргументів при оцінці проектної ймовірності працездатності технічних об'єктів. Показано, що кореляція суттєво впливає на кінцевий результат.

Іл. 10. Бібліогр.: 6 назв

УДК 681.324

Синтез алгоритма автоматического квантования знаний для принятия решений при планировании технической эксплуатации радиотехнических систем и комплексов / А.Н. Колесников, А.Б. Куренко, А.В. Приймак // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 98 – 105.

Разработан алгоритм автоматического квантования (структурирования) входной информации в классе тк-знаний, на базе использования которого реализуется тк-квантовая сеть вывода решений в условиях неопределенности. Рассмотрен пример решения задачи квантования знаний для принятия решений при определении сроков проведения технического обслуживания радиостанций Р-161А2 в объеме ТО-2.

Библиогр.: 7 назв.

Розроблено алгоритм автоматичного квантування (структурування) вхідної інформації в класі тк-знань, на базі використання якого реалізується тк-квантова мережа виводу рішень в умовах невизначеності. Розглянуто приклад розв'язання задачі квантування знань для прийняття рішень при визначенні термінів проведення технічного обслуговування радіостанцій Р-161А2 в обсязі ТО-2.

Бібліогр.: 7 назв

УДК 681.3.07

Информационная поддержка принятия управленческих решений / Л.С. Глоба, М.В. Лапа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 106 – 112.

Рассматриваются математические модели процессов принятия управленческих решений и их свойства, возможность использования современных методов принятия технических решений в условиях неопределенности. Предлагается использование современных компьютерных технологий и программного обеспечения для информационной поддержки принятия управленческих решений.

Библиогр.: 6 назв.

Розглядаються математичні моделі процесів прийняття управлінських рішень та їхні властивості, можливість використання сучасних методів прийняття технічних рішень в умовах невизначеності. Пропонується використання сучасних комп'ютерних технологій і програмного забезпечення для інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень.

Бібліогр.: 8 назв

УДК 330.1(075.8)

Подійно-орієнтована інформаційно-аналітична система підтримки життєвого циклу продуктів. Блок подання даних / О.В. Телепнев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 113 – 120.

Зазначено необхідність розробки генератора запитів користувача для блока подання даних подійно-орієнтованої інформаційно-аналітичної системи підтримки життєвого циклу складних продуктів (ІАС ЖЦ). Розглянуто реляційну модель накопичувача даних ІАС ЖЦ, визначено особливості запиту користувача у ІАС ЖЦ і перелік можливих обмежень на значення даних у запиті.

Табл. 5. Бібліогр.: 6 назв

Указана необхідність розробки генератора запитів користувача для блока представлення даних подійно-орієнтованої інформаційно-аналітичної системи підтримки життєвого циклу складних продуктів (ІАС ЖЦ). Розглянуто реляційну модель накопичувача даних ІАС ЖЦ, визначено особливості запиту користувача у ІАС ЖЦ і перелік можливих обмежень на значення даних у запиті.

Табл. 5. Библиогр.: 6 назв.

УДК 658.52.011:658.562

Развитие инновационного бизнеса в Харьковском регионе на основе использования интеллектуальных активов / П.О. Науменко, Т.И. Крахмалева // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29 – С. 121 – 125.

Предпринята попытка обратить внимание руководителей предприятий Харьковского региона на важность проблемы использования объектов права интеллектуальной собственности в производстве, то есть коммерциализации новых технологий, в том числе изобретений и ноу-хау. Освещены последние изменения в правовом поле Украины, вносящие положительную динамику в процесс инновационной деятельности. Даны практические рекомендации по улучшению инновационного климата в Харьковском регионе.

Библиогр.: 4 назв.

Зроблено спробу привернути увагу керівників підприємств Харківського регіону до важливості проблеми використання об'єктів права інтелектуальної власності у виробництві, тобто комерціалізації нових технологій, у тому числі винаходів і ноу-хау. Висвітлено останні зміни у правовому полі України, які вносять позитивну динаміку у процес інноваційної діяльності. Подано практичні рекомендації стосовно поліпшення інноваційного клімату в Харківському регіоні.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 621.396.96

Разработка алгоритма когерентного приема сигналов с учетом пространственного разнесения приемных и передающих элементов РСА / А.В. Ксендзук, И.А. Евсеев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 126 – 131.

Предложен вариант когерентного приема сигналов в РСА с разнесенными в пространстве передающей и приемной позициями. Для обеспечения когерентного режима обработки предложено использовать модифицированный сигнал, который представляет собой результат перемножения прямого сигнала на сигнал опорного генератора. Это позволяет обеспечить когерентную обработку даже при случайной внутриимпульсной структуре излучаемого сигнала.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

Запропоновано варіант когерентного приймання сигналів у РСА з рознесеними в просторі передавальною і приймальною позиціями, які рухаються по різних траєкторіях. Для забезпечення когерентного режиму обробки запропоновано використовувати модифікований опорний сигнал, що являє собою результат перемноження прямого сигналу на сигнал опорного генератора. Це дозволяє забезпечити когерентну обробку навіть при випадковій внутріімпульсній структурі випромінюваного сигналу.

Іл. 3. Бібліогр.: 6 назв

УДК 621.396.96

Ограничения адаптивной пространственно-временной обработки сигналов в условиях априорной параметрической неопределённости / В.И. Лакно, И.И. Брык, В.Ж. Яценюк // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 132 –137.

Представлено исследование основных ограничений теории адаптивной пространственной обработки сигналов в условиях обобщенной параметрической неопределенности о свойствах помех при отсутствии точных априорных данных о сигнале.

Іл. 3. Библиогр.: 9 назв.

Наведено дослідження основних обмежень теорії адаптивної просторової обробки сигналів в умовах узагальненої параметричної невизначеності про властивості завад при відсутності точних априорних даних про сигнал.

Іл. 3. Бібліогр.: 9 назв

УДК 621.327

Обоснование возможности снижения времени доведения информации на основе сжатия трансформант ДПУ / А.А. Красноруцкий, А.И. Тимочко, А.В. Коломийцев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 138 –143.

Проведен анализ основных видов дискретных ортогональных преобразований. Приведено обоснование возможности дополнительного повышения степени сжатия и снижения времени доведения видеоинформации на основе использования ДПУ при сжатии изображений.

Библиогр.: 4 назв.

Проведено аналіз основних видів дискретних ортогональних перетворень. Наведено обґрунтування можливості додаткового підвищення ступеня стиску та зниження часу доведення відеоінформації на основі використання ДПУ при стиску зображень.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 623.4.002.8

Состояние проблемы утилизации авиационных боеприпасов для систем вооружения летальных аппаратов / Н. В. Нечипорук, Е. А. Полищук // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 144 –148.

Проанализировано состояние проблемы утилизации авиационных боеприпасов. Рассмотрены как методы утилизации боеприпасов, основанные на получении дефицитных материалов, так и методы утилизации боеприпасов, базирующиеся на вторичном использовании элементов снаряжения в производственном процессе их изготовления.

Библиогр.: 7 назв.

Проаналізовано стан проблеми утилізації авіаційних боєприпасів. Розглянуто як методи утилізації боєприпасів, основані на отриманні дефіцитних матеріалів, так і методи утилізації боєприпасів, що базуються на вторинному використанні елементів спорядження у виробничому процесі їх виготовлення.

Бібліогр.: 7 назв

УДК 004.89

Знаниеориентированный метод автоматизированного синтеза расписаний учебных занятий / С.В. Россоха// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 149 –154.

Рассмотрен вопрос построения автоматизированных систем синтеза учебных расписаний на основе синтезированной модели жадных алгоритмов и системы поддержки принятия решений. Проанализированы существующие подходы к синтезу учебных расписаний. Представлен алгоритм составления расписания занятий. Предложена структура системы синтеза учебных расписаний.

Ил. 1. Библиогр.: 14 назв.

Розглянуто питання побудови автоматизованих систем синтезу навчальних розкладів на базі синтезованої моделі жадібних алгоритмів і системи підтримки прийняття рішень. Проаналізовано існуючі підходи до синтезу навчальних розкладів. Подано алгоритм складання розкладу занять. Запропоновано структуру системи знанняорієнтованого синтезу навчальних розкладів.

Іл. 1. Бібліогр.: 14 назв

УДК 004.89

Принцип построения и структура многосекционной базы знаний для поддержки решений при планировании учебных расписаний / И.Е. Россоха// Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 155 – 159.

Рассмотрены подходы к созданию знаниеориентированных систем планирования учебных расписаний. Предложен новый принцип, основанный на методах инженерии знаний и направленный на создание "умелых" компьютерных систем на базе квантовых моделей знаний о предметной области. Разработана структура такой системы – многосекционной базы знаний (МБЗ) и её автономных элементов. Определены преимущества МБЗ перед существующими системами.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

Розглянуто підходи до створення знанняорієнтованих систем планування навчальних розкладів. Запропоновано новий принцип, що базується на методах інженерії знань та спрямований на створення "умілих" комп'ютерних систем на основі квантових моделей знань про предметну галузь. Розроблено структуру такої системи – багатосекційної бази знань (ББЗ) та її автономних елементів. Визначено переваги ББЗ над існуючими системами.

Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв

УДК 519.866

Модель оценки качества учета товарно-материальных ценностей / С.Ю. Мелешенко, В.С. Пигнастая, А.В. Чечуй, И.В. Власенко, М.И. Луханин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 160 – 168.

Получены уравнения уровня для определения величины межоперационных заготовок вдоль всей технологической цепочки производственной системы. В результате сравнения решений уравнений уровня и фактических данных при наличии отклонений сформулированы управляющие воздействия, исходящие из диспетчерской службы.

Библиогр.: 4 назв.

Отримано рівняння рівня для визначення величини міжопераційних заготовок уздовж всього технологічного ланцюжка виробничої системи. У результаті порівняння розв'язків рівнянь рівня і фактичних даних за наявності відхилень сформульовано керуючі впливи, що виходять із диспетчерської служби.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 681.3

Определение тематической направленности запросов путем анализа наборов рейтинговых источников / Д.В. Ландэ, С.М. Брайчевский // Открытые информационные и компьютерные информационные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 29. – С. 169 – 174.

Представлен подход к решению задачи вычисления тематической направленности запросов пользователей к информационно-поисковой системе, базирующийся на анализе корреляций стационарных источников сетевой информации, соответствующих релевантным документам. Описана методика оценки тематической близости документальных массивов по характеристикам, не заданным изначально при классификации.

Ил. 4. Библиогр.: 2 назв.

Наведено підхід до вирішення завдання обчислення тематичної спрямованості запитів користувачів до інформаційно-пошукової системи, який базується на аналізі кореляцій стаціонарних джерел мережної інформації, що відповідають релевантним документам. Описано методику оцінки тематичної близькості документальних масивів за показниками, які не задано заздалегідь при класифікації.

Іл. 4. Бібліогр.: 2 назви

УДК 620.178.3:538:629.7

Методика определения характеристик локального НДС и податливости элементов срезного соединения заклепками с корончатым и цилиндрическим компенсаторами / А.Г. Гребеников, А.М. Гуменный, И.Н. Дубров // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ, 2005. – Вып. 29. – С. 175 – 186.

Представлена методика определения характеристик локального НДС и податливости элементов срезного соединения, выполненного заклепками с корончатым и цилиндрическим компенсаторами с помощью системы инженерного анализа ANSYS. Методика включает в себя создание трехмерной модели исследуемых соединений, выявление характера распределения контактных давлений и натягов между их элементами, характера распределения эквивалентных напряжений в соединяемых элементах, определение в них отнулевых эквивалентных напряжений и деформаций, а также произведения этих величин.

Ил. 18. Библиогр.: 4 назв.

Подано методику визначення характеристик локального НДС і податливості елементів зрізного з'єднання, виконаного заклепками з корончастим і циліндричним компенсаторами за допомогою системи інженерного аналізу ANSYS. Методика включає створення тривимірної моделі досліджуваних з'єднань, виявлення характеру розподілу контактних тисків і натягів між їхніми елементами, характеру розподілу еквівалентних напруг в елементах, що з'єднуються, визначення в них віднулевих еквівалентних напруг і деформацій, а також добутку цих величин.

Іл. 18. Бібліогр.: 4 назви

Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»

Уважаемые авторы публикаций!

К опубликованию в сборнике принимаются научные статьи, ранее не публиковавшиеся, посвященные вопросам и проблемам открытых информационных и компьютерных интегрированных технологий.

Согласно Постановлению ВАК Украины от 15.01.2003 г. № 7-05/1 "Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України" текст статьи должен содержать следующие необходимые элементы:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор;
- выделение не решенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья;
- формулировка целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

Статья, не соответствующая требованиям ВАК Украины, к публикации не принимается.

Статья должна быть отредактирована литературным редактором и сверстана автором таким образом, чтобы все страницы были полностью заполнены текстом (в т.ч. последняя страница). Не принимается статья, содержащая неполные страницы.

Статья должна быть полностью подготовлена с помощью редактора MS Word 95, 97 или 2000. Рисунки и фотографии размещаются в тексте статьи, при этом рисунки должны быть сгруппированы и "привязаны" к тексту.

Требования к оформлению следующие:

- 1) параметры страницы: формат А4, верхнее поле - 2,5 см, нижнее - 3 см, левое - 2,5 см, правое - 2 см, от края до нижнего колонтитула - 2 см;
- 2) номер страницы: внизу, от центра, шрифт Arial (размер 12);
- 3) УДК: в левом верхнем углу страницы, шрифт Arial, 12;
- 4) инициалы и фамилии авторов: шрифт Arial, размер 12, в верхнем правом углу;
- 5) название статьи: шрифт Times New Roman, жирный, размер 16, выравнивание – по центру;
- 6) организация: шрифт Arial, курсив, размер 12;

- 7) между названием статьи, авторами, организацией и текстом статьи - один пустой абзац (размер 12);
- 8) текст статьи: шрифт Arial, обычный, размер 12; интервал - **одинарный**, перед абзацем и после него - 0 пт, отступ первой строки - 1,25 см, выравнивание - по ширине;
- 9) внешний вид графиков, таблиц, формул - по усмотрению авторов, но использовать шрифты размером не менее 8;
- 10) подписи под рисунками располагать по центру страницы; перед рисунком и после его наименования (или подрисуночной подписи) оставить пробел в одну строку.

Физические величины должны приводиться в единицах системы СИ.

В конце статьи необходимо привести список использованных источников (заголовок печатается отдельной строкой посередине, шрифт Arial, 12). Литературные источники должны быть пронумерованы в соответствии с порядком ссылок на них в тексте. Ссылка на источник дается в квадратных скобках. Список литературы приводится в конце статьи библиографическим списком источников на языке оригинала в соответствии с ГОСТ 7.1.-84.

Одновременно со статьей в редакцию предъявляются:

- экспертное заключение организации, в которой работает автор, о возможности опубликования статьи в открытой печати;
- рецензия на статью от ведущего специалиста;
- реферат на русском и украинском языках, содержащий краткое содержание статьи (объем не более семи строк одним абзацем).

Статья и реферат подаются в редакцию в виде файлов на дискете 3,5" (1,44 Мбайт) и в распечатанном виде на бумаге формата А4 (210x297).

Решение о публикации статьи принимает редколлегия.

Принятая к публикации распечатанная рукопись статьи автору не возвращается.

Научное издание

**ОТКРЫТЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ
ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Выпуск 29

Редактор Л.А. Кузьменко

Компьютерная верстка: Н. В. Ефремова

Подписано в печать 30.11.2005. Формат 60×84 ¹/₈. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 10,9. Уч.-изд. л. 12,31. Т. 300 экз. Заказ

**Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского**

«Харьковский авиационный институт»

61070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

**Отпечатано в типографии ХГАПШ
г. Харьков-23, ул. Сумская, 134, т. 707-87-60**