

**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 30

**Харьков
«ХАИ»
2006**

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 № 7 от 22.03.2006 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. 30. - Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2006. 222 с.

ISBN 966-662-129-0

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 966-662-129-0

**© Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2006**

Содержание

П. О. Науменко. О технологическом контроле при первичном формообразовании в современном машиностроении	5
А. Г. Гребеников, А. З. Двейрин, Ю. Н. Геремес, А. М. Гуменный. Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM	10
Е. Н. Бут. Технические средства обучения человека-оператора техногенного объекта как предмет изучения эргономики	31
Л. А. Малашенко. Влияние случайных факторов на проектные параметры элементов тонкостенных конструкций	36
В. Г. Сухоробрый, М. И. Никифорова. Оценка влияния корреляции случайных параметров на вероятность потери устойчивости ракеты-носителя	42
И. Б. Сироджа, С. В. Россоха. Нечеткий дедуктивный вывод в системе квантов знаний для поддержки принятия решений при планировании учебного процесса	50
И. Б. Сироджа, И. Е. Россоха. Модель обучения нечеткой базы квантов знаний для поддержки принятия решений в условиях ф-неопределенности	56
А. Н. Нарожный. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 2	62
Д. В. Ланде, В. М. Фурашев. Питання побудови та використання багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації	73
А. Г. Гребеников, В. Н. Клименко. Сопротивление усталости полосы с отверстием из титанового сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии	80
С. Д. Винничук, В. Ф. Шмырев. Анализ расходов воздуха в раздаточных отверстиях распределительной трубы ВТПОС самолета с учетом докритических режимов течения	90
Д. А. Бастеев. Синтез онтологии управления проектом технологической подготовки производства на машиностроительном предприятии	97
И. В. Бычков. Информационное обеспечение машиностроительного производства	107
Б. В. Лупкин, О. В. Мамлюк, Р. П. Родин. Заточка сверл по цилиндрическим фасонным поверхностям	112
О. В. Мамлюк. Обработка поверхностей типа «переменная малка» торцовыми фрезами	117
В. Г. Сухоробрый, Д. В. Джулгаков. Принципы генерации текстовых эквивалентов для программ, созданных на графическом языке FBD	121
А. В. Ксендзук, И. А. Евсеев, Б. Н. Кухарчук. Исследование влияния нестабильностей на работу бистатической РСА	130

И. И. Брык. О модификации алгоритмов адаптивной пространственно-временной обработки сигналов в условиях параметрической априорной неопределенности	135
Мохаммед Джасим Мохаммед, М. И. Луханин, В. А. Краснобаев, Н. С. Деренко. Методы и алгоритмы обработки информации в модулярной арифметике	139
Б. Б. Поспелов, Ф. Ф. Мисик, Д. Л. Чечоткін. Дослідження впливу еволюцій літального апарату на ефективність бортового пристрою адаптивної просторової обробки сигналів та завад	151
А. В. Приймак, О. Б. Куренко, Г. П. Сігайло. Визначення зміни показників енергетичного стану літака за записами бортових систем реєстрації параметрів польоту	158
А. В. Светличный, Н. Д. Кошевой. Микроконтроллерное устройство управления каротажем в процессе бурения	166
А. Д. Абрамов, Р. В. Нежальский. Помехоустойчивая процедура для разделения пространственно-временных компонент	171
Н. В. Нечипорук, Е. А. Полищук, Н. В. Кобрина. Исследование процесса демонтажа авиационных мелкокалиберных боеприпасов	179
М. В. Лапа. Інтелектуальна підтримка прийняття рішень при виборі ріжучого інструменту	183
Г. Н. Гулак, В. В. Баранник, А. К. Юдин. Метод многоуровневого изотопного кодирования изображений	189
А. В. Кононенко, В. М. Вартамян. Использование моделей экспоненциального сглаживания в задачах прогнозирования экономических показателей предприятия	198
И. В. Кононенко, И. В. Протасов. Разработка и исследование метода решения задачи формирования перспективного ряда продукции на основе максимизации прибыли	204
Рецензія на науково-методичний посібник Д. В. Ланде, В. М. Фурашева, О. М. Григор`єва "Програмно-апаратний комплекс інформаційної підтримки прийняття рішень"	210
Рефераты	211
Требования к оформлению статей в тематический сборник научных трудов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии»	221

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

О технологическом контроле при первичном формообразовании в современном машиностроении

Харьковское государственное авиационное производственное предприятие

Процесс разделения труда привел к тому, что конструкторы оформляют свои замыслы в виде чертежей изделия и передают их технологам для подготовки производства. Технологи разрабатывают технологические процессы получения реальных изделий и передают инструкции и чертежи производственным рабочим. Последние, понимая язык чертежа, с помощью технологий первичного формообразования превращают чертежи в реальные изделия [1 – 4].

Цель данной работы – исследование погрешностей передачи форм и размеров поверхностей общего вида в современном машиностроении.

Первичное формообразование состоит из двух связанных процессов: первый – изменение формы и размеров заготовки; второй – доказательство соответствия полученных формы и размеров чертежу или плазу. При этом если в качестве формообразующего средства используют токарный станок, то априори предполагают, что полученная деталь образована поверхностью вращения и торцевыми плоскостями. Контроль полученной формы детали на токарном оборудовании осуществляется именно в таких предположениях.

Схема передачи форм и размеров от модели в виде чертежа к детали с помощью токарного станка приведена на рис. 1.

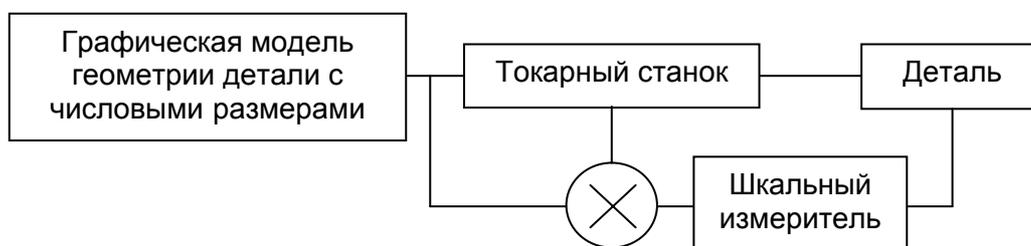


Рис. 1. Схема передачи форм и размеров в машиностроении

Важным элементом процесса передачи форм и размеров является доказательство того, что изготовленная деталь соответствует чертежу. Для этого применяют шкальные измерители – штангенциркуль, микрометр, с помощью которых и устанавливают соответствие реального и указанного на чертеже размеров.

Так как формы самолета не могут быть получены с помощью токарного станка, то в самолетостроении для переноса форм и размеров используют плазово-шаблонный метод, жестким носителем форм и размеров в котором является шаблон. Перенос форм и размеров от модели изделия в виде плаза к изделию в плазово-шаблонном методе осуществляется посредством шаблонов, которые, с одной стороны являются жесткими носителями форм и размеров, а другой – деталями, на которые перенесли формы и размеры с плаза. В результате при применении плазово-шаблонного метода погрешность передачи форм и размеров со-

стоит из двух составляющих: погрешности передачи форм и размеров от плаза к шаблону и погрешности передачи форм и размеров от шаблона к детали. Схема передачи форм и размеров плазово-шаблонными методами показана на рис.2.

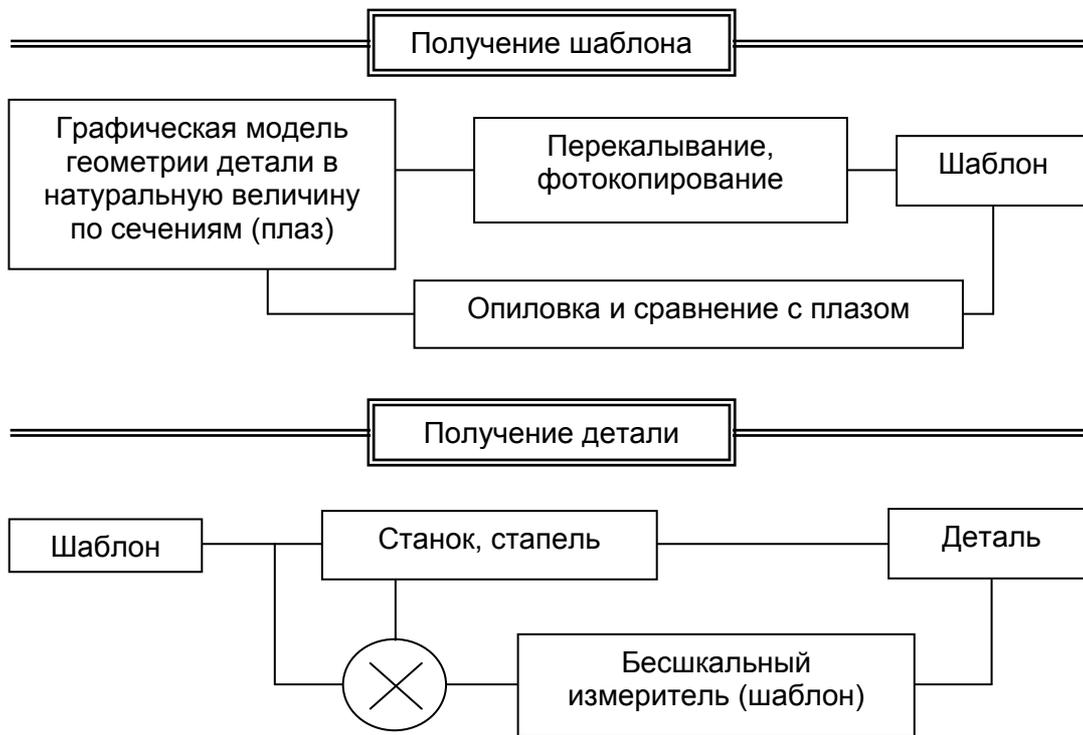


Рис. 2. Схема передачи форм и размеров плазово-шаблонными методами

Таким образом, в обществе возникло человекоориентированное производство, в котором первичное формообразование осуществляется непосредственно высококвалифицированным исполнителем, преобразующим информацию о мысленном образе на языке начертательной геометрии в виде плаза и шаблона или чертежа в материальную форму. Погрешность передачи формы и размеров от моделей к изделиям контролируется при некоторых априорных предположениях, корректность которых при более детальном рассмотрении нарушается [5, 6].

Основные термины и определения на допуски форм и расположение поверхностей даны в ГОСТ 24642-81, а численные значения для различных квалитетов допусков формы и расположения поверхностей – в ГОСТ 24643-81 [7, 8].

В ГОСТ 24642-81 отклонение формы заданных профиля и поверхности, а также допуска форм и их поля определены с использованием понятий эквидистантных поверхностей, пп. 4.6.1, 4.6.2, 4.6.3, 4.7.1, 4.7.2, 4.7.3. Однако численные значения для этих допусков и отклонений в ГОСТ 24643-81 отсутствуют. К тому же погрешности на линиях пересечения поверхностей и на их границах также не определены.

Одно из противоречий современного производства – наличие на производстве двух языков передачи геометрической информации. Ограничения языка начертательной геометрии не позволяет конструкторам, с одной стороны, точно передавать информацию о форме и размерах сложных пространственных поверхностей, а с другой – не всегда ясно и наглядно представлять создаваемые конструкции. Для более точной передачи информации о геометрии в производстве стали

использовать язык аналитической геометрии (таблицы координат узловых точек, аналитические выражения для некоторых линий чертежа).

Отсутствие наглядности языка аналитической геометрии приводит к необходимости каждый раз создавать мысленный образ производимого объекта, что задерживает доводку сложных изделий. И, как следствие, время от начала работ по созданию проекта самолета до его серийного выпуска измеряется десятилетиями. Появление компьютеров позволило не только осуществить конструирование изделий на языке аналитической геометрии, но и создать оборудование с ЧПУ, а также проводить компьютерную разработку программ для этого оборудования. Первичное формообразование перестало зависеть от личной квалификации производственного рабочего. Таким образом, в человекоориентированном производстве зародилось производство, в котором первичное формообразование осуществляется на оборудовании с ЧПУ по аналитическому эталону автоматически, т.е. *машиноориентированное производство*.

Общая схема переноса форм и размеров в современном машиностроении, практически осталась та же (рис. 3). Для переноса формы и размеров поверхности от аналитического эталона детали на саму деталь необходимо увязать координатные системы станка и аналитического эталона, а затем найти приближение переносимой поверхности следовыми поверхностями режущего инструмента. Но решение этой задачи, как указывалось выше, – только одна сторона решения проблемы.

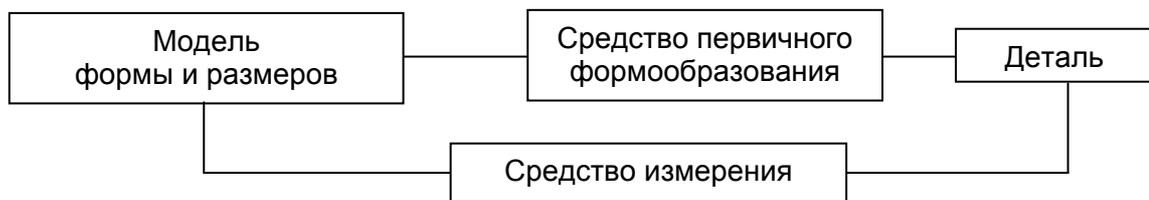


Рис. 3. Общая схема передачи форм и размеров в современном машиностроении

Вторая не менее важная и сложная проблема, – доказательство того, что физически реализованные следовые поверхности инструмента правильно приблизили форму и размер, т.е. с заданной точностью требует, – введения понятия расстояния между поверхностями.

Для решения этой проблемы необходимо каким-то образом измерить координаты изготовленной поверхности, а затем сравнить их с модельными, заданными аналитическим эталоном, т.е. определить расстояние между поверхностями. Подобное сравнение необходимо провести и при проектировании технологического процесса для получения приближения модельной поверхности следовыми поверхностями инструмента. Нами в работах [9 – 11] предложены методы и алгоритмы сравнения аналитического эталона поверхности (номинальная поверхность) с портретом поверхности (модель и размеры реальной поверхности).

Отсутствие надежных методов получения портрета поверхности и сравнения его с аналитическим эталоном серьезно тормозит освоение в технологической подготовке производства метода передачи форм и размеров с помощью аналитических эталонов, что, в свою очередь, за счет содержания метрологического обеспечения плазово-шаблонного метода передачи форм и размеров в виде шаблонов

ного хозяйства сдерживает снижение технологической себестоимости серийного производства современных авиалайнеров. Изучение возможности организации технологических измерений с помощью сканирующей установки непосредственно на фрезерном станке показало, что использование такой установки эквивалентно применению дорогостоящих координатно-измерительных машин, однако стоимость ее значительно ниже. К положительным свойствам такой организации технологического контроля следует отнести то, что измерения и обработка поверхности производятся с одной установки и тем самым в погрешности измерений отсутствует ошибка позиционирования детали в координатно-измерительной машине. Отрицательным свойством является необходимость более частых метрологических аттестаций станка.

Метод технологического контроля точности изготовления деталей путем построения эквидистантных областей допустимых положений сферической тактильной головки измерительного щупа, разработанный автором, дает одно из решений указанной проблемы. Предлагаемый метод технологического контроля первичного формообразования фактически заменяет материальный контрольный шаблон аналитическим контрольным шаблоном, что значительно сокращает расходы на хранение и сопровождение шаблонного хозяйства в производственном цикле.

Суть метода состоит в задании области положений центра сферической головки при касании ее контролируемой поверхности. Очевидно, что такая область будет иметь границы, эквидистантные изготавливаемой поверхности, т.е. задаваемой аналитическим эталоном.

Основное отличие данного подхода к технологическому контролю деталей состоит в том, что при его применении можно судить о точности изготовления поверхности детали в целом. Предлагаемый метод технологического контроля использует косвенные измерения, и поэтому нахождение точек поверхности, вышедших за границы допуска, требует дополнительных расчетов. Невозможность непосредственного локального определения точек поверхности, не удовлетворяющих требованиям точности, связана с тем, что при его использовании координаты точки касания сферической тактильной головки и контролируемой поверхности неизвестны. Известно только то, что точка касания находится на сфере.

По окончании процесса контроля можно восстановить поверхность, на которой находились центры сферической тактильной головки при касании ее контролируемой поверхности, и, построив эквидистантную поверхность на расстоянии радиуса сферической головки, восстано-

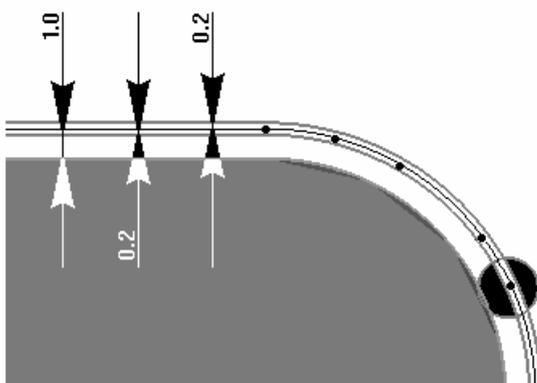


Рис. 4. Эквидистантная область допустимых положений центров тактильной сферической головки области I

вить истинные координаты реальной поверхности. И только после этого можно найти пересечение реальной поверхности с поверхностями допуска на ее размеры.

Детальное изображение сечения области в зоне технологического контроля показано на рис. 4. Опорная эквидистантная поверхность построена на расстоянии радиуса тактильной сферической головки. Затем согласно допуску на изготовление построены границы облас-

ти допустимых положений центра головки измерительного щупа как эквидистанты к опорной поверхности. Контроль осуществляется проверкой принадлежности центра тактильной головки в момент касания контролируемой поверхности области допустимых положений.

В заключение можно сказать, что в результате проведенных исследований была решена проблема замыкания метода передачи форм и размеров с помощью аналитических эталонов и оборудования с ЧПУ.

Список литературы

1. Богуслаев В. А. Комплексная система подготовки и организации производства на серийном предприятии / В. А. Богуслаев, В. И. Омельченко. – Днепропетровск: Січ, 1993. – 356 с.
2. Кривов Г. А. Технология самолетостроительного производства. – К.: Квіц, 1997. – 459 с.
3. Крысин В. Н. Технологическая подготовка авиационного производства. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
4. Бычков И. В. Прямая и обратная задачи формообразования / И. В. Бычков, А. К. Мялица, С. А. Третьяков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2002. – Вып. 14. – С. 9 – 14.
5. Науменко П. О. Перенос формы и размеров с математической модели на деталь при первичном формообразовании на фрезерном станке / П. О. Науменко, С. А. Третьяков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 16. – С. 188 – 190.
6. Науменко П. О. Технологический контроль и технологическая подготовка авиационного производства // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2002. – Вып. 14. – С. 3 – 8.
7. ГОСТ 24642-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения; Взамен ГОСТ 10356-63. – Введ. 01.07.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 112 с.
8. ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения; Взамен ГОСТ 10356-63 [в части разд. 3]. – Введ. 01.07.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 14 с.
9. 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.
10. Науменко П. О. Алгоритмы и функции сканирования на фрезерном станке приставкой «Сканер-2» / П. О. Науменко, Ю. В. Ващук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 20. – С. 10 – 14.
11. Науменко П. О. Оценка взаимного положение анэта и портрета измеряемой поверхности при технологическом контроле / П. О. Науменко, Р. В. Варнас // Технологические системы. – 2005. – № 1. – С. 46 – 49.

Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
Авиационный научно-технический комплекс им. О.К. Антонова*

Фюзеляж по назначению и по функциональным признакам представляет собой один из наиболее сложных агрегатов самолёта. Он является вместилищем полезной нагрузки, экипажа, оборудования, снаряжения, а иногда силовой установки и топлива. Фюзеляж соединяет в единое целое важнейшие агрегаты самолёта: крыло, оперение, шасси, силовую установку [1].

Такая функциональная сложность обуславливает определённые трудности как выбора параметров, размеров и формы фюзеляжа в процессе проектирования, так и определения внешних нагрузок, действующих на него [1].

Фюзеляж состоит из носовой, средней и хвостовой частей. Конструктивно фюзеляж гражданского самолета, как правило, представляет собой полую тонкостенную каркасную конструкцию.

Определение основных параметров и характеристик фюзеляжа следует проводить совместно с параметрическими расчётами других частей самолёта. Весь этот расчёт удобно представить в виде итерационного процесса определения взлётной массы самолёта. Схема алгоритма определения параметров фюзеляжа показана на рис. 1.

Исходными данными при проектировании являются содержащиеся в техническом задании величина расчётной дальности L_p полёта самолёта, масса полезной (коммерческой) нагрузки m_n , её габаритные размеры, значения скорости V (максимальной и крейсерской), высота полёта H , условия базирования (класс аэродрома, длина ВПП), аэродинамическое качество на крейсерском режиме полёта, относительная масса конструкции фюзеляжа, ресурс фюзеляжа, габаритные размеры и масса содержимого фюзеляжа (полезной нагрузки, оборудования и снаряжения), применяемые конструкционные материалы, совокупность критериев эффективности фюзеляжа.

В соответствии с исходными данными выбирается схема самолёта, определяется минимальная взлётная масса самолёта, оптимизируются основные параметры самолёта, разрабатывается чертёж общего вида самолёта. Пример чертежа общего вида самолёта показан на рис. 2.

Разрабатывается аэродинамическая, объёмно-массовая и конструктивно-силовая компоновки самолёта, проводится расчёт центровки самолёта.

Внешняя форма фюзеляжа определяется очертаниями бокового вида, вида в плане носовой и хвостовой частей, а также формой поперечного сечения. При выборе формы фюзеляжа исходят прежде всего из требований аэродинамики, эксплуатации и обеспечения прочности конструкции при длительной эксплуатации.

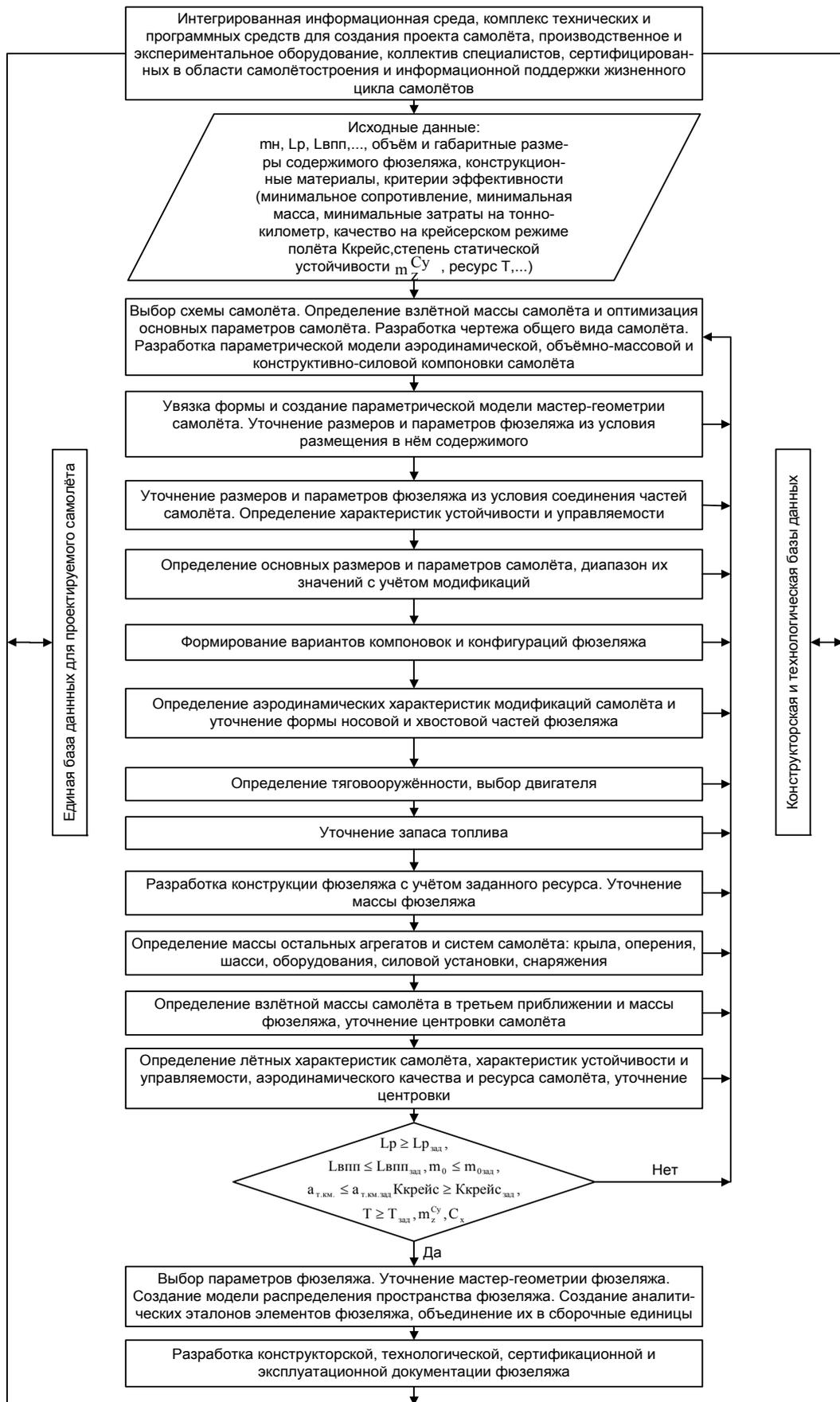


Рис. 1. Схема алгоритма определения параметров фюзеляжа

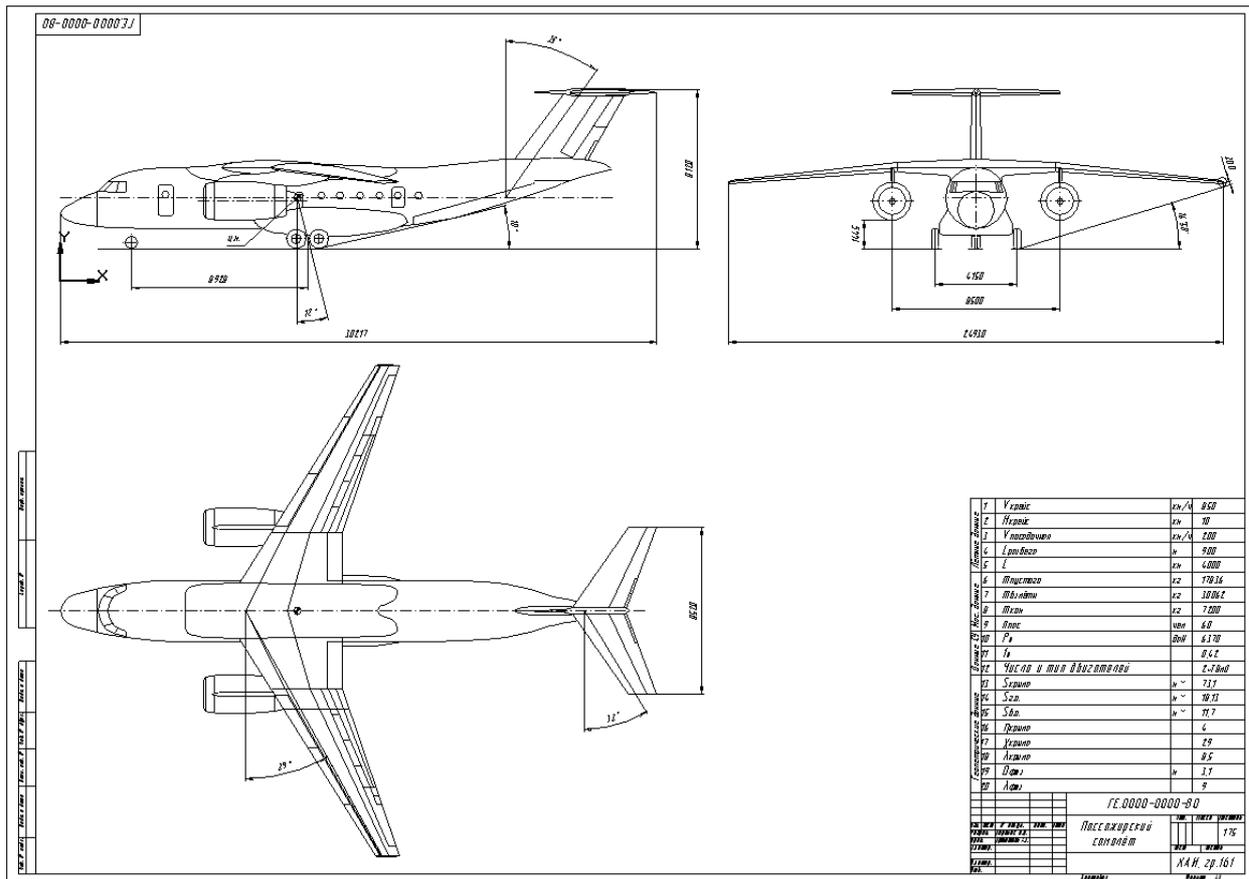


Рис. 2. Чертёж общего вида самолёта

Для отдаления волнового кризиса с увеличением скорости полёта носовая часть самолёта приобретает заостренные очертания при значительном удлинении. При этом учитывают форму фонаря кабины экипажа, характеризуемого углом β наклона лобового стекла. С ростом числа M полёта увеличивают и угол β .

Уменьшению сопротивления самолёта способствует применение правила площадей при проектировании самолётов больших дозвуковых скоростей и сверхзвуковых самолётов.

Форму поперечного сечения фюзеляжа выбирают не только с точки зрения аэродинамики, но и из условий компоновки, размещения двигателей, экипажа, пассажиров, оборудования, обеспечения прочности. Оптимальной формой поперечного сечения считают круглую. Такая форма поперечного сечения позволяет получить минимальную массу конструкции, так как при этом получается обшивка наименьшей толщины. Как разновидность круглого сечения рассматривают сечения, образованные сочетанием двух или нескольких окружностей чаще по вертикали, но иногда и по горизонтали [2].

Диаметр фюзеляжа d_f выбирают из условий получения минимального миделевого сечения S_f и выполнения важнейших компоновочных требований.

Для пассажирских и грузовых самолётов мидель фюзеляжа формируют в зависимости от габаритных размеров пассажирского салона или грузовой кабины. Размеры миделя фюзеляжа пассажирского самолёта определяют в зависимости от варианта компоновки (класса пассажирского салона), высоты пассажирского салона и высоты багажных отсеков, расположенных под ним (рис. 3).

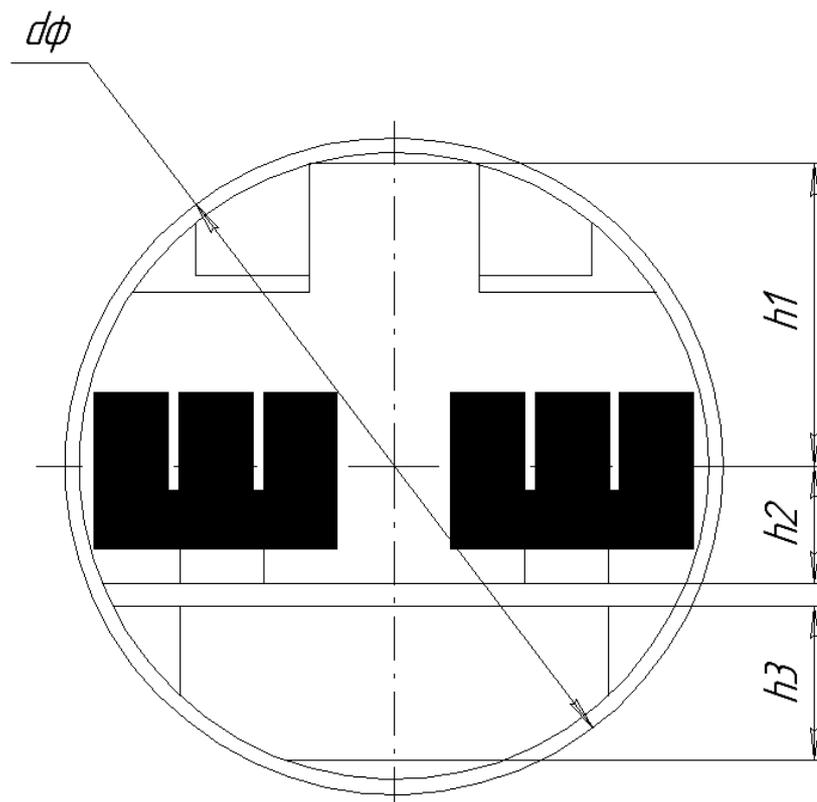


Рис. 3. Схема поперечного сечения фюзеляжа

Диаметр фюзеляжа определяют исходя из числа кресел в ряду по формуле

$$d_{\phi} = k_g [m \cdot b_k + (m + 2)b_i + b_{i0}],$$

где $k_g = 1,08 \dots 1,16$ – коэффициент конусности фюзеляжа;

m – число кресел в одном ряду;

b_k, b_i, b_{i0} – соответственно ширина кресла, подлокотника и прохода вдоль пассажирского салона [2].

Числовые значения b_k, b_i, b_{i0} и шага кресел в зависимости от класса пассажирского салона приведены в табл. 1 [1].

Таблица 1

Параметр	Класс пассажирского салона		
	I	II	III
Ширина кресел, мм	Не менее 500	Не менее 440	Не менее 440
Ширина подлокотников, мм	Не менее 70	Не менее 50	Не менее 50
Ширина прохода, мм	Не менее 510 (при числе пассажиров 20-299), не менее 650 (при числе пассажиров 300 и более)		
Шаг кресел, мм	980...1080	840...870	780...810

В конструктивном отношении наиболее оптимальна круглая форма поперечного сечения фюзеляжа, так как в этом случае получают высокий уровень прочности при наименьшей массе конструкции.

Однако такая форма сечения часто оказывается неоптимальной исходя из требований компоновки пассажирского салона и багажных помещений, расположенных над полом последнего. Для полного использования ширины фюзеляжа

круглого сечения требуется размещать пассажиров так, чтобы середина спинок кресел располагалась по горизонтальной оси фюзеляжа. В этом случае высота салона становится нерационально большой, а высота багажных помещений - недопустимо малой. Если попытаться поднять пол пассажирского салона для получения требуемой высоты багажных помещений, то уменьшится используемая ширина пассажирского салона, а резкий сход боковых стен над крайними креслами создаст впечатление придавленности, затруднится подход к ним. Устранить названные недостатки позволяют такие конструктивные решения:

- размещение грузовых и багажных помещений не под полом, а в носовой и хвостовой частях фюзеляжа, что приведёт к увеличению его длины;
- выбор формы поперечного сечения не круглой, а овальной или образованной из двух и более пересекающихся окружностей.

Указанные конструктивные решения позволяют обеспечить выполнение компоновочных требований и требований по комфорту пассажиров и экипажа, но вступают в противоречие с прочностными, технологическими и производственно-экономическими требованиями. Так, при реализации овальной формы поперечного сечения для выполнения прочностных требований необходимо усилить конструкцию фюзеляжа на участке гермокабины, а это приведёт к увеличению массы конструкции планера самолёта. Усиление конструкции связано с изгибными деформациями фюзеляжа при действии избыточного давления гермокабины. При овальной форме поперечного сечения усложняется процесс производства фюзеляжа и его стоимость [2].

Длину фюзеляжа пассажирского или грузового самолёта в первом приближении можно вычислить по формуле [2]

$$l_{\phi} = l_{\text{ЭД}}(0.25 - 0.3)\lambda_{\phi} / \sqrt{\lambda_{\text{ЭД}}},$$

где λ_{ϕ} - удлинение фюзеляжа, зависящее от значения взлётной массы m_0 (рис. 4).

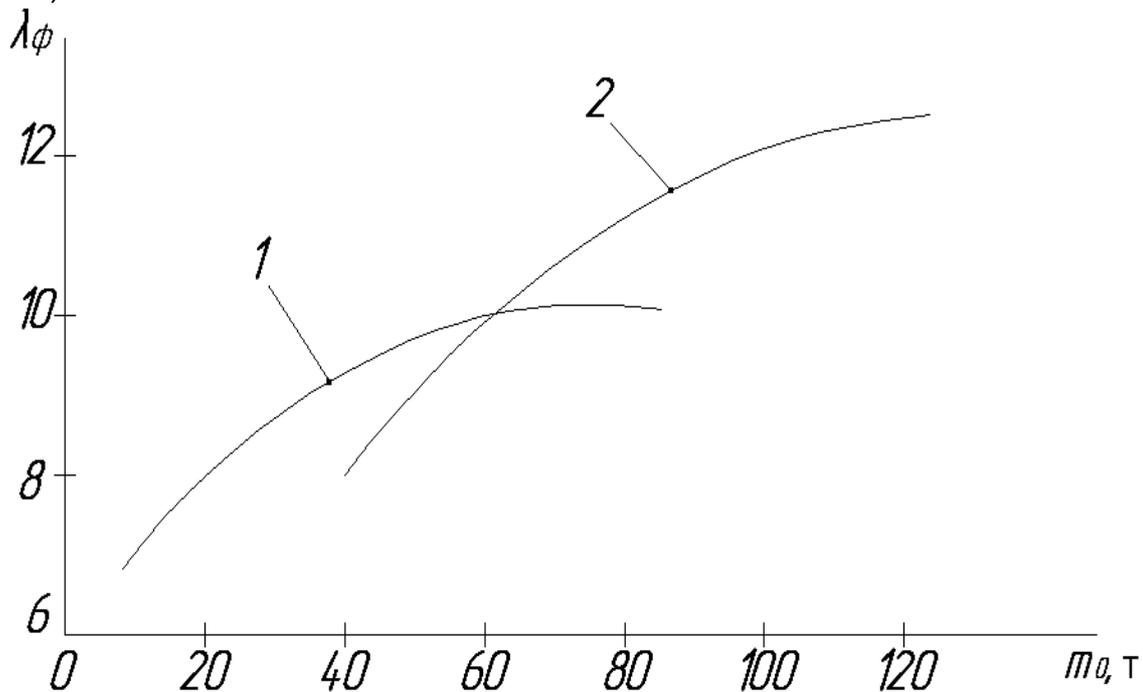


Рис. 4. График зависимости удлинения фюзеляжа от взлётной массы самолёта: 1 – трапецевидное крыло; 2 – стреловидное крыло

По кривой 1 определяют удлинение фюзеляжа самолётов с трапециевидными крыльями, а по кривой 2 – самолётов со стреловидными несущими поверхностями.

Для успешного обеспечения спасательных мероприятий при возникновении штатных ситуаций на фюзеляже выполняют дополнительные вырезы под специальные люки и двери.

По международным нормам требуется, чтобы аварийная эвакуация всех пассажиров и экипажа на земле обеспечивалась в течение 1,5-2 минут при выпущенном или убранном шасси. Для реализации этих требований определяют местоположение и число необходимых вырезов под стандартные люки и двери. Люк I типа размером 610x1220 мм располагают на уровне пола кабины вне зоны крыла. Люк II типа размером 510x1120 мм – вне зоны и в зоне крыла, при этом нижняя кромка должна быть не выше 250 мм от уровня пола и 430 мм от уровня крыла. Люк III типа размером 510x915 мм располагают в зоне крыла на высоте не выше 510 мм от пола и не выше 690 мм от крыла. Люк IV типа размером 480x660 мм – в зоне крыла не выше 740 мм от пола и не выше 910 мм от крыла.

Необходимое число таких люков определяется числом пассажиров в каждом салоне. При числе пассажиров 10-40 человек обязателен хотя бы один люк I типа, при 100-200 человек – два таких люка, при 200-280 человек – три и при 280-300 человек – четыре люка I типа [2].

Входные двери (обязательно без порогов) учитываются как люки I типа.

При верхнем расположении крыла должны быть предусмотрены люки III типа наверху фюзеляжа из расчёта - один люк на 35 пассажиров. Вблизи люков I и II типов (вне зоны крыла) должны быть установлены резиновые трапы, надувающиеся автоматически.

Входные двери, как правило, располагают по левому борту фюзеляжа. На самолётах большой пассажировместимости (более 250 человек) двери могут располагаться по обоим бортам (пороги не допускаются). Окна располагают между шпангоутами с шагом не менее 500 мм, ширина окон – 200...230 мм, высота – 320...350 мм. Шаг окон обычно согласуют с шагом кресел, который определяется классом комфортности салонов [2].

Масса конструкции фюзеляжа ориентировочно распределяется между его конструктивными и силовыми элементами следующим образом: на шпангоуты приходится до 21-28 %, на продольный набор – до 30-33 %, на обшивку – до 37- 40 %.

Как уже отмечалось выше, определение основных параметров и характеристик фюзеляжа проводится совместно с параметрическими расчётами других частей самолёта исходя из требований, заданных в техническом задании, решения задач выбора геометрических характеристик на этапе эскизного проектирования самолёта при обеспечении минимума массы, а также параметрического анализа с учетом всех требований, предъявляемых к конструкции [3]. В результате такой работы создаётся математическая модель фюзеляжа и других агрегатов самолёта, а также создаётся математическая модель облика всего самолёта.

Выбор формы носовой и хвостовой частей определяется минимальным сопротивлением, условиями погрузки-выгрузки содержимого фюзеляжа. Форму этих частей выбирают на базе аэродинамических исследований, внедрения новых концептуальных решений, полученных в результате опытных наработок, теоретических исследований, преемственности конструкции.

На рис. 5 изображен общий вид и компоновка фюзеляжа регионального са-

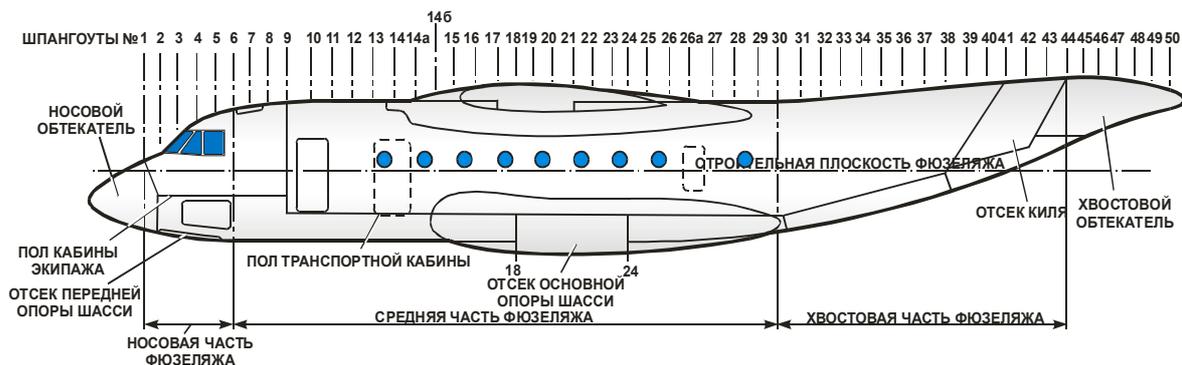
молёта Ан-74ТК-300Д, а на рис. 6 – самолёта Ан-140.

На рис. 7 изображен теоретический чертёж фюзеляжа гражданского самолёта.

Следующим этапом проектировочных работ является разработка конструктивно-силовой схемы. Конструктивно-силовая схема фюзеляжа (КСС) определяет степень участия восприятия нагрузок силовыми элементами.

В процессе проектирования выделяют следующие конструктивно-силовые элементы фюзеляжа:

1. Продольный набор (стрингеры, лонжероны, продольные балки).
2. Поперечный набор (шпангоуты).
3. Вырезы в обшивке.
4. Соединения силовых агрегатов.
5. Местные комбинированные схемы.
6. Элементы конструкции.
7. Элементы крепежа.
8. Стыки элементов конструкции [4].



компоновочная схема самолета Ан-74ТК-300Д

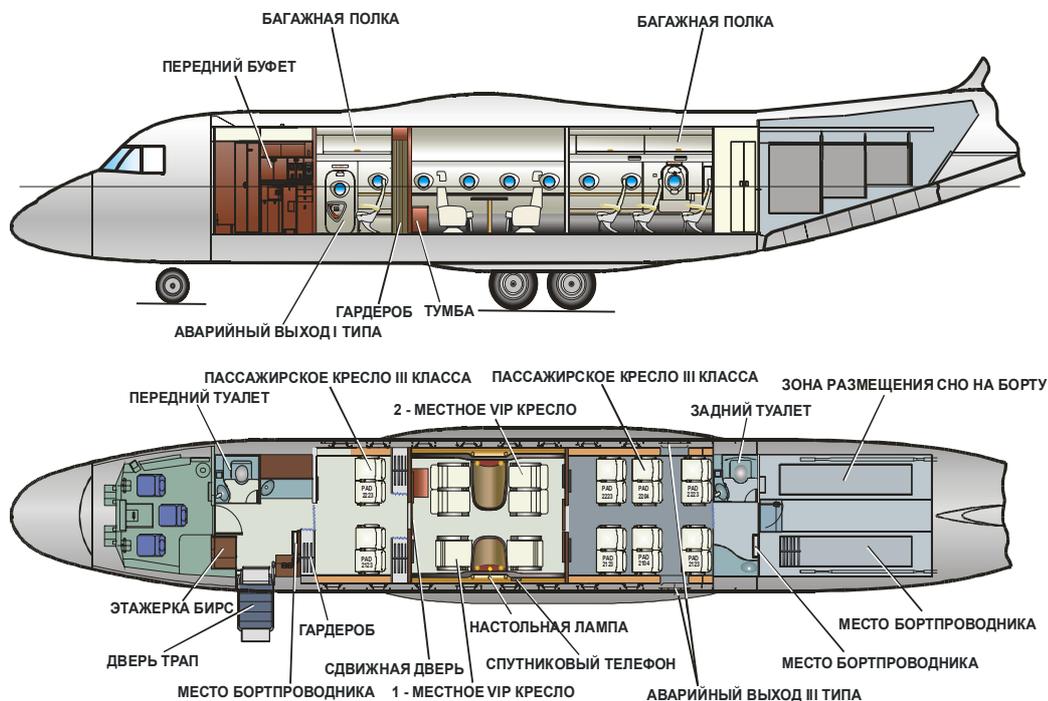
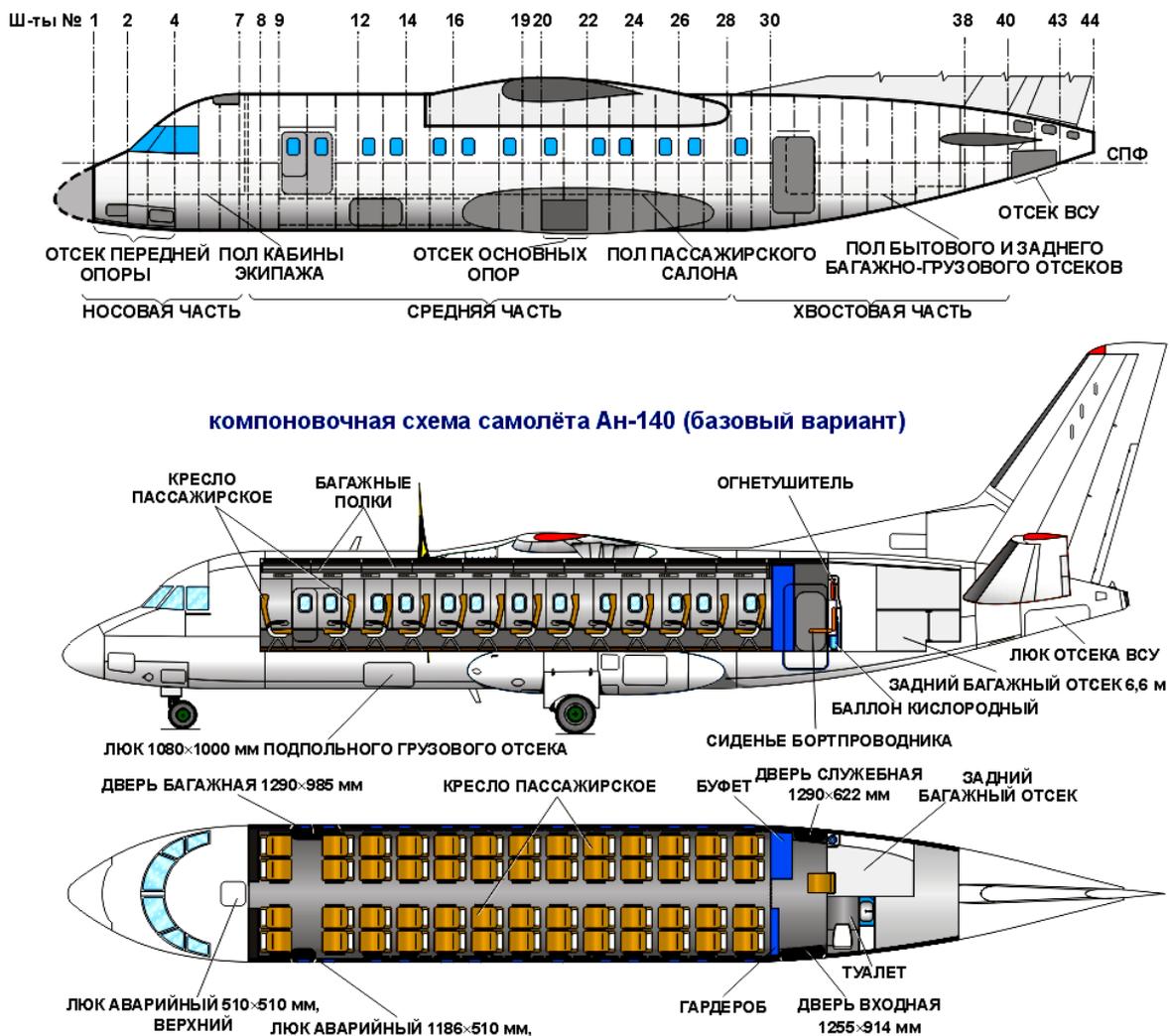


Рис. 5. Общий вид и компоновка фюзеляжа регионального самолёта Ан-74ТК-300Д



компоновочная схема самолёта Ан-140 (базовый вариант)

Рис. 6. Общий вид и компоновка фюзеляжа регионального самолёта Ан-140

На этапе разработки КСС выполняют выбор параметров элементов конструкции фюзеляжа – геометрических характеристик, характеристик материалов, из которых будет выполняться тот или иной элемент, их конструктивные особенности.

Шпангоуты подразделяют на нормальные и усиленные. Нормальные шпангоуты служат для образования формы поперечных сечений и являются опорами стрингеров и обшивки. Усиленные шпангоуты обеспечивают передачу сосредоточенных сил на конструкцию фюзеляжа. Нормальные шпангоуты – это кольцевая (или другой конфигурации) штампованная рама из листового материала Z – образного или швеллерного сечения с просечками под стрингеры. В конструкцию каждого шпангоута входит горизонтальная поперечная балка. Нормальные шпангоуты совместно с обшивкой нагружаются избыточным давлением от гермокабины. Кроме того, нормальные шпангоуты обеспечивают предотвращение общей потери устойчивости конструкции фюзеляжа при значительных перегрузках в полёте и при посадке [2].

Поперечные балки, относящиеся к силовым элементам шпангоута, служат поперечным каркасом пола гермокабины самолёта.

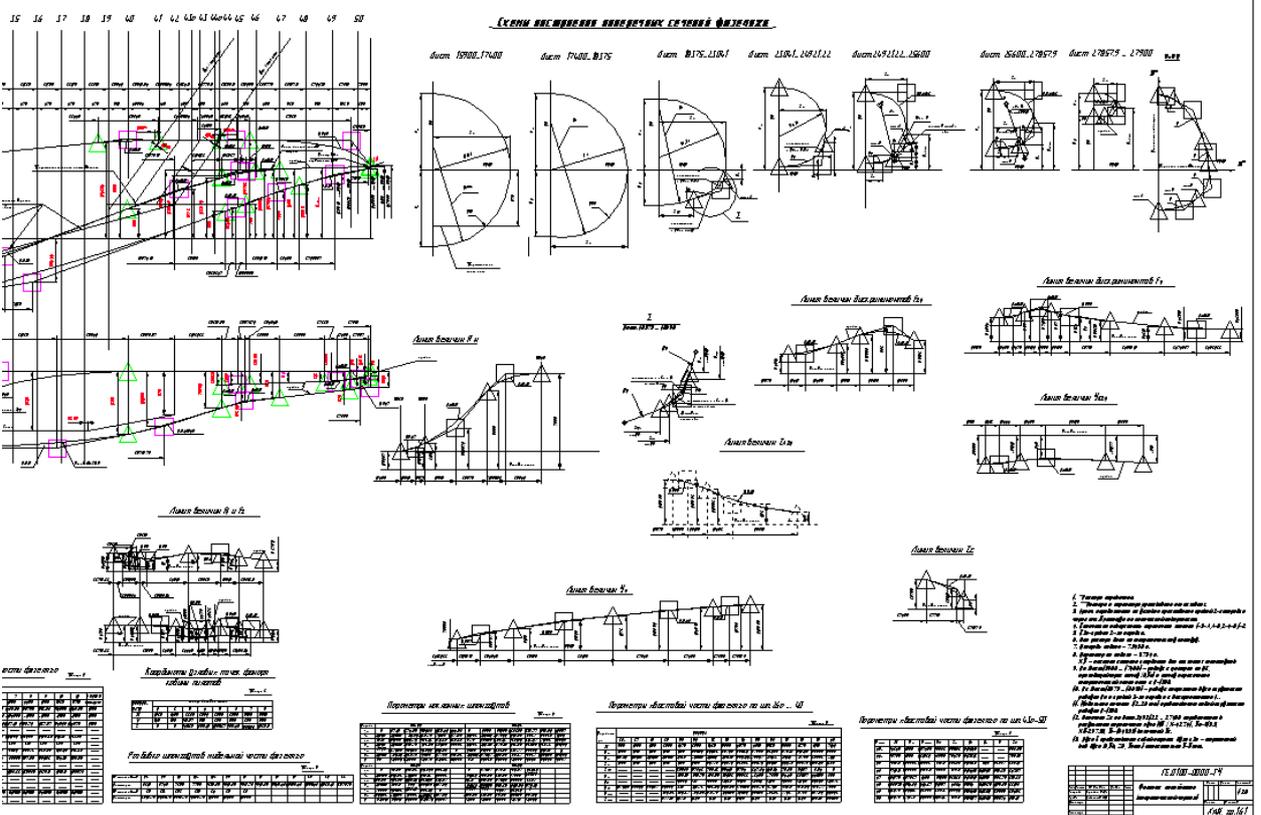
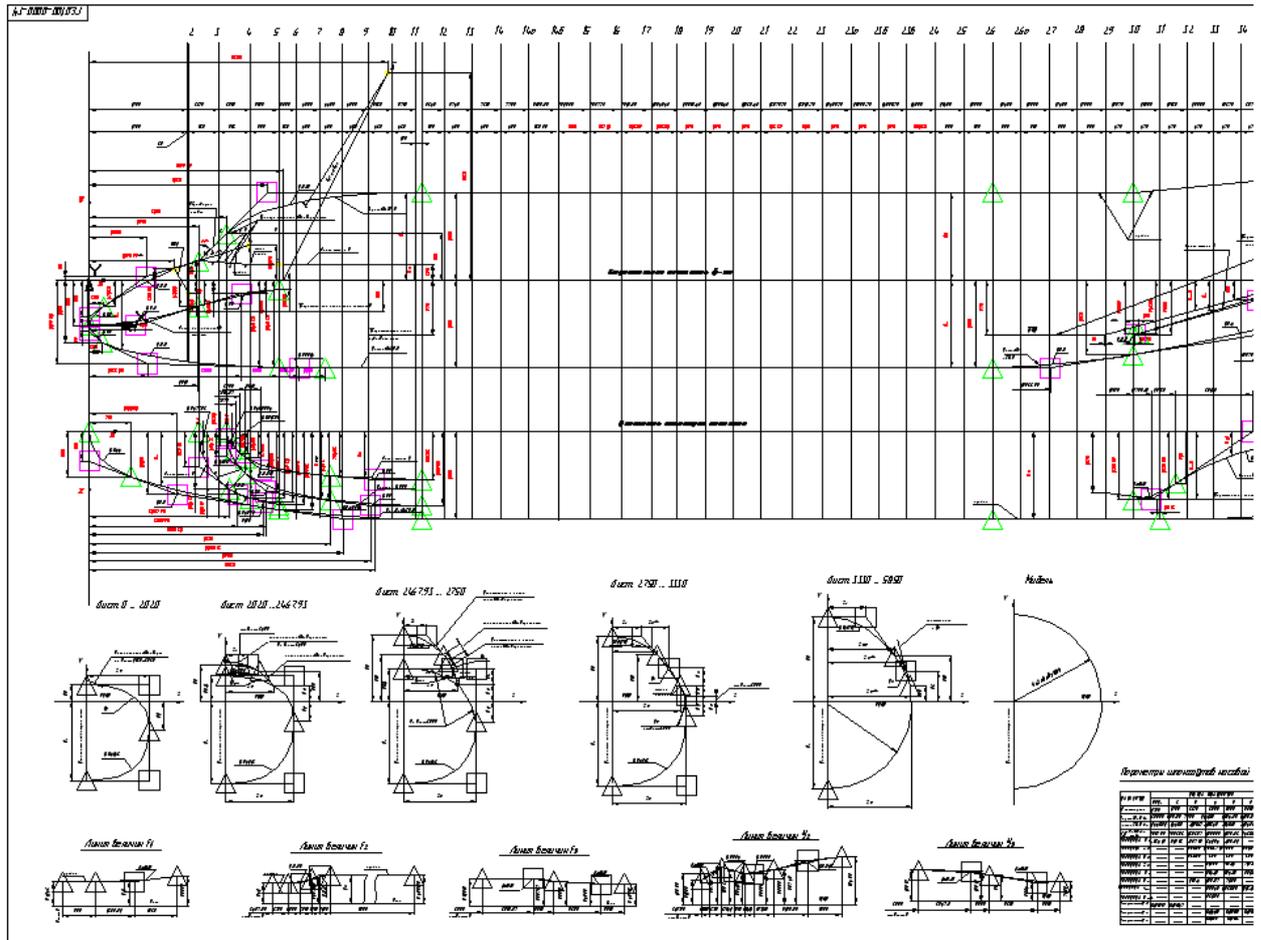


Рис. 7. Теоретический чертёж фюзеляжа гражданского самолёта

Усиленные шпангоуты выполняют в виде мощных кольцевых рам, образованных внутренним и внешним ободами и стенкой. Усиленные шпангоуты в сечении выполняют в виде Z – образного, швеллерного или таврового типа.

Характерной особенностью фюзеляжа является то, что он подвержен действию избыточного давления в герметических кабинах. Гермокабины представляют собой цилиндрическую оболочку, закрытую с торцов днищами, которые являются важным элементом в силовом, весовом и объёмном отношении.

Плоское днище нерационально с точки зрения массы конструкции, но иногда из-за дефицита объёма его приходится ставить. Чаще всего такое днище выполняют из тонкого листа (2...3мм), подкреплённого силовым набором в виде вертикальных и горизонтальных стоек.

Эллиптическое днище (неподкреплённое) представляет собой тонкостенную оболочку, имеющую двоякую кривизну и требующую меньше места для размещения, чем сферическое.

Самая рациональная форма днища – сферическая.

Могут применяться и днища других форм. Выбор формы днища зачастую диктуется компоновочными соображениями, поэтому в конструкциях фюзеляжей можно встретить все перечисленные виды. На транспортных самолётах чаще используется комбинация сферических днищ с различной кривизной. Например, полусфера меньшей кривизны примыкает к цилиндрической части, а к ней - купол сферы большей кривизны. Причём, как правило, применяют как кольцевое, так и радиальное подкрепление.

Стрингеры фюзеляжа чаще всего имеют тавровое, Z – образное или уголковое сечение. Они просты в изготовлении, но более склонны к некоторому закручиванию при действии осевых нагрузок, что может создавать в обшивке дополнительные (небольшие) изгибные деформации между шпангоутами. Поэтому применяют и более сложные симметричные формы поперечных сечений, стремясь к тому, чтобы главная ось инерции сечения профиля стрингера проходила через ось заклёпочного шва с обшивкой [2].

В ходе итерационного процесса проектирования созданный теоретический чертёж с расположением элементов конструкции, их геометрической увязки относительно друг друга уточняется.

Следующим этапом проектирования является расчет нагрузок, действующих на фюзеляж для различных расчетных случаев. Проводится построение эпюр нагрузок, действующих на фюзеляж, определяются экстремумы нагрузок, рассматриваются возможные варианты разгрузки фюзеляжа.

Допустимый срок службы пассажирских и транспортных самолётов зависит от прочности герметических кабин. Поэтому к герметическим кабинам должны предъявляться повышенные требования по сравнению с другими агрегатами самолёта; необходимо обеспечивать хорошую герметизацию кабин, достаточную жёсткость и прочность конструкции, необходимый ресурс эксплуатации [5]. Сложность нагружения, наличие больших вырезов создают значительные трудности при прочностном расчёте таких конструкций.

На рис. 8 показаны эпюры нагрузок, действующих на фюзеляж пассажирского самолёта на 60 человек.

Определяются допускаемые, расчетные напряжения с учётом обеспечения заданного ресурса. Нагрузки должны обеспечивать заданный ресурс конструкции фюзеляжа.

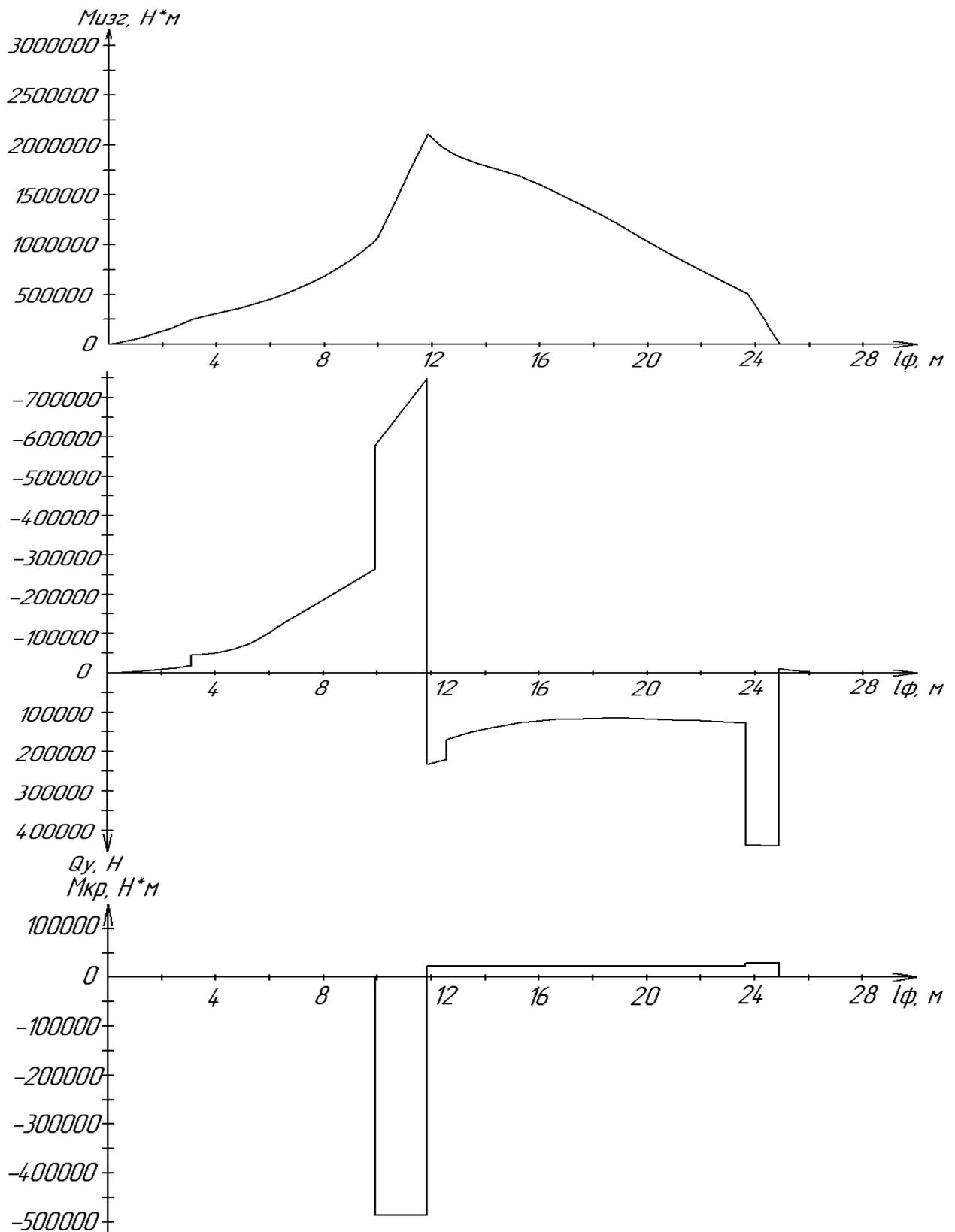


Рис. 8. Эпюры воздействия нагрузок на фюзеляж пассажирского самолёта

Разрабатываются прочностные и расчетные модели фюзеляжа на основе

созданных КСС. Созданные расчетные модели представляют собой конструкцию как систему взаимосвязанных элементов, учитывающую взаимодействие их под действием заданных нагрузок [6].

В качестве расчетных моделей конструктивно-силовых схем элементов и агрегатов конструкции фюзеляжа при проектировочных расчетах применяют балочные модели, аналитические модели строительной механики, теории упругости, теории пластичности, конечно-элементные модели [4].

На рис. 9 изображена расчетная модель поперечного сечения регулярной зоны фюзеляжа гражданского самолета.

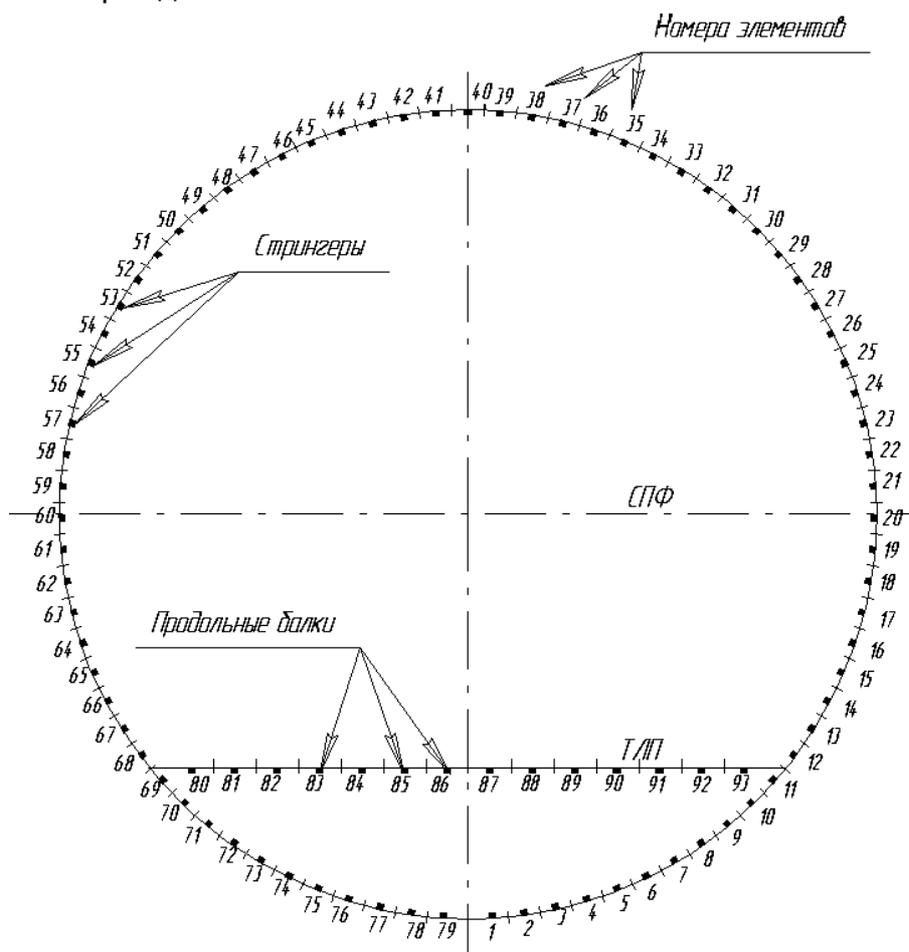


Рис. 9. Расчетная модель поперечного сечения регулярной зоны фюзеляжа

Развитие компьютерной техники, сетевых информационных технологий, создание специализированных программных продуктов, интегрированных систем, таких, как Unigraphics (UG), CATIA, EUCLID, CADD, ADEM, КОМПАС, AUTOCAD, SOLID EDGE, Pro/ENGINEERING, ANSYS, NASTRAN и других, позволяет на базе существующих методов проектирования создать метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования авиационной техники [5].

Сложность процесса проектирования обусловлена тем, что на этапе эскизного проектирования, а особенно при создании нового самолета и его систем, трудно учесть все факторы и выполнить требования, предъявляемые к конструкции, обеспечить заданный уровень качества проектирования, его производства и эксплуатации. Применение интегрированного метода проектирования и компьютерного моделирования позволяет увязать все этапы проектирования: аванпро-

ект, эскизный проект, технический, рабочий проекты самолета [6].

Целью данной статьи является разработка метода интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью компьютерных интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM.

На основе единой базы данных, в единой информационной среде участники создания самолета выполняют процесс проектирования, конструирования, моделирования, аэродинамического и прочностного анализа конструкции, а также технологическую подготовку производства [6].

Фюзеляж и его части увязаны в планере самолёта согласно концептуальной модели дерева проекта (рис. 10).

Рассмотрим этапы интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью компьютерных интегрированных систем CAD/CAM/CAE. На рис. 11 показана структура метода интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE.

Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа с помощью компьютерных систем CAD/CAM/CAE состоит из взаимосвязанных этапов, применяемых ранее. Использование компьютерных систем позволило более существенно расширить вариантность проектирования, степень приближения к наилучшему результату за более короткое время [9]. На каждом этапе проектирования специалисты имеют возможность вернуться на тот уровень, где необходимо выполнить изменение, для получения потребных характеристик и значений для обеспечения совокупности требований, предъявляемых к самолёту.

С помощью аналитических методов определяют геометрические параметры самолёта и его агрегатов, создают теоретический чертёж самолёта и его агрегатов. Он является основой для создания параметрической модели мастер-геометрии самолёта.

Поверхности создаются методами аналитической геометрии, представленными в системах CAD/CAM/CAE.

Имея теоретический чертёж агрегата, создают его мастер-геометрию.

Поверхности создают с помощью методик, основанных на методах аналитической геометрии, путем решения уравнений, описывающих поверхности самолета. Результатом такого решения является мастер-геометрия [6].

Мастер-геометрия фюзеляжа включает в себя мастер-геометрии его частей: носовой, средней и хвостовой.

Исходные данные для создания мастер-геометрии фюзеляжа: $D_{мф}$ – диаметр мидельной части фюзеляжа; $L_{ф}$ – длина фюзеляжа; $\lambda_{нч}$ – удлинение носовой части фюзеляжа; $\lambda_{хвч}$ – удлинение хвостовой части фюзеляжа; форма носовой и хвостовой частей фюзеляжа.

На рис. 12 показана параметрическая модель мастер-геометрии фюзеляжа гражданского самолета, созданная с помощью компьютерной интегрированной системы CAD/CAM/CAE Unigraphics (UG).

Мастер-геометрия фюзеляжа увязывается с мастер-геометрией других агрегатов самолёта. На рис. 13 изображена мастер-геометрия гражданского самолета, созданная с помощью компьютерной интегрированной системы CAD/CAM/CAE Unigraphics (UG).

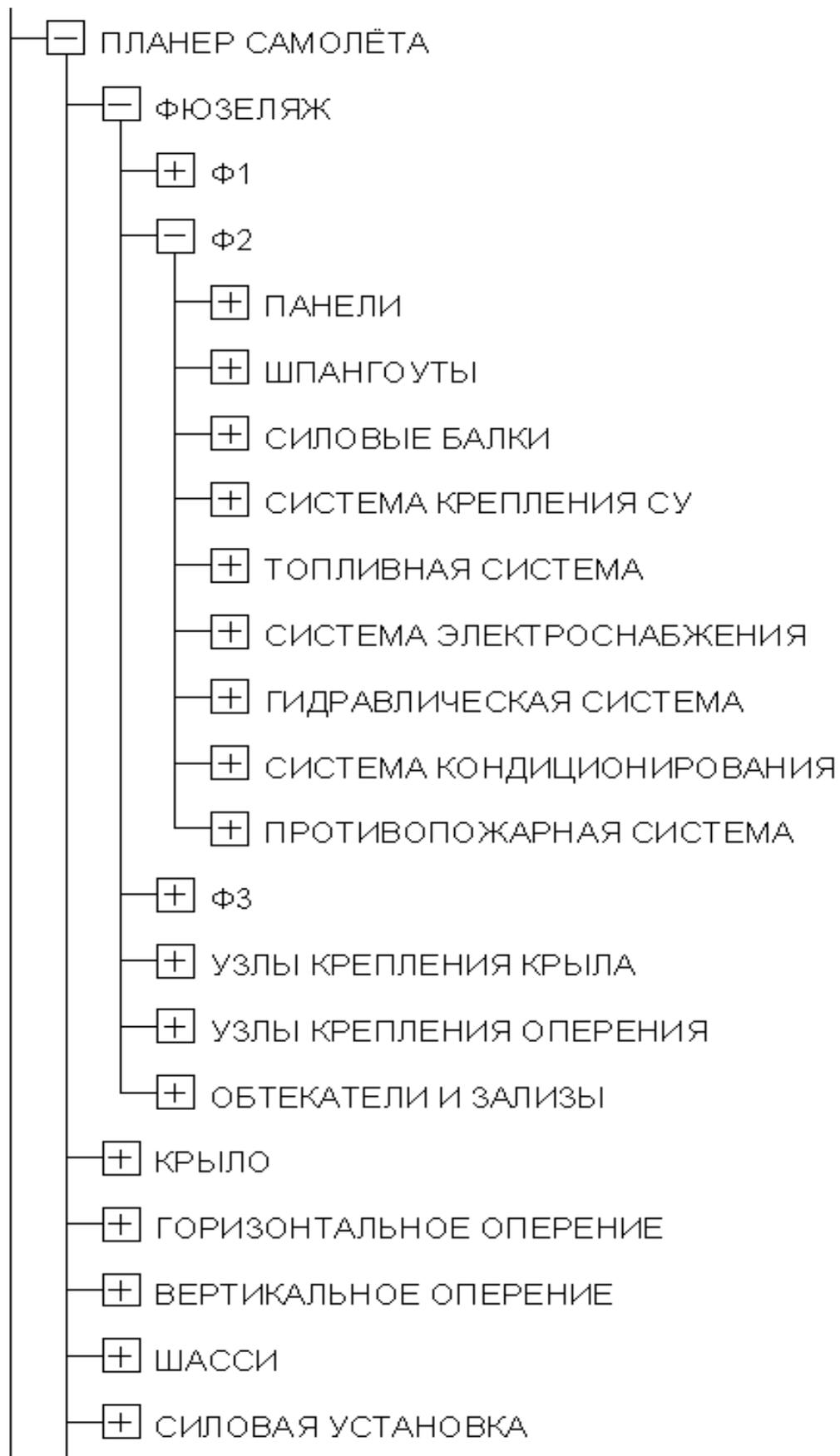


Рис. 10. Концептуальная модель дерева проекта фюзеляжа

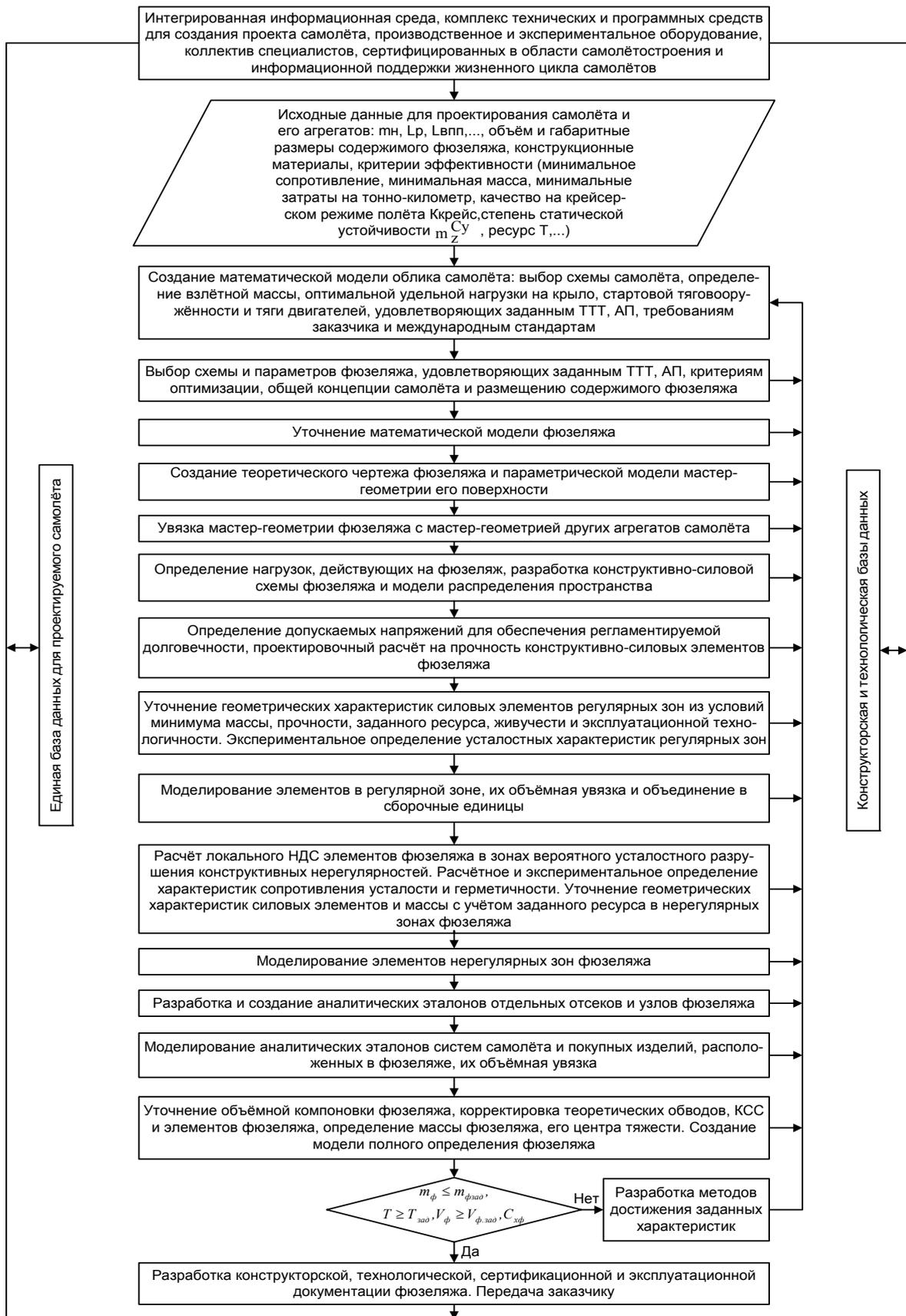


Рис. 11. Структура метода интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа с помощью систем CAD/CAM/CAE

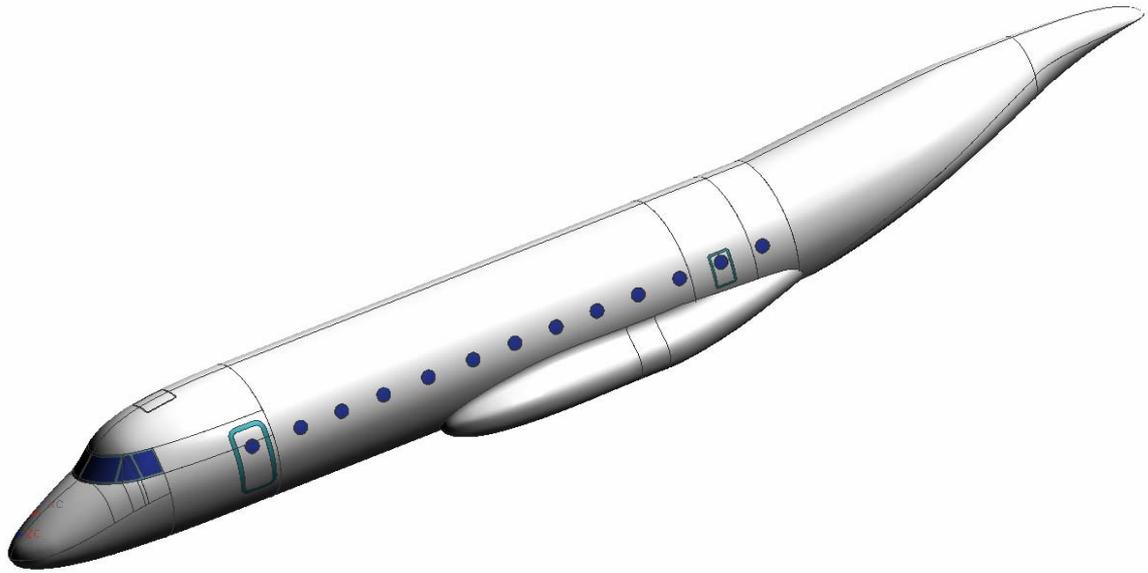


Рис. 12. Мастер-геометрия поверхности фюзеляжа гражданского самолета, созданная с помощью компьютерной интегрированной системы CAD/CAM/CAE Unigraphics



Рис. 13. Мастер-геометрия поверхности гражданского самолета, созданная с помощью компьютерной интегрированной системы CAD/CAM/CAE Unigraphics

Рассматривая процесс проектирования без использования компьютерных систем CAD/CAM/CAE, можно заметить, что малейшее изменение приводит к выполнению большой рутинной работы, связанной с проработкой нового варианта. Адекватная оценка стоит больших интеллектуальных, экономических и временных затрат. Используя же подход интегрированного проектирования с помощью компьютерных систем CAD/CAM/CAE, имеем возможность, изменяя параметры, заданные в начале проектирования, эффективно получить новый результат, выполнить сравнительную характеристику целесообразности таких изменений, определить, как можно оптимально подобрать требования, предъявляемые к конструкции.

Дальнейшим этапом проектирования является создание модели распределения пространства фюзеляжа. Модель распределения пространства разрабатывают на базе созданных элементов в процессе проектирования – конструктивно-силового набора, панелировки, а также концептуальной модели дерева проекта фюзеляжа. В неё входят плоскости элементов конструкции, их оси, элементы размещения оборудования и приборов, входящих в конструкцию фюзеляжа, компоновка трасс систем, траектории и места расположения передвижных элементов, определяющих компоновку, пространство баков, сухих отсеков. Дерево проекта фюзеляжа – это иерархическая система элементов конструкции фюзеляжа, основанная на цепочке: агрегаты, сборки, под сборки, детали. На рис. 14 показан фрагмент модели распределения пространства фюзеляжа гражданского самолёта.

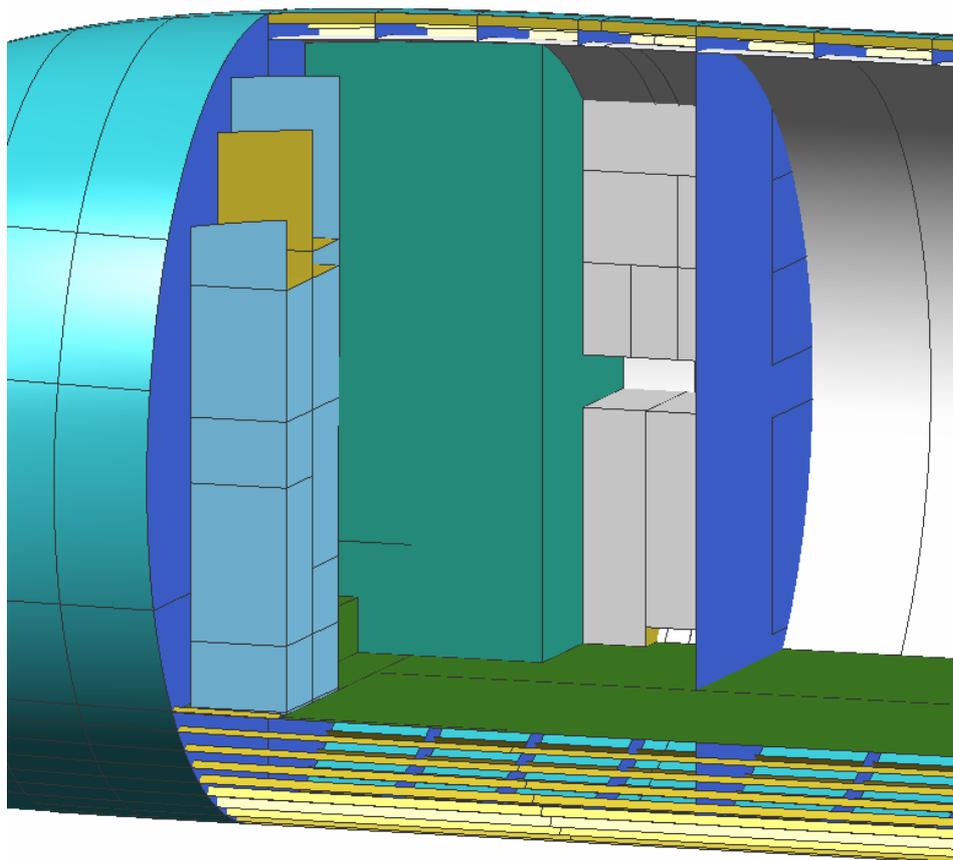


Рис. 14. Фрагмент модели распределения пространства фюзеляжа

Процесс проектирования конструкции включает в себя выбор оптимальных

геометрических параметров и размеров элементов конструкции фюзеляжа при учете нагрузок, действующих в ней. При этом определяют геометрические параметры элементов конструкции фюзеляжа в регулярной зоне.

По результатам проведенных расчетов и выбора геометрических параметров и размеров создаются аналитические эталоны – моделируются элементы конструкции регулярной зоны.

Моделирование аналитических эталонов деталей выполняют от поверхности мастер-геометрии агрегата на основе модели распределения пространства. Созданные аналитические эталоны деталей объединяют в сборки. На рис.15 показана параметрическая модель сборки аналитических эталонов стрингеров отсека Ф2 фюзеляжа гражданского самолета, смоделированных без учета нерегулярностей. На рис. 16 изображены аналитический эталон стенки поперечной балки типового шпангоута фюзеляжа гражданского самолета и модель сборки типового шпангоута, входящего в конструкцию фюзеляжа.

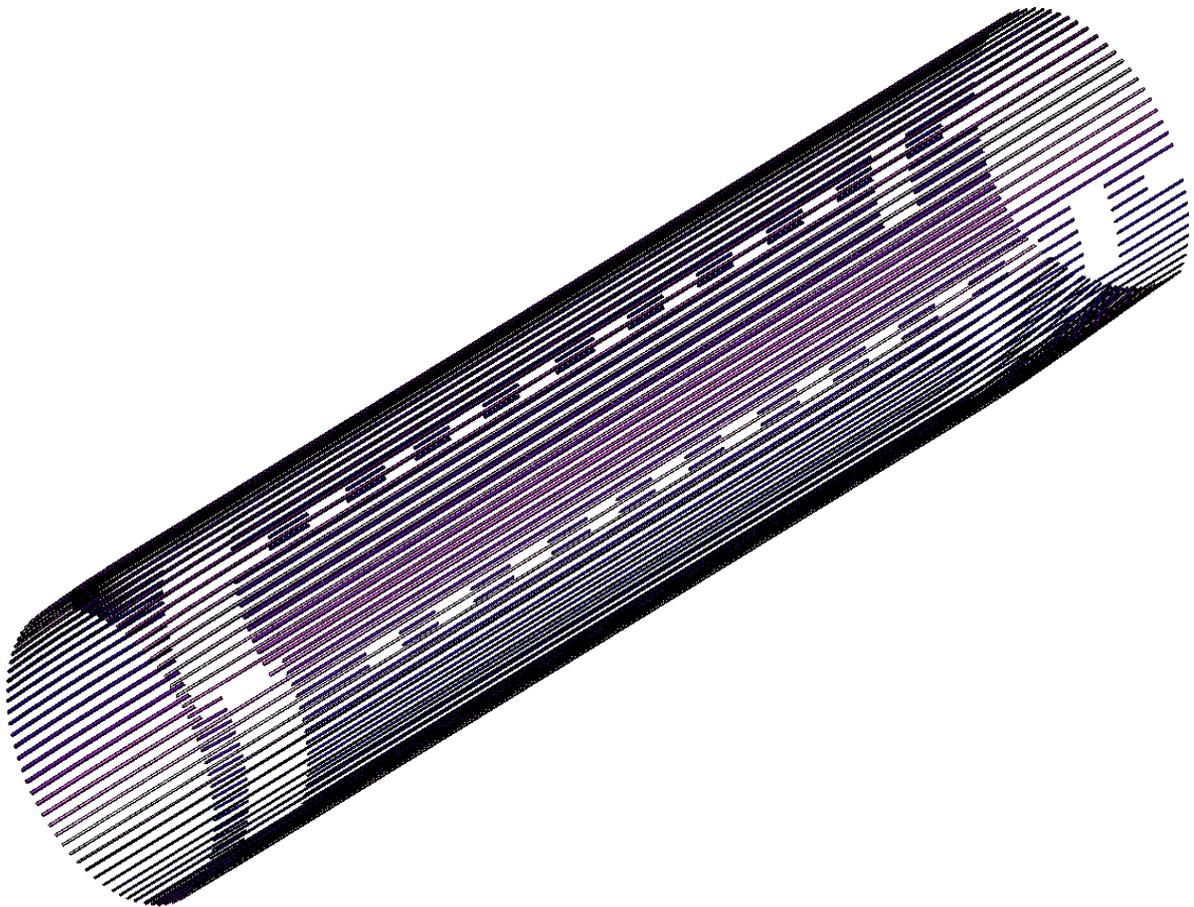


Рис. 15. Параметрическая модель сборки аналитических эталонов стрингеров отсека Ф2 фюзеляжа гражданского самолета, смоделированных без учета нерегулярностей

Все элементы при этом завязаны между собой ассоциативной связью. Аналитические эталоны элементов конструкции получают из условия параметричности. Это еще один фактор эффективности применения компьютерных систем CAD/CAM/CAE в интегрированном проектировании. Параметричность модели позволяет быстро выполнить изменение того или иного параметра, влекущее за со-

бой получение новой модели.

После проектирования и создания аналитических эталонов регулярных зон выполняют процесс проектирования нерегулярных зон – продольные и поперечные стыки, вырезы в обшивке, узлы крепления агрегатов и систем, входящих в фюзеляж. С помощью модулей САЕ-систем рассчитывают напряженно-деформированное состояние (НДС) элементов конструкции фюзеляжа в зонах вероятного усталостного разрушения конструктивных нерегулярностей.

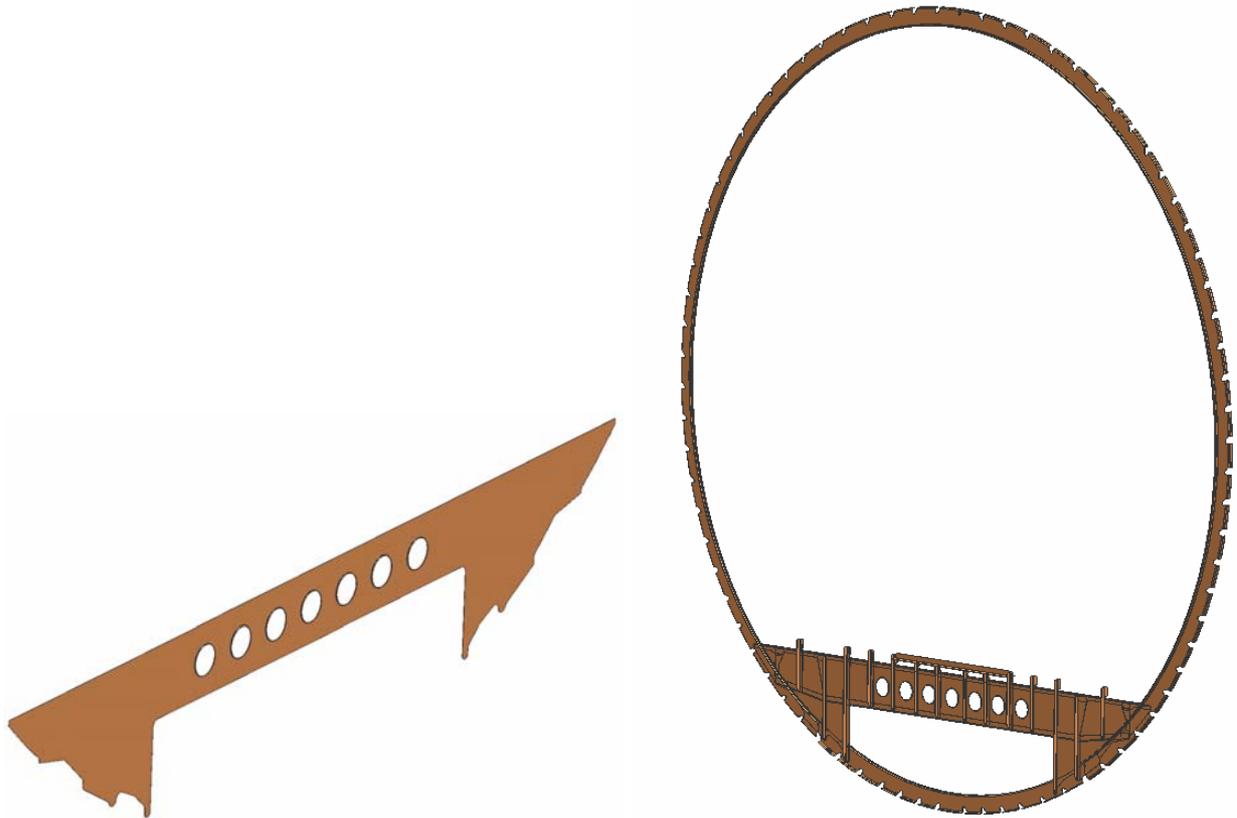


Рис. 16. Аналитический эталон стенки поперечной балки типового шпангоута фюзеляжа гражданского самолета и модель сборки типового шпангоута, входящего в конструкцию фюзеляжа

Уточняют нагрузки и усилия в этих зонах и проводят проектировочные расчеты параметров и размеров конструктивных элементов фюзеляжа. Исследуют усталостную прочность конструкции на основе экспериментальных и расчетных методов с учетом заданной долговечности. Создают образцы элементов для лабораторных испытаний.

Аналитические возможности программных комплексов САЕ-систем позволяют решать задачи статической и динамической прочности, используя при этом как линейную, так и нелинейную постановки задачи. Нелинейные модели могут содержать геометрическую и физическую нелинейности моделей [11].

В процессе проектировочного расчета нерегулярных зон по полученным геометрическим параметрам и размерам моделируют аналитические эталоны элементов этих зон, а также аналитические эталоны стыковых узлов.

Следующим этапом проектирования является моделирование аналитических эталонов компонентов систем, расположенных в фюзеляже: силовой установки, систем электроснабжения, системы кондиционирования, топливной систе-

мы и др. Объемная увязка этих всех элементов позволяет решить вопрос уточнения распределения пространства, дает возможность уточнить КСС и в результате получить модель полного определения фюзеляжа самолета; провести расчет массы, определить погрешность проектирования, спрогнозировать дальнейшие технологические особенности фюзеляжа. Выполняют сравнение полученных характеристик фюзеляжа с заданными. При их несоответствии разрабатывают новые конструктивно-технологические мероприятия, обеспечивающие получение заданных характеристик фюзеляжа.

Создают сборочную модель фюзеляжа. На рис. 17 изображена сборочная модель отсека Ф2 фюзеляжа гражданского самолета.

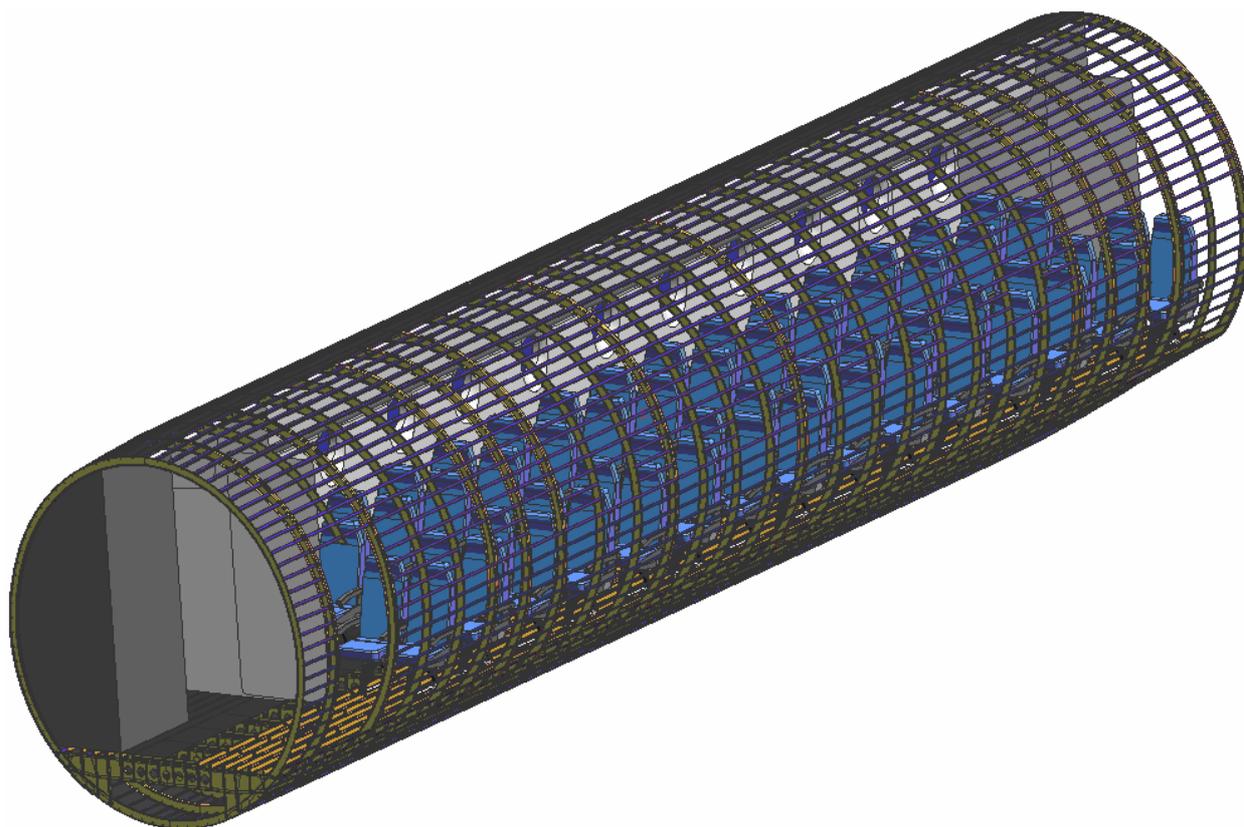


Рис. 17. Сборочная модель отсека Ф2 фюзеляжа гражданского самолета

Разрабатывают конструкторскую, технологическую, сертификационную и эксплуатационную документацию, увязанную со сборочной моделью фюзеляжа. Разрабатывают управляющие программы для станков с ЧПУ. Рассматривают экономические факторы создания и использования фюзеляжа, его ремонтпригодность, документацию по утилизации после эксплуатационного периода.

По полученным аналитическим эталонам компонентов, входящих в систему фюзеляжа, создают аналитические эталоны заготовительно-сборочной оснастки. Проводят планирование рабочих мест, расчет производственных мощностей, необходимых для производства [6].

Выводы. Разработан метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM. Метод апробирован при создании

мастер-геометрии и аналитических эталонов элементов конструкции фюзеляжа гражданского самолета. Этот метод является основой для создания методик разработки конструкторско-технологической документации элементов и сборных узлов самолёта с учётом действующих авиационных правил.

Список литературы

1. Проектирование самолетов: Учебник для вузов / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев и др.; Под ред. С.М. Егера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.
2. Гаража В.В. Конструкция самолётов: Учебник. – К.: КМУГА, 1998. – 524 с.
3. Гребеников А.Г., Железняков Ю.В., Гуменный А.М. Создание поверхностной модели пассажирского самолета в компьютерной интегрированной системе UNIGRAPHCS // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Харьк. авиац. ун-та за 1997 г. – Х.: ХАИ. - 1998. - С. 42 - 48.
4. Проектирование гражданских самолетов: Теории и методы / И.Я. Катырев, М.С. Неймарк, В.М. Шейнин и др.; Под ред. Г.В. Новожилова. – М.: Машиностроение, 1991. – 672 с.
5. Стригунов В.М. Расчёт самолёта на прочность: Учебник для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
6. 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 - 200.
7. Гребеников В.А., Гуменный А.М., Николаенко В.Н., Петров А.Н. Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования крыла пассажирского самолёта с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2005. – Вып. 27. – С. 8 - 30.
8. Основы общего проектирования самолетов с газотурбинными двигателями / Балабуев П.В., Бычков С.А., Гребеников А.Г., Желдоченко В.Н., Кобылянский А.А., Мяслица А.К., Рябков В.И., Цепляева Т.П.: Учеб. пособие.: В 2 ч. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2003. – Ч.1. – 454 с.
9. Основы общего проектирования самолетов с газотурбинными двигателями / Балабуев П.В., Бычков С.А., Гребеников А.Г., Желдоченко В.Н., Кобылянский А.А., Мяслица А.К., Рябков В.И., Цепляева Т.П.: Учеб. пособие.: В 2 ч. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2003. – Ч.2. – 390 с.
10. Матусевич В.И., Бойко Ю.Р. Концепция и планы комплексного решения задач автоматизированного проектирования, технологической подготовки и управления самолетостроительным производством // Технологические системы. – К.: УкрНИИАТ. – 1999. – Вып. 1. – С. 77 – 82.
11. Анализ напряженно-деформируемого состояния авиационных конструкций с помощью системы ANSYS/ А.Г. Гребеников, С.П. Светличный, В.Н. Король, В.Н. Анпилов: Учеб. пособие. Ч.1. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», CADГЕМ GmbH, АНТО «КНК», 2002. – 320 с.

Технические средства обучения человека-оператора техногенного объекта как предмет изучения эргономики

Харьковское государственное авиационное производственное предприятие

Эта работа появилась как следствие размышления о связях эргономики с другими науками о человеке в процессе труда. Классификация наук, вообще говоря, неблагоприятная задача, так как примирить различные мнения специалистов, изучающих один и тот же предмет, но с различных сторон, достаточно трудно, особенно если при этом используются одни и те же методы исследования. Мы рассматриваем эргономику как науку о деятельности человека в условиях, порожденных современных производством. Фактически речь идет о разграничении, классификации научных работ по приспособлению человека-оператора к техногенным объектам.

Изучение человека-оператора и его условий труда в техногенном объекте и приводит к коллизии инженерных психологов и эргономистов. Это происходит потому, что, хотя в инженерной психологии наибольшее значение придается именно познанию психических закономерностей, обуславливающих деятельность человека-оператора, разделить всю совокупность закономерностей, определяющих успешную работу человека-оператора, на психические, антропометрические, гигиенические и т.п. просто невозможно, так как эта совокупность закономерностей имеет прочные, объективно определенные и не зависящие от нашего восприятия связи и условия труда человека-оператора определяются не отдельно взятыми закономерностями, а всей их совокупностью.

Это обстоятельство, влияние не отдельных закономерностей, а всей их совокупности на человека оператора, и приводит к тому, что наиболее успешные результаты получаются при использовании так называемого системного подхода, который в нашем случае и сводится к рассмотрению влияния не отдельных закономерностей, а всей известной совокупности.

Что же является объектом изучения этих наук – охраны труда, инженерной психологии, эргономики? Конечно же, человек труда, условия и мотивы его труда. Но разве экономика не изучает мотивы труда человека, разве конструкторы машин и вообще техногенных систем не изучают, не создают эти условия труда? Разве экономическая мотивация труда не является одной из главных? И как разделить изучение влияния экономической мотивации на условия труда человека-оператора между экономикой, инженерной психологией и эргономикой? Решение вопроса: «Кто в конечном итоге должен изучать те или иные мотивы и условия, и с каких позиций?» и приведет к разрешению возникающих коллизий.

Цель данной работы – разрешение некоторых коллизий эргономики, инженерной психологии, охраны труда, экономики и конструкторско-технологической инженерии в предметах, сторонах изучения и целях.

Вначале определим некоторые понятия, которые используют эргономика и сопутствующие ей науки. К сожалению, дать определения для всех используемых понятий в науке невозможно, так как неизвестное мы определяем через известное. Поэтому дать определения первичным интуитивно ясным понятиям невоз-

можно. Такие первичные интуитивно ясные понятия не определяют, а дают им толкования, примеры, чтобы было ясно, что эти первичные понятия обозначают.

Труд – сознательная деятельность одного человека (или группы людей) по удовлетворению потребностей другого человека (или группы людей). Так как труд в данной работе не рассматривается как экономическая категория, то удовлетворение человеком собственных потребностей также будет отнесено к категории труда.

Техногенная система – система, порожденная техникой (Техно – искусство, мастерство, genes – рожденный). Доменная печь и автомобиль, самолет и гидроэлектростанция, ядерный реактор и станок с ЧПУ, теплоцентраль и баллистическая ракета – все это искусственно созданные, порожденные техникой системы.

Человек-оператор – человек, управляющий техногенной системой или ее частью (водитель автомобиля, сталевар, летчик, космонавт, оператор АЭС и т.д.).

Широко используемый термин *«эргатические системы»* в эргономике мы будем использовать очень ограниченно. Действительно, *«Эргатическая система представляет собой целеустремленную сложную систему, состоящую из человека, орудия деятельности (в частности технические средства труда), предмета деятельности и внутренней (т.е. непосредственно соприкасающейся с названными элементами) среды. Эргатическая система – более широкое понятие, чем система человек-машина»* [1]. *«...Итак, «эргатическая система» – это любая физически целенаправленная система, содержащая в себе человека»* [2].

Но такое определение эргатической системы слишком общо, и не совсем ясно, что обозначают термины «целеустремленная система» и «физически целенаправленная система». И если эргатическая система – любая целеустремленная система, содержащая в себе человека, то пастух со стадом являются эргатической системой, однако такие системы нами не рассматриваются, так как эти системы не порождены техникой. Конечно, можно исследовать использование бича пастухом, звук бича, который возникает при переходе звукового барьера, и замену его звуковым электронным устройством. Однако заниматься таким анализом мы не будем. В эргономике мы рассматриваем условия труда человека в техногенных системах, его взаимоотношения с ними и взаимное сближение требований техногенной системы к человеку-оператору с его человеческими свойствами.

Рассмотрим задачи, которые решают инженерная психология и эргономика. Объект исследования у этих наук один и тот же – человек-оператор, человек труда. Более того, в работе [3] утверждается, что *«Эргономика выступает как интегральная наука о трудовой деятельности, имеющая целью обеспечить эффективность труда путем создания таких конструкций инструментов и машин, таких условий труда, которые являются оптимальными с точки зрения требований различных наук»*, и, кроме, того *«Из сопоставления целей и задач, стоящих перед эргономикой и инженерной психологией, следует, что инженерная психология фактически решает частные задачи эргономики применительно к сложным системам «человек-машина» и может в этом смысле рассматриваться как одна из ее областей»*.

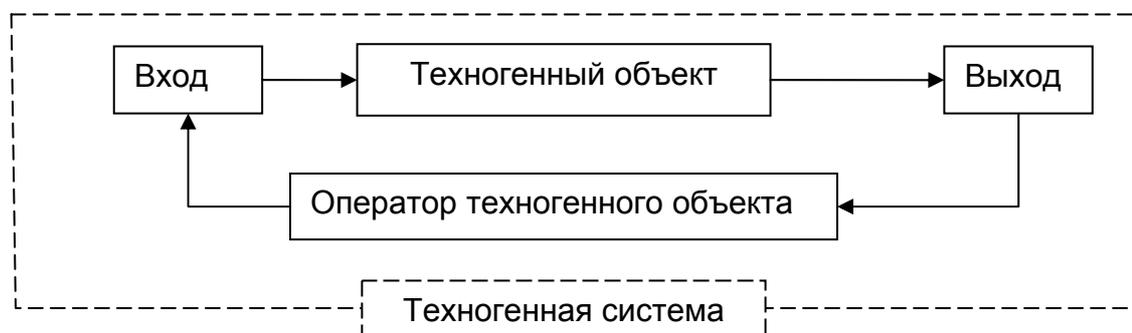
Мы согласны с автором работы [3] в том, что эргономика является наукой о трудовой деятельности, но категорически возражаем против того, что ее цель – создание конструкций инструментов и машин. Создание конструкций инструментов и машин в различных областях техники является достаточно сложной техни-

ческой задачей, причем настолько различной, что специалисты одной области зачастую не понимают специалистов другой. В задачу эргономики входят изучение условий труда человека в техногенной системе и выяснение причин снижения его эффективности, которые будут учитывать специалисты создающие техногенные системы. В противном случае получится, что эргономика станет подменять собой все технические науки.

Рассмотрим задачи эргономики как науки об условиях труда. Объект изучения эргономики – техногенная система, состоящая из техногенного объекта и человека-оператора. В процессе создания техногенной системы практически неявным образом, формируется модель человека-оператора этой системы. Эта модель налагает ограничения на различные свойства человека-оператора, и не только психологические. Но даже психологические особенности человека-оператора подлежат рассмотрению в эргономике и инженерной психологии с разных сторон.

Психика человека-оператора, инструменты и методы измерения психологических свойств, несомненно, – задача инженерной психологии, но измерение этих свойств при определении соответствия человека-оператора техногенной системе, конечно же, – задача эргономики. Аналогичные ситуации возникают при использовании математики в технических науках. Однако всем ясно, что разработка математического аппарата – это задача математика, а приспособление его к задачам техники и использование в ней является задачей инженерной.

Итак, пусть существует некоторая техногенная система, управляемая и эксплуатируемая человеком-оператором. Тогда структура этой техногенной системы может быть отображена схемой, представленной на рисунке.



Структурная схема техногенной системы

Очевидно, что при такой схеме взаимодействия оператора и техногенного объекта для управления последним оператор должен отвечать некоторым требованиям. С какой бы точки зрения мы ни рассматривали человека-оператора техногенного объекта, одна из его функций – управление техногенным объектом и, следовательно, человек-оператор должен отвечать требованиям, накладываемым на систему управления техногенным объектом, роль которой он выполняет. Совокупность этих требований к антропометрическим, психологическим, физиологическим и другим характеристикам оператора и представляет собой его эргономическую модель в модели техногенной системы.

Итак, одной из задач эргономики является построение эргономических моделей операторов техногенных объектов: на начальном этапе – это требования (ограничения) к человеку-оператору, в развитии – это модели движений, принятия решений и т.д.

Конечно же, для определения этих требований необходимо привлечение прикладных методов соответствующих наук, но именно это и является особенностью эргономики. Решение этой задачи требует не только знания свойств техногенного объекта, но и условий взаимодействия его с внешней средой. Собственно, возможность нежелательного влияния техногенного объекта на внешнюю среду в процессе выполнения его функций накладывает на оператора дополнительные требования, которые также являются предметом изучения эргономики. Для определения требований, накладываемых на оператора взаимодействием техногенного объекта и внешней среды, необходимо строить и рассматривать модели их взаимодействия. Конечно же построение модели взаимодействия техногенного объекта и внешней среды является достаточно сложной задачей, явно выходящей за границы эргономики, но та часть модели, которая определяет условия труда и накладывает на оператора дополнительные требования, несомненно, относится к интересам эргономики.

Следовательно, построение моделей взаимодействия техногенного объекта с внешней средой, влияющих на условия труда оператора, также является одной из задач эргономики.

Таким образом построение эргономической модели оператора данного техногенного объекта – довольно сложная задача требующая привлечения приемов и методов различных наук. Конечно же действительность всегда будет опережать имеющиеся модели взаимодействия техногенной системы с внешней средой, и поэтому для успешной работы оператора необходима система корректирующая его знания, умения и навыки.

В результате в область изучения эргономики попадает еще одна задача – создание эргономических основ подготовки и переподготовки операторов техногенных систем, дидактика их обучения.

Следует заметить, что если создание моделей оператора и условий его труда отнесем к прямым задачам эргономики, то разработку моделей и методов подготовки операторов – к обратным задачам эргономики.

В самом деле, модель оператора можно рассматривать как совокупность требований, предъявляемых к условиям его труда. Тогда подготовка оператора, приведение его личных характеристик в соответствие с требованиями условий труда в техногенном объекте будет обратной задачей по отношению к задаче определения условий труда.

Создание и реализация методики подготовки операторов техногенных объектов требует использования в эргономике достижений педагогических, психологических и технических наук. В самом деле, для успешной работы оператора следует выработать у него навыки труда, доведенные до автоматизма. Для этого необходимо поместить оператора в условия труда техногенного объекта, однако стоимость как техногенного объекта, так и часа его работы обычно достаточно велика и использование его в качестве технического средства обучения экономически нецелесообразно. Поэтому для выработки у оператора навыков труда на техногенном объекте широко применяются технические средства обучения в виде различных стендов и тренажеров, которые имитируют его условия труда.

Создание технических средств обучения как область эргономики может развиваться, по крайней мере, двумя путями: имитацией самого техногенного объекта и имитацией психофизиологического воздействия техногенного объекта на человека-оператора. Если созданием имитатора техногенного объекта могут зани-

маться специалисты, создавшие сам техногенный объект, то создание имитатора психофизиологического воздействия техногенного объекта на оператора окажется для них новой задачей, требующей специфических знаний по прикладной психологии, физиологии, педагогики, т.е. по эргономике труда.

Второй путь – имитация психофизиологического воздействия – требует использования прикладной психологии в той ее части которая относится к психофизиологической концепции обучения. Обучение при выработке навыков проявляется в модификации поведения оператора, результатом которой является не установление новых связей «раздражитель – ответ», а преобразование схемы действия сенсомоторного характера и возникновение связи между раздражителем и схемой реакции. Большинство психологических концепций обучения предполагают в качестве естественнонаучной основы теорию условных рефлексов, разработанную И.П. Павловым для сенсорного обучения, и теорию инструментальных условных реакций – для моторного обучения, из чего следует, что одной из главных задач обучения оператора является доведение навыков его работы на техногенном объекте до уровня условных рефлексов [4].

Подготовка оператора техногенного объекта, его квалификация оцениваются, прежде всего, с позиций ее «потребительной стоимости» для общества. Общественное значение деятельности оператора и ее личностный смысл могут расходиться или пересекаться. В зависимости от осознанного личностного смысла деятельности оператор трансформирует цель, определенную перед его обучением и зафиксированную в нормативных документах. Сначала определяются качественные аспекты цели. Оператор выделяет те параметры деятельности, которые представляют для него большой личностный смысл. Выбор этот производится, прежде всего, в пространстве основных параметров эффективности деятельности: производительности, качества и надежности удовлетворения собственных потребностей. Наряду с личностным смыслом трансформация цели в значительной мере определяется степенью взаимовлияния параметров «производительности» и «качества».

Поэтому разработка имитаторов психофизиологического влияния техногенного объекта на оператора должна осуществляться с учетом психики оператора и воздействия на нее окружающей среды.

Таким образом, подводя итоги данного исследования можно определить что следующие задачи – изучение условий труда человека в техногенных системах; построение моделей человека-оператора техногенной системы, создание частных и полных имитаторов техногенных объектов для обучения операторов техногенных объектов, определение личностного портрета человека-оператора и приведение его характеристик и качеств в соответствие с требованиями техногенного объекта – относятся к эргономике.

Список литературы

1. Зараковский Г. М. Закономерности функционирования эргатических систем / Г. М. Зараковский, В. В. Павлов. – М.: Радио и связь, 1987. – 232 с.
2. Павлов В. В. Начала теории эргатических систем. – К.: Наук. думка, 1975. – 240 с.
3. Котик М. А. Курс инженерной психологии. – Таллин: Валгус, 1978. – 364 с.
4. Шадриков В. А. Введение в психологическую теорию профессионального обучения. – Ярославль: ЯПИ, 1978. – 72 с.

Влияние случайных факторов на проектные параметры элементов тонкостенных конструкций

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

Тонкостенные элементы (пластины, стержни, оболочки и т.д.) находят широкое применение в авиастроении, судостроении, машиностроении, в строительных конструкциях. При их проектировании предусматривается, чтобы их несущая способность обеспечивала восприятие без разрушения или без недопустимых деформаций, внешние силовые и тепловые воздействия в течение всего срока эксплуатации. Это условие вследствие случайного характера геометрических размеров, механических свойств их конструкционных материалов, изменчивости эксплуатационных нагрузок может быть выполнено только с определенной вероятностью безотказного функционирования, определяющей их надежность. Оценим влияние случайных факторов на проектные параметры тонкостенных элементов.

Условие безотказного функционирования тонкостенных элементов имеет вид

$$N - S > 0, \quad (1)$$

где N – несущая способность (предельно допустимая нагрузка) элемента;

S – эксплуатационная нагрузка элемента.

В общем случае несущая способность N и эксплуатационная нагрузка S зависят от времени безопасного функционирования элементов и являются случайными процессами. Условие (1) может быть выполнено тогда только с определенной вероятностью, называемой функцией надежности. В первом приближении заменим случайные процессы N и S случайными величинами, которые будем рассматривать как сечения случайного процесса в расчетном случае нагружения элемента. Тогда вероятность выполнения условия (1) примет вид

$$H = P(N - S > 0), \quad (2)$$

где H – надежность (вероятность безотказной работы) элемента.

Формальным сравнением законов распределения случайных величин N и S найдем [1]

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} f_S(x)[1 - F_N(x)]dx = \int_{-\infty}^{\infty} f_N(x)F_S(x)dx, \quad (3)$$

где $f_N(x), f_S(x)$ – плотности распределения случайных величин N и S ;

$F_N(x), F_S(x)$ – функции распределения этих величин.

В случае, когда несущая способность элемента N и эксплуатационная нагрузка S распределены по нормальному закону (нагружение маневренных летательных аппаратов), с использованием зависимости (3) найдем

$$H = \Phi(z), \quad (4)$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2/2} dt$$

где – табличная функция нормативного нормального закона

распределения (интеграл вероятности Гаусса);

$z = (m_N - m_S) / \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_S^2}$ – квантиль нормального распределения, определяющий гауссовский уровень надежности;

m_N, m_S – математические ожидания несущей способности N и эксплуатационной нагрузки S ;

σ_N, σ_S – средние квадратические отклонения случайных величин N и S .

В нормативных проектировочных расчетах уровень надежности обеспечивается нормативным значением коэффициента безопасности (запаса прочности) f_n , определяемым соотношением

$$f_n = N_n / S_n, \quad (5)$$

где N_n – несущая способность элемента конструкции, определяемая по номинальным значениям его геометрических размеров и механических свойств его материала;

S_n – нормируемая эксплуатационная нагрузка.

Из сравнения нормативных и вероятностных проектировочных расчетов вытекает

$$z = \left(f_n \frac{1 + \alpha_N}{1 + \alpha_S} - 1 \right) / \sqrt{\left(f_n \frac{1 + \alpha_N}{1 + \alpha_S} \right)^2 v_N^2 + v_S^2}, \quad (6)$$

где $\alpha_N = (m_N - N_n) / N_n$, $\alpha_S = (m_S - S_n) / S_n$ – коэффициенты асимметрии, характеризующие смещение математических ожиданий несущей способности m_N и нагрузки m_S относительно их номинальных значений N_n и S_n ;

$v_N = \sigma_N / m_N$, $v_S = \sigma_S / m_S$ – коэффициенты вариации случайных величин N и S .

В случае, когда несущая способность элемента N распределена по нормальному закону, эксплуатационная нагрузка S – по закону наибольших значений (нагружение ограничено маневренных летательных аппаратов), зависимость (3) получит вид [5]

$$H = \frac{1}{2,5v_N} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{(x-1)^2}{2v_N^2} - \exp \left[-\frac{1,28}{v_S} \left(0,45v_S + \frac{1+\alpha_N}{1+\alpha_S} f_n x - 0,16 \frac{1+\alpha_N}{1+\alpha_S} f_n x v_S - 1 \right) \right] \right\} dx. \quad (7)$$

Проектные параметры элементов $\alpha_N, \alpha_S, v_N, v_S$ определяются вероятностными характеристиками распределения геометрических размеров элементов вследствие неизбежных технологических допусков, изменчивостью механических свойств их конструкционных материалов и эксплуатационных нагрузок. Оценим влияние на их значения случайных факторов.

Статистические данные распределения эксплуатационных нагрузок летательных аппаратов показывают, что коэффициент асимметрии α_S близок к нулю ($m_S \approx S_n$), коэффициент вариации v_S составляет 7...10% для пилотируемых и достигает 20...25% для беспилотных летательных аппаратов [2].

Анализ статистических данных распределения геометрических размеров тонкостенных элементов подтверждает определяющее влияние изменчивости толщины [3]. По результатам обработки статистических данных распределения толщины листов из алюминиевых и стальных сплавов, прессованных профилей построены обобщающие зависимости коэффициентов асимметрии $\alpha_t = (m_t - t_n) / t_n$ и вариации $v_t = \sigma_t / m_t$ в функции номинальных значений толщины t_n , где m_t, σ_t – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение толщины. Часть из этих зависимостей представлена на рис. 1 для толщин листов из сплавов Д16АМ-1, Д16АТ-2, АМцАМ-3, 30ХГСА-4, для толщин полок прессованного профиля Пр100-4. На этапе проектировочных расчетов значения коэффициентов α_t и v_t в первом приближении можно определить по данным полей технологических допусков на толщины:

$$\alpha_t = (\Delta t_{\text{в}} - \Delta t_{\text{н}}) / 2t_n, \quad v_t = (\Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{н}}) / 3(2t_n - \Delta t_{\text{н}} + \Delta t_{\text{в}}), \quad (8)$$

где $\Delta t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{в}}$ – нижнее и верхнее значения поля допуска относительно номинальной толщины t_n .

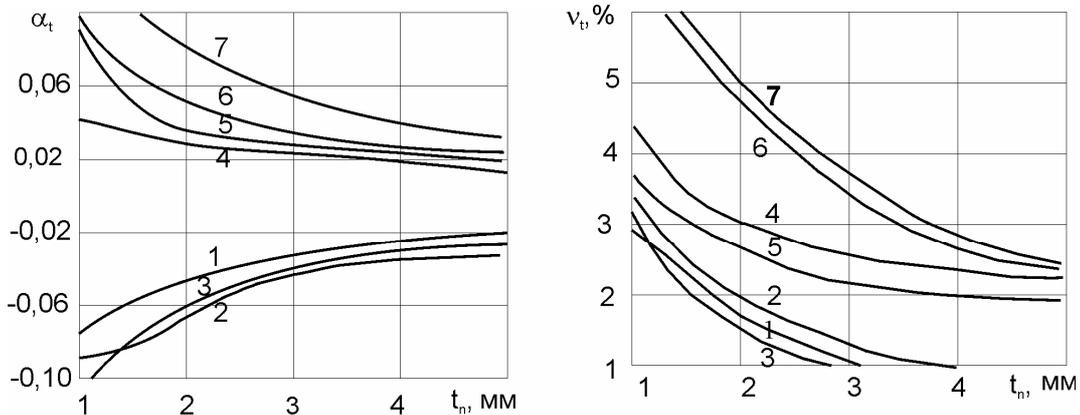


Рис. 1. Конструктивные параметры сортамента и фрезерованных полок

На рис. 1 приведены результаты расчетов коэффициентов асимметрии α_t и вариации v_t по данным полей технологических допусков на толщины фрезерованных полок лонжеронов и стрингеров, определяемых производственными инструкциями одного из авиационных предприятий Ту1-6, Ту2-7.

Анализ результатов, приведенных на рис. 1, показывает, что для малых значений толщин элементов сортамента и изделий наблюдается систематическое смещение математического ожидания m_t относительно номинала t_n , определяемое коэффициентом асимметрии α_t , достигающее $\pm 10\%$, коэффициент вариации v_t составляет 3...6%. С ростом t_n значения коэффициентов α_t и v_t снижаются до $\pm 1...2,5\%$ соответственно при $t_n \geq 5$ мм. Формы распределения толщины удовлетворительно согласуются с нормальным законом.

Статистические данные механических свойств конструкционных материалов широко представлены в литературе [3]. В первом приближении можно воспользоваться следующими данными:

– коэффициент асимметрии предела прочности материала α_{σ_e} для листов из сплава Д16Т составляет 5...6%, для листов из сплава Д16АТН-14,7%, коэффициент вариации V_{σ_e} равен 2,4 и 3,5% соответственно;

– коэффициент асимметрии предела прочности материала листов из сплавов Д16АМ, Д1АТ, Д19, Д20, АМц, АМг, В95А, Ма2, Ма8 толщиной 0,5...2 мм колеблется в пределах 4...10 и более процентов и с ростом толщин листов α_{σ_e} снижается до 3...7%, коэффициент вариации V_{σ_e} равен 2,4...3,5; коэффициент асимметрии предела текучести достигает 4...7% для малых толщин листов и повышается до 12...14% при $t_n > 4$ мм; коэффициент вариации предела текучести составляет 2,5...4,5 и более процентов;

– для прессованных профилей и труб из цветных сплавов $\alpha_{\sigma_e} = 14...28\%$, $V_{\sigma_e} = 3...6\%$;

– для прессованных панелей из сплава В 95Т $\alpha_{\sigma_e} = 15\%$, $V_{\sigma_e} = 3,3\%$;

– для модуля упругости алюминиевых сплавов $\alpha_E \approx 3\%$, $V_E \approx 1\%$.

Проведем оценку влияния случайных факторов на проектные параметры α_N и V_N тонкостенных элементов, определяемые характеристиками их несущей способности. Несущую способность для различных случаев нагружения и разрушения типовых тонкостенных элементов определим по зависимости

$$N = \sigma_{пред} F, \quad (9)$$

где $\sigma_{пред}$ – предельно допустимое напряжение для элемента, разрушение которого недопустимо (предел прочности конструкционного материала σ_e , критические напряжения местной $\sigma_{кр.т}$ или общей $\sigma_{кр.0}$ форм потери устойчивости, предел усталости – σ_{-1} , директивные напряжения – σ_g и т.д.);

$F = \Pi t$ – площадь поперечного сечения тонкостенного элемента;

Π – периметр профиля поперечного сечения элемента;

t – толщина его полок.

Рассмотрим примеры расчетов проектных параметров:

1. Растяжение стержня (стрингера полок лонжерона и нервюр, тяг системы управления и т.д.):

$$\sigma_{пред} = K_o \sigma_e,$$

где K_o – коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений, ослабление поперечного сечения отверстиями под заклепки, при сварке и т.д.

С использованием зависимостей, приведенных в работе [1], и соотношения (9) найдем:

$$N_p = K_o \sigma_e \Pi t; \quad \alpha_{N_p} = (1 + \alpha_{\sigma_e})(1 + \alpha_t) - 1; \quad V_{N_p}^2 = V_{\sigma_e}^2 + V_t^2. \quad (10)$$

2. Сжатие стержня из тонкостенного профиля в случае местной формы потери устойчивости полок (стрингера, лонжерона, нервюр и т.д.):

$$N = 0,9 K E \Pi t^3 / \nu^2; \quad \alpha_{N_{см}} = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_t)^3 - 1; \quad V_{N_{см}}^2 = V_E^2 + 9V_t^2, \quad (11)$$

где K – коэффициент опорных условий полок профиля;

ϵ – ширина полки профиля.

3. Сжатие стержня из тонкостенного профиля в случае общей формы потери устойчивости (стрингера, тяг системы управления, элементов ферменной конструкции и т.д.):

$$N_{CO} = C\pi^2 EI / l^2; \quad \alpha_{N_{CO}} = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_I) - 1; \quad v_{N_{CO}}^2 = v_E^2 + v_I^2, \quad (12)$$

где C – коэффициент опорных условий стержня;

I – осевой момент инерции поперечного сечения стержня;

α_I, v_I – коэффициенты асимметрии и вариации момента инерции профиля.

Приближенно $\alpha_I = \alpha_t, v_I = v_t$. Тогда

$$\alpha_{N_{CO}} = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_t) - 1; \quad v_{N_{CO}}^2 = v_E^2 + v_t^2. \quad (13)$$

4. Устойчивость пластин при сжатии:

$$N_{пл} = 0,9\kappa Et^3 / \epsilon; \quad \alpha_{N_{пл}} = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_t)^3 - 1; \quad v_{N_{пл}}^2 = v_E^2 + 9v_t^2. \quad (14)$$

5. Устойчивость гладких цилиндрических оболочек радиуса R :

$$N_{об} = 2Et^{2,375}(100/R)^{0,375}; \quad \alpha_{N_{об}} = (1 + \alpha_E)(1 + \alpha_t)^{2,375} - 1; \quad v_{N_{об}}^2 = v_E^2 + 5,64v_t^2. \quad (15)$$

6. Прогибы пластин w при поперечном изгибе:

$$\alpha_w = (1 + \alpha_p)/(1 + \alpha_t)^3(1 + \alpha_E) - 1; \quad v_w^2 = v_E^2 + 9v_t^2 + v_p^2, \quad (16)$$

где p – интенсивность поперечной нагрузки пластины;

α_p, v_p – коэффициент асимметрии и вариации интенсивности поперечной нагрузки пластины.

Аналогично могут быть рассмотрены другие случаи деформации тонкостенных элементов. Результаты некоторых расчетов конструктивных проектных параметров элементов α_N и v_N приведены на рис. 2.

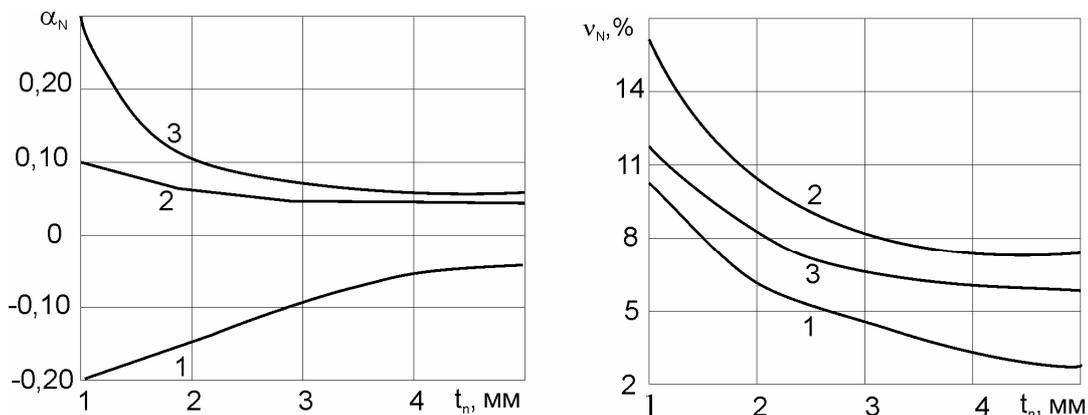


Рис. 2. Проектные параметры элементов

Здесь обозначены: пластины в условиях потери устойчивости при сжатии из сплава Д16АМ-1, сплава 30ХГСА-2; сжатый стержень в условиях местной формы потери устойчивости полок из профиля Пр-100-3. Анализ примеров расчетов показывает существенное влияние случайных факторов на несущую способность тонкостенных элементов и их проектные параметры α_N и v_N .

Соотношения (10) – (16) и им подобные для других случаев нагружения и

разрушения элементов позволяют определить конструктивные параметры α_N и ν_N и по зависимостям (4) – (7) вычислить надежность (вероятность безотказной работы) этих элементов, спроектированных без учета случайных факторов по нормированным значениям коэффициента безопасности (запаса прочности) f_n . На рис. 3 представлены результаты таких расчетов для элементов конструкции маневренных самолетов: пластин в условиях потери устойчивости при сжатии, изготовленных из листов сплава Д16АТ толщиной $t_n = 1$ мм – 1; толщиной $t_n = 2$ мм – 2; из листов сплава 30ХГСА толщиной $t_n = 2$ мм – 3; сжатого стержня в условиях местной формы потери устойчивости полков, изготовленного из профиля Пр-100 толщиной полков $t_n = 2$ мм – 4.

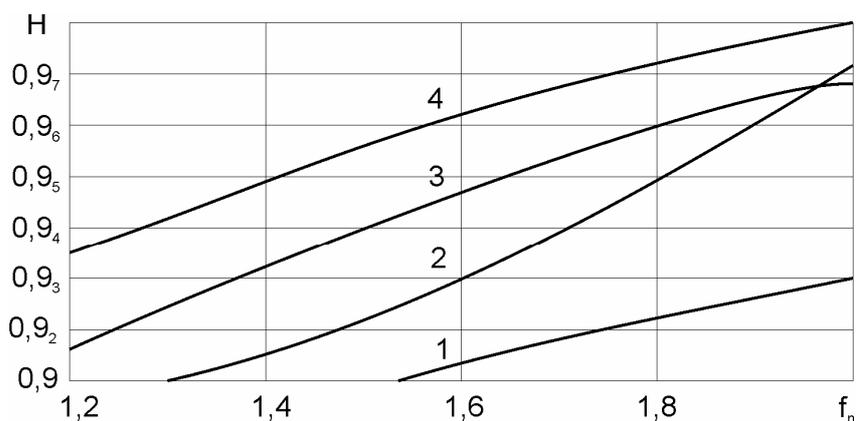


Рис. 3. Надежность элементов конструкции

В расчетах принято $\alpha_S = 0$, $\nu_S = 8\%$, $\alpha_E = 3\%$, $\nu_E = 1\%$. Анализ приведенных примеров показывает, что элементы, спроектированные по нормативным значениям коэффициента безопасности (запаса прочности) f_n , имеют существенно отличающиеся вероятности безотказной работы (надежности). Например, при $f_n = 1,6$ показатели надежности пластин толщиной 1 мм и 2 мм в одинаковых условиях нагружения отличаются на 2 порядка. Решающее влияние здесь оказывает изменчивость толщин элементов вследствие неизбежных технологических допусков. Проектирование элементов конструкций летательных аппаратов по заданной надежности позволит учесть случайные факторы на этапе проектных работ, снизить массу и повысить надежность этих элементов.

Список литературы

1. Малашенко Л.А. Проектирование элементов конструкций летательных аппаратов заданной надежности: Учеб. пособие. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1996. – 96с.
2. Макаревский А.И., Чижов В.М. Основы прочности и аэроупругости летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1982. – 238 с.
3. Кузнецов А.А., Алифанов О.М, Ветров В.И. Вероятностные характеристики прочности авиационных материалов и размеров сортамента: Справочник. – М.: Машиностроение, 1972. – 586 с.
4. Селихов А.Ф., Чижов В.М. Вероятностные методы в расчетах прочности самолета. – М.: Машиностроение, 1987. – 237 с.
5. Стюарт А.В. Методика определения коэффициента безопасности для конструкций, несущая способность которых меняется со временем // Труды ЦАГИ. 1982. Вып. 1876. – С.3 - 12.

Оценка влияния корреляции случайных параметров на вероятность потери устойчивости ракеты-носителя

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

Постановка проблемы

Как показали результаты исследований, проведенных в работе [1], корреляция параметров функции случайного аргумента оказывает существенное влияние на значение вероятности потери работоспособности. При проектировании летательных аппаратов (ЛА) очень важно оценить степень надежности проектируемого объекта с наибольшей точностью, т.е. с учетом корреляционных связей параметров. В настоящей статье приводятся результаты исследований по проектной оценке вероятности устойчивости ракет-носителей (РН) с учетом корреляции параметров.

Объект и цель исследования

Движение статически неустойчивой упругой РН в канале рыскания, устойчивость которой обеспечивается с помощью автомата стабилизации (АС), можно описать следующей системой дифференциальных уравнений [2]:

$$\begin{aligned}
 \ddot{\phi} &= a_{\phi\phi}\phi + a_{\phi\delta}\delta; \\
 \ddot{z} &= a_{z\phi}\phi + a_{z\delta}\delta; \\
 \ddot{q} &= a_{q\delta}\delta + a_{qq}q; \\
 \dot{\phi}_y &= a_{\delta q}q; \\
 \phi_g &= \phi + \phi_y; \\
 T_2\ddot{\delta} + T_1\dot{\delta} + \delta &= K_\phi\phi_g + K_\dot{\phi}\dot{\phi}_g - K_z\dot{z},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где ϕ - отклонение угла рыскания ракеты как твердого тела от программного значения; z - отклонение центра масс от программного значения; δ - угол отклонения управляющих органов; q - координата, характеризующая поперечные упругие колебания корпуса ракеты в месте установки датчика угла рыскания; ϕ_y - дополнительный угол рыскания, возникающий за счет упругого изгиба корпуса ракеты; ϕ_g - угол рыскания, измеряемый датчиком угла; a_{ij} - коэффициенты; T_1, T_2 - постоянные времени АС; K_ϕ - коэффициент усиления по каналу рыскания, $K_{\dot{\phi}} = T_d K_\phi$; T_d - постоянная времени дифференцирования; K_z - коэффициент усиления по скорости отклонения центра масс. Параметры $a_{ij}, T_1, T_2, K_\phi, K_{\dot{\phi}}, T_d$ имеют существенные случайные разбросы. Кроме того, коэффициенты a_{ij} коррелированы.

В качестве условий работоспособности принимаются условия устойчивости системы (1) [2]:

$$\frac{(K_\phi |a_{z\delta}| + |a_{z\phi}|)K_z + a_{\phi\phi}K_\phi(T_d - T_1)}{|a_{\phi\delta}|K_\phi^2(T_d - T_1)} < 1, \quad (2)$$

$$\frac{|a_{\phi\delta}|T_2T_d^2K_\phi}{(T_d - T_1 + a_{\phi\phi}T_dT_2)T_1} < 1, \quad (3)$$

$$\frac{a_{q\delta}a_{\delta q}K_\phi T_d^2T_2}{(|a_{qq}|T_2T_d - T_d + T_1)T_1} < 1. \quad (4)$$

Целями данного исследования являются:

- сравнение двух методов определения статистических характеристик коэффициентов a_{ij} ;
- определение корреляционной матрицы коэффициентов a_{ij} ;
- определение влияния корреляции коэффициентов a_{ij} при расчете вероятности потери устойчивости.

Методика исследования и основные результаты

Эксперимент включает в себя следующие этапы:

1. Определение статистических характеристик коэффициентов a_{ij} двумя методами.
2. Определение корреляционной матрицы коэффициентов a_{ij} .
3. Определение вероятности потери устойчивости ракеты по условию (2) для 70-й секунды полета первой ступени РН «Циклон-3» [2] путем статистического моделирования с учетом и без учета корреляции.

Номинальные значения коэффициентов, взятые для времени полета $t=70$ с., представлены в табл. 1.

Таблица 1

a_{zz}^0	$a_{z\psi}^0$	$a_{z\delta}^0$	$a_{\psi z}^0$	$a_{\psi\psi}^0$	$a_{\psi\delta}^0$
-0,0169	-36,09	-1,441	0,0027	1,8113	-0,295

Определение статистических характеристик коэффициентов

Для определения статистических характеристик коэффициентов a_{ij} используются два метода:

1. С помощью линейной теории определения разбросов этих коэффициентов. В этом случае:

- закон распределения всех коэффициентов – нормальный;
- математическим ожиданием каждого коэффициента m_{ij} является значение этого коэффициента при нулевых разбросах, а следовательно, его номинальное значение;
- среднеквадратичное отклонение σ_{ij} для каждого коэффициента a_{ij} находим по формуле

$$\sigma_{ij} = \frac{\Delta_{ij}}{3}, \quad (5)$$

где Δ_{ij} - разброс коэффициента a_{ij}

Коэффициенты a_{ij} являются функциями, выражающими закон изменения параметров ракеты, например, коэффициент

$$a_{z\psi} = -\frac{P + CqS}{m}$$

Случайные разбросы параметров для определения коэффициентов a_{ij} представлены в табл. 2. Эта информация предоставлена научно-производственным предприятием «Хартрон-Аркас». Величина разброса для каждого параметра в табл. 2 соответствует 3σ , σ – среднеквадратичное отклонение.

Таблица 2

Наименование параметра	Обозначение параметра	Величина разброса, %
Масса	m	±5
Момент инерции	J	±15
Координата x_α	x_α	±1,25
Центр давления	x_c	±5
Плотность атмосферы	ρ	±15
Градиент подъемной силы	C	±20
Тяга	P	±10
Тяга рулевого двигателя	R	±10

Разбросы коэффициентов a_{ij} определим по формуле

$$\Delta_{ij} = \sqrt{\sum \Delta_k^2}, \quad k=1..n, \quad (6)$$

где Δ_k – отклонения величины коэффициента a_{ij} от его номинального значения при отклонении k-го параметра на величину 3σ ; n - количество параметров для определения коэффициента a_{ij} , имеющих случайные разбросы. Отклонения

$$\Delta_k = a_{ij}(\delta_k) - a_{ij}^0,$$

где a_{ij}^0 - номинальное значение коэффициента; $a_{ij}(\delta_k)$ - значение коэффициента с разбросом.

Например, разброс коэффициента $a_{z\delta}$ такой:

$$\begin{aligned}\Delta_{z\delta} &= \sqrt{\Delta_R^2 + \Delta_m^2}; \\ \Delta_R &= a_{z\delta}(\delta_R) - a_{z\delta}^0 = a_{z\delta} \cdot (1 + \Delta R) - a_{z\delta}^0; \\ \Delta_m &= a_{z\delta}(\delta_m) - a_{z\delta}^0 = a_{z\delta} \cdot (1 + \Delta m) - a_{z\delta}^0; \\ \Delta R, \Delta m &- \text{отклонения параметров } R \text{ и } m; \\ \Delta_R &= -1,441 \cdot (1 + 0,1) + 1,441 = -0.1441; \\ \Delta_m &= -1,441 \cdot (1 + 0,05) + 1,441 = 0.06862; \\ \Delta_{z\delta} &= \sqrt{(-0.1441)^2 + (0.06862)^2} \approx 0.1596.\end{aligned}$$

Аналогично определяются разбросы остальных коэффициентов.

2. С использованием статистического моделирования.

В этом случае коэффициенты a_{ij} удобно представить в следующем виде [3]:

$$\begin{aligned}a_{z\psi} &= -\frac{P + CqS}{m} = a_{z\psi}^0 \cdot \delta a_{z\psi} = \left(-\frac{P}{m}\right)^0 \cdot \frac{(1 + \Delta P)}{(1 + \Delta m)} + \left(-\frac{CqS}{m}\right)^0 \cdot \frac{(1 + \Delta C)(1 + \Delta q)}{(1 + \Delta m)}; \\ a_{z\delta} &= -\frac{n \cdot R}{m} = a_{z\delta}^0 \cdot \frac{(1 + \Delta R)}{(1 + \Delta m)}; \\ a_{\psi\psi} &= -\frac{CqS(x_\alpha - x_c)}{J} = a_{\psi\psi}^0 \cdot \frac{(1 + \Delta C)(1 + \Delta q)(1 + \delta x)}{(1 + \Delta J)} \quad (\delta x = x_\alpha - x_c); \\ a_{\psi\delta} &= -\frac{nR(1 - x_c)}{J} = a_{\psi\delta}^0 \cdot \frac{(1 + \Delta R)(1 + \Delta x_c)}{(1 + \Delta J)},\end{aligned}$$

где C - градиент подъемной силы; q - скоростной напор; S - площадь поперечного сечения; m - масса; V - продольная скорость; Δpar_k - отклонение параметра par_k ; $a_{z\delta}^0$, $a_{\psi\psi}^0$ и $a_{\psi\delta}^0$ - номинальные значения коэффициентов $a_{z\delta}$, $a_{\psi\psi}$ и $a_{\psi\delta}$; $(*)^0$ - номинальное значение величины в скобках.

Отклонение $\Delta \delta x$ рассчитываем с учетом формулы (6):

$$\Delta \delta x = \sqrt{\Delta x_\alpha^2 + \Delta x_c^2} = 5,2 (\%).$$

Значение отклонения Δq находим из формулы расчета скоростного напора:

$$q = \frac{\rho V^2}{2}. \text{ С учетом формулы (6) получим}$$

$$\Delta q = \sqrt{\Delta \rho^2 + \Delta V^2} = 18,7 (\%).$$

Аналогичным образом определяем ΔV :

$$V = \frac{P}{m}, \quad \Delta V = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta m^2} = 11,2 (\%).$$

После представления коэффициентов a_{ij} вышеизложенным способом, проведено статистическое моделирование объемом $N=100000$. По полученному статистическому материалу определены основные статистические характеристики коэффициентов a_{ij} [3]:

- математическое ожидание $m_{ij}^c = \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij}}{N}$;
- дисперсия $D_{ij}^c = \frac{\sum_{i=1}^N (a_{ij} - m_{ij}^c)^2}{N}$;
- среднеквадратичное отклонение $\sigma_{ij}^c = \sqrt{D_{ij}^c}$.

Для определения дисперсии допускаем смещенную оценку, принимая во внимание то, что объем моделирования достаточно большой.

Значения статистических характеристик коэффициентов a_{ij} , полученные с применением двух вышеперечисленных методов, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	a_{zz}^0	$a_{z\psi}^0$	$a_{z\delta}^0$	$a_{\psi z}^0$	$a_{\psi\psi}^0$	$a_{\psi\delta}^0$
m_{ij}	-0,0169	-36,09	-1,441	0,0027	1,8113	-0,295
m_{ij}^c	-0,0168	-36,067	-1,4411	0,00271	1,8196	-0,29569
D_{ij}	2,77E-06	2,08	0,00283	8,49E-08	0,03451	0,000285
D_{ij}^c	2,89E-06	2,1316	0,00288	9,38E-08	0,03725	0,000341
σ_{ij}	0,001665	1,442245	0,053201	0,000291	0,185769	0,016893
σ_{ij}^c	0,001712	1,46211	0,053685	0,000306	0,093232	0,018467

Определение корреляционной матрицы коэффициентов a_{ij}

По результатам статистического моделирования построена корреляционная матрица для коэффициентов a_{ij} . Коэффициенты корреляции двух величин определяем по следующей формуле [3]:

$$K_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m_x)(y_i - m_y)}{N \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y},$$

где N – размерность x и y ; m_x - математическое ожидание величины x ; m_y - математическое ожидание величины y ; σ_x и σ_y - соответственно среднеквадратичные отклонения величин x и y .

Проведено четыре эксперимента, по которым определена «средняя» нормированная корреляционная матрица для коэффициентов a_{ij} , представленная в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициент	$a_{z\psi}$	$a_{z\delta}$	$a_{\psi\psi}$	$a_{\psi\delta}$
$a_{z\psi}$	1	0,20666	-0,597888	0,0215309
$a_{z\delta}$	0,20666	1	-0,019833	0,484474
$a_{\psi\psi}$	-0,597888	-0,019833	1	-0,430369
$a_{\psi\delta}$	0,0215309	0,484474	-0,430369	1

Определение вероятности потери устойчивости

Определение вероятности потери устойчивости РН по условию (2) состоит из следующих шагов:

1. Определение вероятности потери устойчивости с помощью статистического моделирования без учета корреляции.

Случайные разбросы параметров для условия (2), не указанных в табл. 2, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Обозначение параметра	Величина	Размерность	Разброс %
K_ϕ	14	-	30
K_z	0,009	рад.м ⁻¹	50
T_d	0,5	с	20
T_1	0,1108	с	40
$a_{z\delta}$	-1,441	мс ⁻²	20
$a_{z\psi}$	-36,09	мс ⁻²	10
$a_{\psi\psi}$	1,8113	с ⁻²	50
$a_{\psi\delta}$	-0,295	с ⁻²	20

Схема моделирования без учета корреляции приведена на рис. 1. На этом рисунке функциями случайного аргумента (ФСА) являются коэффициенты a_{ij} .

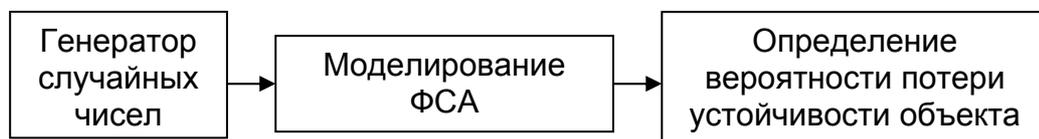


Рис. 1

2. Определение вероятности потери устойчивости с помощью статистического моделирования с учетом корреляции [1].

В условии (2) корреляцией связаны коэффициенты a_{ij} , поэтому в нормированной корреляционной матрице для этого условия ненулевыми

элементами являются коэффициенты корреляции a_{ij} . Нормированная корреляционная матрица коэффициентов a_{ij} представлена в табл. 4.

Схема моделирования с учетом корреляции приведена на рис. 2. На этом и следующем рисунках функцией случайного аргумента (ФСА) является критериальная функция (КФ).

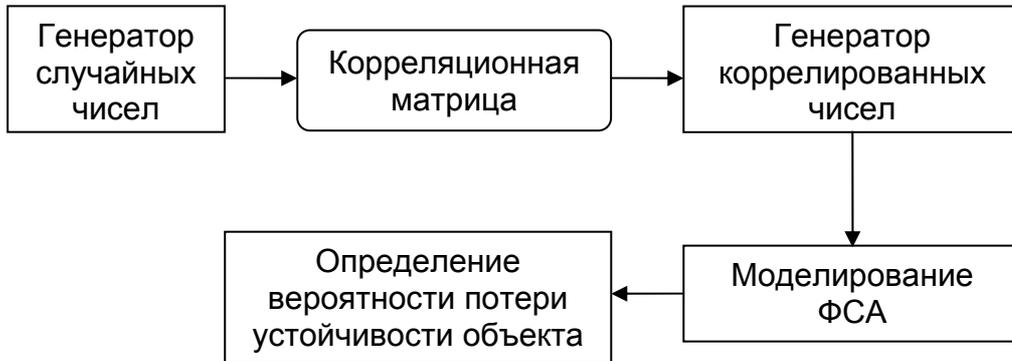


Рис. 2

3. Определение вероятности потери устойчивости с помощью статистического моделирования с предварительным моделированием значений коэффициентов a_{ij} и подстановкой этих значений в условие (2).

Такой способ даст наиболее точный результат. Схема моделирования для этого способа представлена на рис. 3.

Для всех трех шагов определения вероятности потери устойчивости РН по условию (2) проведено статистическое моделирование исследуемой КФ объемом $N=50000000$ и вычислена вероятность потери работоспособности исследуемого

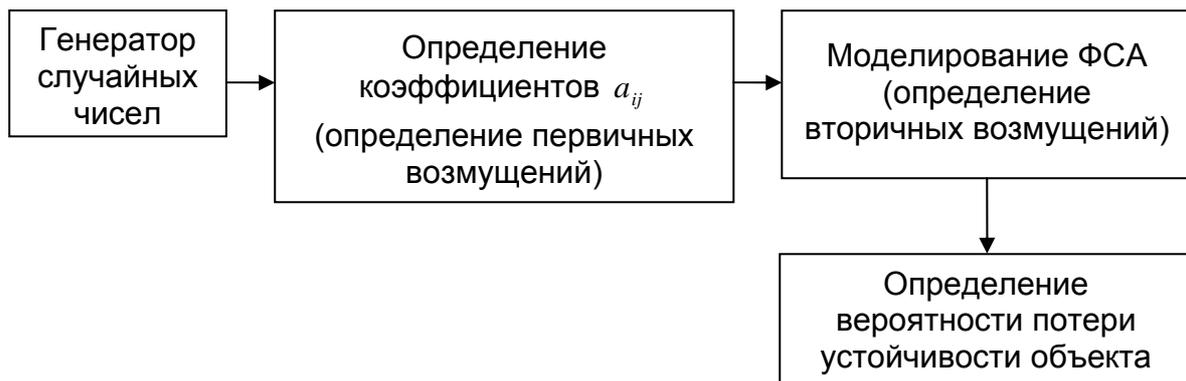


Рис. 3

объекта Q^* по формуле $Q^* = \frac{N_{\Lambda}}{N}$, где N - объем статистического моделирования; N_{Λ} - число реализаций КФ, превысивших в процессе статистического моделирования границу устойчивости [4].

Средние значения реализаций КФ, превысивших границу работоспособности N_{Λ} и вероятности потери устойчивости исследуемого объекта Q^* , полученные на третьем этапе эксперимента, представлены в табл. 6.

Таблица 6

Способ моделирования	Среднее значение N_{Λ}	Среднее значение Q^*
с генерацией коэффициентов a_{ij}	59	1,18E-06
без учета корреляции	115,5	2,31E-06
с учетом корреляции	99,5	1,99E-06

Выводы

1. Полученные методом статистического моделирования статистические характеристики коэффициентов a_{ij} хорошо совпадают с расчетными значениями, следовательно, линейная теория определения разбросов коэффициентов a_{ij} приемлема для получения результатов с достаточной для инженерных целей точностью.
2. Результаты исследований показали, что расчет вероятности потери устойчивости без учета корреляционных связей коэффициентов a_{ij} дает оценку «в запас».
3. Значение вероятности потери устойчивости РН, полученное с предварительным моделированием первичных возмущений, дает наиболее точный результат по сравнению с результатом, полученным при прямом расчете вторичных возмущений. Учет корреляции параметров КФ позволяет получить значение вероятности потери устойчивости системы, более близкое к точному результату.

Список литературы

1. Сухоребрый В.Г., Никифорова М.И. Оценка влияния корреляции на хвосты распределений функций случайных аргументов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: НАКУ «ХАИ». – 2005. – Вып. 29. - С. 92 - 97.
2. Игдалов И.М., Кучма Л.Д., Поляков Н.В., Шептун Ю.Д. Ракета как объект управления: Учебник /Под ред. акад. С.Н. Конюхова. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2004. – 544 с.
3. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования. – М.: Наука, 1976. – 319 с.
4. Сухоребрый В. Г. Вероятностные методы проектирования технических объектов. – Х: ХАИ, 1990. – 103 с.

Нечеткий дедуктивный вывод в системе квантов знаний для поддержки принятия решений при планировании учебного процесса

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

Введение

Возрастающая ответственность диспетчера за выбор и принятие тех или иных решений по управлению учебным процессом требуют проведения исследований в направлении разработки новых способов и приемов, обеспечивающих организацию учебного процесса на современном уровне. Одним из направлений повышения эффективности управления учебным процессом является создание систем, позволяющих передать ЭВМ функции обработки поступающей к диспетчеру информации и выдачу рекомендаций по управлению учебным процессом, в частности синтеза учебных расписаний. Это требует создания методов и средств формирования соответствующих моделей среды управления учебным процессом, объекта управления, текущих ситуаций, классификации ситуаций, порождения решений по управлению, обучению способам принятия решений с учётом возрастающей сложности синтеза расписания.

По мере того, как зависимость расписания от различных ситуации всё более усложняется, использование точных алгоритмов синтеза расписаний становится сначала малоэффективным, а затем и вовсе невозможным из-за проблемы размерности [1]. В таких случаях решение задачи состоит в разработке модели управления процессом синтеза расписаний занятий и стратегии поиска управляющих решений на этой модели. При этом модель – это система фактов, утверждений для данного объекта управления, на основе которой формируется процесс принятия решений в конкретной ситуации. Это, по существу, то, что диспетчер знает о процессе синтеза учебных расписаний.

Задача синтеза расписаний заключается в планировании занятий, состоящем в определении последовательности проведения занятия в течение некоторого периода времени.

Таким образом, основными блоками, входящими в состав модели управления учебным процессом, являются блок модели знаний о синтезе расписания занятий и блок принятия решений, в нашем случае – блок нечеткого логического вывода.

Модель знаний включает в себя как модель знаний о предметной области, так и модель знаний о среде.

Блок принятия решений содержит механизмы порождения решений, т.е. процедуры нечёткого логического вывода.

Постановка проблемы

При разработке интеллектуальных систем знания о конкретной предметной области редко бывают полными и абсолютно достоверными. Информация, которой заполняются экспертные системы, получается путем опроса экспертов, мнения которых субъективны и могут быть различными. Наряду с количественной

информацией в базах знаний интеллектуальных систем хранятся качественные показатели, эвристические правила и т.д. При обработке знаний с применением жестких механизмов формальной логики возникает противоречие между нечеткими знаниями и четкими методами логического вывода. Одним из способов разрешения данного противоречия служит использование или разработка специальных методов представления и обработки нечетких знаний [2].

Анализ исследований и публикаций

Наиболее поразительным свойством человеческого интеллекта является способность принимать решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Построение моделей приближенных рассуждений человека и использование их в компьютерных системах будущих поколений представляет сейчас одну из важнейших проблем науки.

Математическая теория нечетких множеств (fuzzy sets) и нечеткая логика (fuzzy logic) – это обобщения классической теории множеств и классической формальной логики. Данные понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) в 1965 г. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем и объектов.

Характеристикой нечеткого множества выступает функция принадлежности (Membership Function). Обозначим через $MF_C(x)$ степень принадлежности к нечеткому множеству C , представляющую собой обобщение понятия характеристической функции обычного множества. Тогда нечетким множеством C называется множество упорядоченных пар вида $C = \{MF_C(x)/x\}$, $MF_C(x) \in [0,1]$. Значение $MF_C(x) = 0$ означает отсутствие принадлежности к множеству, а $MF_C(x) = 1$ – полную принадлежность [3].

Для нечетких множеств, как и для обычных, определены основные логические операции. Самыми основными, необходимыми для расчетов, являются пересечение и объединение. Пересечение двух нечетких множеств (нечеткое "И") – $A \cap B: MF_{AB}(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x))$, а объединение двух нечетких множеств (нечеткое "ИЛИ") – $A \cup B: MF_{AB}(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x))$.

Нечеткая переменная описывается набором (N, X, A) , где N – это название переменной; X – универсальное множество (область рассуждений); A – нечеткое множество на X . Значениями лингвистической переменной могут быть нечеткие переменные, т.е. лингвистическая переменная находится на более высоком уровне, чем нечеткая переменная. Каждая лингвистическая переменная содержит:

- название;
- множество своих значений, которое также называется базовым термножеством T , элементы которого представляют собой названия нечетких переменных;
- универсальное множество X ;
- синтаксическое правило G , по которому генерируются новые термы с применением слов естественного или формального языка;
- семантическое правило P , которое каждому значению лингвистической переменной ставит в соответствие нечеткое подмножество множества X .

Существует свыше десятка типовых форм кривых для задания функций принадлежности. Наибольшее распространение получили треугольная, трапецеидальная и гауссова функции принадлежности.

Треугольная функция принадлежности определяется тройкой чисел (a, b, c), и ее значение в точке x вычисляется согласно выражению [3]

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & \text{при } a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-c}{c-b}, & \text{при } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Функция принадлежности гауссова типа описывается формулой [3]

$$MF(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2\right].$$

Одним из основных методов представления знаний в экспертных системах являются продукционные правила, позволяющие приблизиться к стилю мышления человека. Любое правило продукций состоит из посылок и заключения. Возможно наличие нескольких посылок в правиле, и тогда они объединяются посредством логических связок И, ИЛИ. Обычно продукционное правило записывается в виде: «ЕСЛИ (посылка) (связка) (посылка)... (посылка) ТО (заключение)».

Главным недостатком продукционных систем остается то, что для их функционирования требуется наличие полной информации о системе.

Нечеткие системы тоже основаны на правилах продукционного типа, однако в качестве посылки и заключения в правиле используются лингвистические переменные, что позволяет избежать ограничений, присущих классическим продукционным правилам.

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. При этом должны соблюдаться следующие условия:

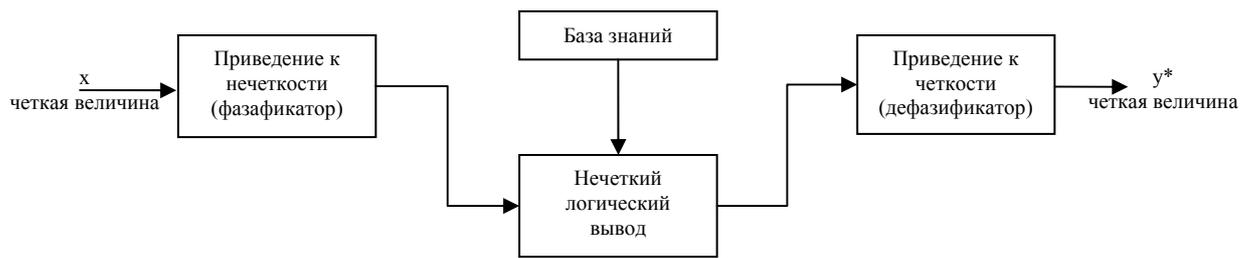
- существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина выходной переменной;
- для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки (левая часть правила).

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной y^* на основе заданных четких значений $x_k, k = \overline{(1..n)}$.

В общем случае механизм логического вывода включает четыре этапа: введение нечеткости (фазификация), нечеткий вывод, композиция и приведение к четкости (дефазификация).

Алгоритмы нечеткого вывода различаются главным образом видом используемых правил, логических операций и разновидностью метода дефазификации. Разработаны модели нечеткого вывода Мамдани, Сугено, Ларсена, Цукамото [3].

Для представления нечетких знаний и манипулирования целесообразно воспользоваться методами инженерии квантов знаний [4]. Это позволит представлять и манипулировать знаниями как векторно-матричными структурами.



Система нечеткого логического вывода

Идея инженерии квантов знаний состоит в использовании новых моделей и методов обработки квантовых структур знаний, которые допускают множественное, векторно-матричное и аналитическое представление, манипулирование ими посредством машинных алгебр и логический вывод искомым решением.

Методология инженерии квантов знаний (ИКЗ) основывается на применении разработанного системного метода разноуровневых алгоритмических квантов знаний (□РАКЗ-метода) [4].

Системный символ $\square \{t, \square, v, \dots\}$ указывает на широкую возможность модификаций **РАКЗ-методов** в зависимости от *условий* неопределённости и *видов* используемых квантов знаний: *t* (*точных*), \square (*приближённых*), *v* (*вероятностных*). Кванты знаний могут иметь различный уровень структурной сложности (0-й, 1-й, 2-й и т.д.) и называются разноуровневыми \square -знаниями. Посредством **□РАКЗ-метода** реализуются **автоматическое квантование** разнотипных данных и **единообразная формализация** разноуровневых \square -знаний о предметной области, *индуктивный* поиск импликативных, функциональных закономерностей в форме \square -знаний и синтез базы \square -знаний (**БкЗ**), а также *дедуктивный* процесс вывода искомым решением как новых \square -знаний.

Для квантового подхода характерна строгая формализация используемых знаний в классе M содержательных алгоритмических структур 3-х различных уровней сложности. Именно класс M составляют все \square РАКЗ-модели под названием разноуровневых квантов знаний, которые образуются алгоритмически из терминальных структур посредством операторов суперпозиции и конкатенации. Благодаря такой структуризации кванты знаний как порции информации представляются \square РАКЗ-моделями в множественной, предикатно-аналитической и векторно-матричной формах. Это обеспечивает машинное манипулирование знаниями средствами алгебр конечных предикатов и алгоритмических операторов индуктивного вывода (для синтеза базы знаний при обучении), а также дедуктивного и традуктивного выводов квантов знаний (для получения решений). Квантование информации о предметной области и объектах принятия решений (ОПР) осуществляется автоматически, а величина используемых уровней \square -знаний зависит от сложности задач и данных [4].

Выделение не решённых ранее частей

В рамках теории инженерии квантов знаний, разработанной профессором И. Б. Сироджей, для представления приближённых знаний о предметной области используются \square -кванты знаний. Однако из работы [4] следует, что показатель

достоверности, используемый в модели □-квантов знаний, есть не что иное, как приближенная оценка вероятности наступления события и никоим образом не может характеризовать нечеткость. Следовательно, для учета нечетких знаний необходимо разработать на основе инженерии квантов знаний новую модель представления и манипулирования нечеткими знаниями.

Формулировка целей статьи

Цель статьи – разработка механизма нечеткого логического вывода (DED^φ) на основе РАКЗ–модели представления знаний в инженерии квантов знаний, позволяющего расширить сферу применения инженерии квантов знаний на область нечетких рассуждений для поддержки принятия решений.

Изложение материала

Руководствуясь методологией представления и конструирования знаний методами инженерии квантов знаний [4], получим, что нечеткий векторный φ -квант 1-го уровня имеет следующий вид $\varphi k_1 y = [\alpha_1^{(1)} | \psi_{X^{(1)}}[\alpha_1^{(1)}], \dots, \alpha_{\rho_1}^{(1)} | \psi_{X^{(1)}}[\alpha_{\rho_1}^{(1)}] : \dots : \alpha_1^{(n)} | \psi_{X^{(n)}}[\alpha_1^{(n)}], \dots, \alpha_{\rho_n}^{(n)} | \psi_{X^{(n)}}[\alpha_{\rho_n}^{(n)}]]$, где $\psi_{X^{(j)}} \rightarrow [0, 1]$ - коэффициент уверенности $X^{(j)}$.

Выбирающий φ -квант знаний 0-го уровня примет вид $\varphi k_0 a = V_k^\varphi [[\alpha_1 | \psi_A[\alpha_1], \dots, \alpha_\rho | \psi_A[\alpha_\rho]] = [\alpha_k | \psi_A[\alpha_k]]$ с семантикой: «из совокупности наблюдаемых нечетких значений признаков выбрано значение a_k с коэффициентом уверенности $\psi_A[a_k]$ ».

Характеристический φ -квант 1-го уровня примет вид $\varphi k_1 \beta = X_{Y^{(j)}}(a_k^{(j)} | \psi_{Y^{(j)}}[a_k^{(j)}]) = \begin{cases} 1, \text{ если } (a_k^{(j)} | \psi_{Y^{(j)}}[a_k^{(j)}]) \in Y^{(j)} \\ 0, \text{ если } (a_k^{(j)} | \psi_{Y^{(j)}}[a_k^{(j)}]) \notin Y^{(j)} \end{cases}$ с семантикой: «значение $a_k^{(j)}$ j-й характеристики ОПР в данный момент наблюдается с коэффициентом уверенности $\psi_{Y^{(j)}}[a_k^{(j)}]$, если значение характеристической функции – $X_{Y^{(j)}} = 1$, и не наблюдается, если $X_{Y^{(j)}} = 0$ ».

Векторный, выбирающий и характеристический кванты образуют множество K_φ терминальных квантов знаний:

$$K_\varphi = \{\varphi k_1 y, \varphi k_0 a, \varphi k_1 \beta\}$$

Однако введенных в работе [4] терминальных квантов недостаточно для манипулирования нечеткими квантами знаний. Дополним множество терминальных φ -квантов K_φ дополнительными терминальными квантами фазификации $\varphi k_0 \theta = \Phi_{X^{(j)}}(x)$ и дефазификации $\varphi k_1 \bar{\theta} = \bar{\Phi}_{X^{(j)}}(a_k^{(j)})$.

Таким образом, множество терминальных квантов знаний примет вид

$$K_\varphi = \{\varphi k_1 y, \varphi k_0 a, \varphi k_1 \beta, \varphi k_0 \theta, \varphi k_1 \bar{\theta}\}$$

Согласно работе [4], общая методика алгоритмического решения базовых B_φ - и C_φ -задач сводится к реализации IND- и DED-операторов.

Формально решение B_φ -задачи заключается в получении целевых φ -знаний $\varphi k_s R_\square B$ посредством DED-оператора в виде

$$\begin{aligned} \varphi k_s R_\square B &= DED(B\varphi k_3(B_\varphi), \varphi k_1 Y_\square B; AL(B_\varphi), \varphi ALUПР; \varphi k_s R_\square B) \\ &= B\varphi k_3(B_\varphi) \frac{DED}{\varphi k_1 Y_{\omega B}, \varphi k_0 \theta, \varphi k_1 \bar{\theta}, AL(B_\varphi), \varphi ALUПР}, \end{aligned}$$

а решение C_φ -задачи состоит в выводе целевых φ -знаний $\varphi k_s R_\square C$ посредством DED-оператора в виде

$$\begin{aligned} \varphi k_s R_{\square} C &= \text{DED}(\text{БфкЗ}(C_{\varphi}), \varphi k_1 Y_{\square} C; \text{АЛ}(C_{\varphi}), \varphi \text{АЛУПР}; \varphi k_s R_{\square} C) = \\ &= \text{БфкЗ}(C_{\varphi}) \frac{\text{DED}}{\varphi k_1 Y_{\omega C}, \varphi k_0 \theta, \varphi k_1 \bar{\theta}; \text{АЛ}(C_{\varphi}), \varphi \text{АЛУПР}}. \end{aligned}$$

Поскольку правила заложенные в БфкЗ, основываются исключительно на человеческом опыте, то с полной уверенностью никогда нельзя сказать, что они верны. Пользователь экспертной системы также не может быть полностью уверен, что значения, которые он присваивает переменным, полностью верны. Значение коэффициента уверенности менее 0,5 показывает степень уверенности, что правило неверно, а больше 0,5 – что правило верно. Таким образом, коэффициент уверенности, равный 1, указывает на полную уверенность, что правило верно, а 0 – на полную уверенность, что правило некорректно. Согласно работе [5], методика расчета, с учетом РАКЗ-модели представления знаний, коэффициента уверенности может быть следующей:

- 1) в каждом домене кванта выбрать максимальный коэффициент уверенности;
- 2) среди выбранных максимальных коэффициентов уверенности выбрать минимальный коэффициент;
- 3) умножить выбранный коэффициент уверенности на коэффициент уверенности правила.

Следовательно, расчет коэффициента уверенности для правила осуществляем по следующей формуле:

$$\psi(\rightarrow) = \text{MIN}(\text{MAX}(\psi_{X^{(1)}}[\alpha_1^{(1)}], \dots, \psi_{X^{(1)}}[\alpha_{\rho_1}^{(1)}]), \dots, \text{MAX}(\psi_{X^{(n)}}[\alpha_1^{(n)}], \dots, \psi_{X^{(n)}}[\alpha_{\rho_n}^{(n)}])) * \psi(\varphi k_1 Y).$$

Выводы

Представлен механизм нечеткого логического вывода на основе РАКЗ-модели представления знаний для поддержки принятия решений. Введены вспомогательные терминальные кванты $\varphi k_0 \theta, \varphi k_1 \bar{\theta}$ для синтеза нечетких рассуждений. Предложена формула расчета коэффициента уверенности вывода. Практическое значение работы состоит в том, что разработанные модели нечеткого дедуктивного вывода на основе РАКЗ-модели представления и манипулирования знаниями представляют собой методологическую основу для создания знаниеориентированных систем поддержки принятия решений целевого назначения.

Список литературы

1. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений.–М.: Наука. Гл. ред. физ.–мат. лит., 1988. – 384 с.
2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы: Учебник. - М.: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
3. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети - Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. - 320 с.
4. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. -К.: Наук. думка, 2002.- 328 с.
5. Левин Р., Драг Д., Эделсон Б. Практическое введение в технологию искусственного интеллекта и экспертных систем с иллюстрациями на Бейсике: Пер с англ. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 239 с.

Модель обучения нечеткой базы квантов знаний для поддержки принятия решений в условиях φ-неопределенности

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

Постановка проблемы в общем виде

В реальном мире большинство существующих знаний нечетко, т.е. знания неясны, неопределенны, неоднозначны, неточны или носят вероятностный характер. Мышление человека, его рассуждения часто используют нечеткую информацию.

Концепция нечеткого множества зародилась у Заде “как неудовлетворенность математическими методами классической теории систем, которая вынуждала добиваться искусственной точности, неуместной во многих системах реального мира, особенно в так называемых гуманистических системах, включающих людей” [1]. Понятие нечеткого множества - это попытка математической формализации нечеткой информации для построения математических моделей.

Другими словами, с помощью естественно-языковых высказываний-правил “Если - то”, с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколько угодно точно отразить произвольную взаимосвязь “входы – выход” без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчисления, традиционно применяемого в управлении и идентификации [2].

Анализ исследований и публикаций

Формирование образов на основе впечатлений, интуитивное “схватывание” и последующее обращение к аналитико-синтетическому подходу – это взаимодополняющие механизмы принятия решений, последовательность которых носит относительно случайный характер. Рассмотрим функции интуитивного “мышления” эксперта. Интуиция, которая характеризуется выраженной эвристикой, может:

- а) непосредственно приводить к решению задачи;
- б) служить ориентиром в направлении поиска, реализуемого затем на основе логических процедур;
- в) являться пусковым механизмом для решения задачи на основе образных представлений или последовательного включения образного мышления и аргументационных соображений.

Моделирование мышления эксперта удобно осуществлять с помощью моделей и методов **инженерии квантов знаний (ИКЗ)**. Инженерия квантов знаний для создания *баз знаний* и *компьютерной поддержки решений*, развиваемая на основе алгоритмического структурирования разнотипной информации осмысленными порциями – квантами знаний, была разработана профессором И.Б. Сироджей и изложена в работе [3].

В зависимости от конкретных условий неопределенности для решения задач принятия идентификационных и прогнозных решений используются соответствующие квантовые структуры инженерии квантов знаний. В работе [3] введены такие ограничения α -, β -, λ - неопределённости:

1. Данные об объекте принятия решений (ОПР) разнотипны (т.е., измерены как в количественных, так и в качественных шкалах) и достижимы в *неполных объёмах* из различных источников (эксперты, техническая документация, справочники, измерения приборов и т.д.).

2. Информация об ОПР и предметной области *неполная, нечёткая и/или вероятностная*.

3. Преобладает *вероятностный* характер данных, и законы распределения характеристик (признаков) ОПР *неизвестны*.

4. Целевые критерии качества *идентификации* и *прогнозирования* заданы неявно, неизвестно какие, в каком количестве и как выбрать информативные признаки ОПР относительно целей принятия решений.

5. *Неизвестны* правила принятия классификационных и прогнозных решений, а также индуктивные принципы их построения путём обучения на выборочных экспериментальных данных.

6. Искомые правила принятия решений (ППР) *невозможно определить* непосредственно регулярными численными методами, но возможен путь создания средств инженерии знаний для моделирования и имитации интеллектуальных умений человека находить решения, опираясь на собственную интуицию и базу знаний.

Условия, которым отвечает совокупность ограничений 1, 4–6, допускающих возможность построения идентификационного или прогнозного ППР с определением приемлемой оценки его надёжности в предположении, что данные достоверны, называются α -неопределённостью. При α -неопределённости применяются точные *k-знания* (t -кванты).

Условия, если им отвечает совокупность ограничений 1, 2, 4–6, допускающих синтез соответствующего ППР заданной надёжности и вычисление некоторого показателя достоверности принимаемых решений при неполных и нечётких данных, называются β -неопределённостью. При β -неопределённости применяются приближённые *k-знания* (π -кванты).

И, наконец, λ -неопределённостью называются условия, которым отвечает совокупность ограничений 1, 3–6, допускающих построение идентификационного и прогнозного ППР заданной надёжности и определение вероятности искомых решений при неполных и вероятностных данных. При условиях λ -неопределённости применяют вероятностные *k-знания* (v -кванты) [3].

Но ограничений, изложенных выше, недостаточно для описания неопределенности, возникающей при управлении учебным процессом в ВУЗе [4]. Поэтому необходимо конкретизировать данные ограничения и выделить подкласс новых, уточняющих ограничений:

1*. Данные об ОПР разнотипны (т.е. измерены как в количественных, так и в качественных шкалах).

2*. Информация об ОПР и предметной области *неполная, нечёткая, неопределённая*, и существуют различные мнения экспертов об ОПР.

3*. Целевые критерии качества *идентификации* и *прогнозирования* нечеткие и заданы неявно.

4*. Искомые ППР *невозможно определить* непосредственно регулярными численными методами, но возможен путь создания средств инженерии знаний для моделирования и имитации интеллектуальных умений человека находить решения, опираясь на собственную интуицию и базу знаний.

Условия неопределенности, соответствующие ограничениям 1*–4* будем называть **φ-неопределенностью**. Структуры знаний, применяемые для решения задач принятия идентификационных и прогнозных решений в условиях φ-неопределенности, назовем **нечеткими k-знаниями** (φ-квантами).

Постановка задачи

Учитывая изложенное выше, приходим к **постановке задачи** создания базы **нечетких квантов знаний (БфкЗ)**.

Требуется создать обоснованную **методику** решения задачи **формализации и построения** нечетких квантовых структур (φ-квантов), а также **построения модели обучения** БфкЗ. Методика должна обеспечивать:

- формализацию квантовых структур – **фк-знаний**;
- разработку **индуктивного принципа внешнего дополнения** для правильного формирования объёма обучающих таблиц эмпирических данных (**ТЭД**) и сценарных примеров обучающих знаний (**СПОЗ**) с целью достижения **приемлемого уровня сложности** и **экстраполяционной способности** синтезируемых моделей вывода решений в виде **фРАКЗ-моделей**;
- разработку модели обучения и алгоритмов автоматического квантования.

Результаты исследований

Главный вопрос, как осуществить моделирование и построение базы знаний, опираясь на которую искусственная система (подобно человеку) могла бы выводить идентификационные и прогнозные решения операторным или сетевым способом путём многоступенчатых причинно-следственных рассуждений? Очевидно, роль базы квантов знаний (БкЗ) должна выполнять неизвестная заранее система имплицативных и/или функциональных закономерностей в форме фРАКЗ-модели определённого уровня, полученная в результате обучения на выборочных k-знаниях ТЭД. Искомые нами ППР в операторной форме обладают экстраполяционными свойствами в том смысле, что они оперируют логическими комбинациями признаков ОПР ранга не более r , найденного адекватно объёму используемых ТЭД и СПОЗ, и не ухудшают качества принятия решений относительно ОПР той же природы, но не используемых при обучении. Заметим, что первичной формой обучающих знаний всегда служит таблица эмпирических данных, на основе использования которой и опыта экспертов строится последовательность сценарных примеров обучающих знаний. СПОЗ может содержать комбинации разнотипных признаков ОПР, факты, закономерности и правила их использования в причинно-следственной цепи рассуждений для вывода заключений из посылок. Формально СПОЗ представляют собой отдельные фрагменты сценариев принятия решений в виде высказываний (ЕСЛИ – ТО), описываемых пропозициональными формулами в базисе $\{\wedge, \vee, \neg, \Rightarrow\}$.

Общая методика решения поставленной задачи охватывает ключевые вопросы построения обучаемых моделей как ФРАКЗ-моделей при условиях ф-неопределённости в рамках неформального и формального аспектов.

Неформальный аспект состоит в формировании человеком принципов и методов инженерии квантов знаний, исходных ТЭД, СПОЗ и целей знаниеориентированного принятия решений, что является прерогативой интеллекта экспертов, разработчиков и пользователей экспертных систем в конкретной предметной области.

Формальный аспект связан с формализацией квантовых структур (фк-знаний), обоснованием их корректности, а также с алгоритмизацией процессов обучения и квантования.

Теоретическими и практическими результатами в работе [3] обосновано, что для решения реальных задач принятия *идентификационных* решений и *прогнозных* решений достаточно использовать кванты знаний **0-го уровня** (*числовые*), **1-го уровня** (*векторные*) и **2-го уровня** (*матричные*).

Общая структура **ф-кванта** имеет, как и описанные в работе [3] t -, v -, π -кванты, **три составляющие – семантическую, информационную и процедурную** – для представления *порции знаний* о состоянии **ОПР** в **смысловом, информационном и алгоритмическом** аспектах одновременно. Предполагается, что порция (**квант**) знаний о состоянии **ОПР** описывает некоторое либо *достоверное*, либо *нечёткое*, либо *вероятное квантовое событие (КС)* продукционного вида **«посылки – следствие»**.

При этом **семантическая составляющая кванта** в форме **специальной структуры данных** представляет **смысловую информацию** о данном **КС**, указывая *шкалы измерения* признаков **ОПР**, *семантический код* и назначение кванта как *модели знаний* о фактах либо закономерностях. **Семантический код** из множества имеет символьный вид $\phi k_s Y_\omega$, где ϕ указывает **тип кванта (нечеткий)**; k – *символ кванта*; $s \in \{0, 1, 2, \dots\}$ – *уровень*, Y – *имя* и $\omega \in \{п, ц, б, т, \dots\}$ – *статус кванта* (посылочный, целевой, базовый, терминальный и т.п.).

Информационная составляющая описывает разнотипные признаки (характеристики) **ОПР** в динамической секционированной (доменной) векторно-матричной форме, удобной для **манипулирования k -знаниями и логического вывода** посредством **машинных алгебр**. В содержательном и формальном представлении домены d_j кванта отвечают **нецелевым (посылочным)** и **целевым** признакам **ОПР**, называются **активными** и разделяются между собой символом «:». Двоичные компоненты активных доменов $\alpha_i^j \in d_j$ соответствуют значениям признаков с указанными либо вычисленными коэффициентами уверенности $\psi(\alpha_i^j)$. **Динамическая форма** доменного представления признаков предполагает **расширение размера** как домена по символу « \emptyset » в его поле, так и всего кванта по символу « $:\emptyset|\emptyset:$ » между доменами. Последний активный домен описывает **целевой признак-следствие** квантового события и отделяется граничным символом «;» от последующей **процедурной составляющей ф-кванта**.

Все активные домены определяют **логику КС**, поскольку принимается **постулат** о том, что активные домены связаны конъюнкцией («:» есть связка « \wedge »), **компоненты** в доменах – дизъюнкцией («;» есть связка « \vee »), а **посылочные домены** по отношению к **целевому – импликацией (« \Rightarrow »)**. **Логику КС** можно описать **пропозициональными формулами логики высказываний** либо

конечными предикатами, аргументами которых являются компоненты α_i^j доменов.

Наконец, **процедурная составляющая** ф-кванта состоит из так называемых **пассивных доменов: выходного** и **процессорного**, которые содержат все встроенные алгоритмы с выходными результатами, необходимые для функционирования кванта и управления им. **Выходной домен** включает алгоритм **L** для реализации **логики КС** и выработки **выходного** сигнала $\gamma \in \{0,1\}$, свидетельствующего об **успешном** или **неуспешном** завершении работы ф-кванта по имени следствия **C**. При **успехе**, т.е. наличии всех посылочных данных, полной реализации **логики** и **содержания КС** вырабатывается сигнал $\gamma = 1$, в противном случае (**неуспех**) или когда отсутствует хотя бы одна посылка **КС**, – сигнал $\gamma = 0$.

Процессорный домен содержит все **встроенные алгоритмы**, необходимые для реализации содержания **КС** по входным посылкам, и **управляющий** сигнал $u \in \{0,1\}$. Сигнал **u** вырабатывается внешним алгоритмом управления **АЛУПР** для активизации работы кванта: при $u = 1$ квант **активен** и работает, при $u = 0$ – **не работает**. **Функционирование** кванта знаний любого типа и уровня **начинается** (при наличии сигнала $u = 1$ и поступлении на вход всех посылок) алгоритмической реализацией **логики** и **содержания КС**, а **завершается** определением КУ целевого следствия $\psi(C)$ с выработкой **выходного** сигнала $\gamma = 1$.

В условиях **ф-неопределенности** при моделировании **логических рассуждений нечеткими ф-квантами** требуется учет **коэффициента уверенности (КУ)**, численного значения из отрезка $[0,1]$, где коэффициент уверенности, равный 1 для данного факта, показывает уверенность, что данный факт истинен, а равный 0 – неуверенность, что факт истинен [5].

Символьная запись ф-квантовой структуры любого уровня выполняется в виде равенства, в **левой** части которого находится **семантический код** $\phi k_s Y_\omega$, а **правая** содержит в квадратных скобках «[,]» **активные домены информационной составляющей** и **выходной домен процедурной составляющей** кванта. При этом **наблюдаемому i-му** значению α_i^j , ($i = 1, 2, \dots, r_j$) **j-го** признака x_j , ($j = 1, 2, \dots, n$) **ОПР** отвечает символьная компонента « $1 | \sigma(\alpha_i^j)$ », которая записывается в **j-м** домене кванта с именем Y_ω на **i-м** месте, указывая величину **КУ** $\psi(\alpha_i^j)$, отделяемую вертикальной чертой «|». **Ненаблюдаемому** значению α_i^j отвечает символьная компонента «**0**» без указания величины **КУ**. **Например**, выражением

$$\phi k_1 c1 = \overbrace{[0,1 | \psi(\alpha_2^1), 1 | \psi(\alpha_3^1)]}^{X_1}, \overbrace{[\emptyset : 1 | \psi(\alpha_1^2), 0, \emptyset : \emptyset]}^{X_2} | \overbrace{[\emptyset : \alpha_1^{3\emptyset} | \psi(\alpha_1^{3\emptyset}), \emptyset]}^{X_3 = X_\emptyset}; \quad (1)$$

$$\underbrace{A(\rightarrow c1); \psi(\rightarrow c1)}_{\hat{\alpha}\hat{\sigma}\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\sigma}}; \underbrace{A(c1); \psi(c1); L(c1); \gamma; \mu}_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}\hat{\alpha}}$$

представляется расширяемый **векторный ф-квант 1-го** уровня с именем $Y_\omega = c1$ относительно целевого признака $x_c = x_3$, являющегося следствием **c1** логической комбинации посылочных признаков x_1 и x_2 некоторого ОПР ω . Содержание

квантового события $\varphi_k c_1$ (1) определяется следующей семантикой: «ЕСЛИ наблюдается 2-е значение α_2^1 признака x_1 с КУ $\psi(\alpha_2^1)$ ИЛИ 3-е значение α_3^1 с КУ $\psi(\alpha_3^1)$ И 1-е значение α_1^2 с КУ $\psi(\alpha_1^2)$ признака x_2 , ТО ОПР обладает целевым признаком $x_{ц} = x_3$ с КУ $\psi(\alpha_1^{3ц})$; при этом указанная логика КС реализуется алгоритмом $L(c_1)$, а выходной КУ $\psi(c_1)$ следствия c_1 в кванте вычисляется алгоритмом $A(c_1)$, используя заданный коэффициент уверенности $\psi(\rightarrow c_1)$ импликации, т.е. коэффициент уверенности совместного свершения следствия c_1 при посылке $((\alpha_2^1|\psi(\alpha_2^1))$ ИЛИ $\alpha_3^1|\psi(\alpha_3^1))$ И $\alpha_1^2|\psi(\alpha_1^2))$ ».

Остановимся подробнее на модели обучения БфкЗ. Под моделью обучения будем понимать операторную модель индуктивного вывода «от частного к общему» на основе использования объективных примеров обучающих k -знаний из заданной предметной области, представленных матричным квантом 2-го уровня $k_2 \Sigma_0$ с именем Σ_0 . Формальная модель индуктивного вывода k -знаний посредством специального алгоритма А1 имеет вид

$$IND(k_2 \Sigma_0; A1; \acute{A}k\zeta) = k_2 \Sigma_0 \frac{IND}{A1} \rightarrow \acute{A}k\zeta = k_2 \bar{\Sigma}_{BM}, \quad (2)$$

где $k_2 \bar{\Sigma}_{BM}$ – минимизированный (BM) запретный квант 2-го уровня.

Создание квантовой сети вывода решений (КСВР) любого типа, в частности φ -КСВР, всегда требует эффективной алгоритмизации процессов обучения, автоматического квантования, оптимизации и управления квантовой сетью. Эффективность алгоритмизации указанных процессов оценивается, как правило, достаточными быстродействием и объемом памяти, простотой в эксплуатации и приемлемой стоимостью главных используемых алгоритмов **АЛОБУЧ**, **АЛАКВА**, **АЛОПТ**, **АЛУПР**, о назначении которых говорят сами названия.

Выводы

Практический опыт разработки систем нечеткого вывода свидетельствует, что сроки и стоимость их проектирования значительно меньше, чем при использовании традиционного математического аппарата. А использование нечетких квантов знаний позволяет качественно моделировать рассуждения эксперта при принятии решений в управлении учебным процессом ВУЗа.

Список литературы

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 167 с.
2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. /Аверкин А. Н., Батыршин И. З., Блишун А. Ф. и др. - М.: Наука, 1986.- с. 198-235.
3. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. – К.: Наук. думка, 2002. – 490 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. Ротштейн А.П. "Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети." - Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. - 320 с.

Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 2

2.1. Планирование летного эксперимента (продолжение)

Сформированный план испытаний по определению летно-технических характеристик (ЛТХ) гипотетического самолета ориентирован на точность восстановления аэродинамических коэффициентов подъемной силы $C_y(\alpha, M)$ и сопротивления $C_x(\alpha, M)$ как функций угла атаки α и числа M , определенных в эксплуатационной области W полетной конфигурации [1]. На этом шаге возможность достижения самолетом плановых значений переменных, относящихся к условиям проведения опытов, не рассматривается.

Второй шаг в построении плана испытаний заключается в согласовании уже выбранного в плоскости “угол α – число M ” плана с возможностями силовой установки по выводу гипотетического самолета в запланированные точки и рациональной организацией последовательности этих действий в плоскости “вес самолета G – высота H ”. Эта часть процедуры логически замыкает построение схемы испытаний самолета за один полет, в результате которой определяются окончательные границы эксплуатационной области, расположение плановых точек в ней, а также последовательность выполнения экспериментов.

Для совместного учета аэродинамики самолета и высотно-скоростных характеристик (ВСХ) двигателей проводился вычислительный эксперимент, на каждом шаге которого дискретно уменьшался вес самолета, начиная с максимального взлетного веса 200 тонн. При каждом значении веса в условиях стандартной атмосферы (СА) решением прямой задачи со всеми ограничениями рассчитывалась высота, на которой гипотетический самолет при номинальном режиме работы двигателей ($R=1.00$) имеет градиент набора высоты 1% и полетное число $M=0.69$. Эта задача решалась до выхода самолета на максимальную высоту крейсерского эшелона 11000 м. Соответствующая кривая BCD приведена на рис. 1, где точка D соответствует весу 146.3 тонны для максимальной высоты эшелона 11000 м.

Особенность полученной кривой BCD заключается в том, что она отсекает часть эксплуатационной области полетной конфигурации самолета, определенной ранее на основе характеристик планера, как недоступной в эксплуатации по причине недостаточной тяговооруженности самолета. Попытка изменить условия получения кривой BCD, например, осуществлять набор высоты с меньшим полетным числом M или с переменным его значением, вносит незначительные изменения полученных “потерь” первоначальной эксплуатационной области в плоскости “ α – M ”. На примере плана с 20 точками на рис. 2 представлена первоначальная (пунктир) и скорректированная эксплуатационная область W полетной конфигурации самолета, полученная решением прямых задач при движении расчетной точки вдоль BCD в плоскости “ G – H ”.

В условиях фиксированного числа плановых точек уменьшение первоначальной области определения функций $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$ приводит к

необходимости частичного перераспределения этих точек. Поэтому с целью улучшения точности определения коэффициентов C_y и C_x точки плана, попавшие в отсекаемую зону, переносятся, а все остальные точки с неизменным числом M перераспределяются заново по углу атаки α , что окончательно формирует план испытаний в плоскости " $\alpha - M$ ".

Выход самолета на участок BCD с учетом выгорания топлива схематично представляется отрезком AC, а снижение самолета от точки D к точке E, определяемой минимальным весом с учетом 5% остатка топлива, – отрезком DE (рис. 1). В итоге ломаная линия ACDE – это закладываемая в планирование второго шага схема набора высоты и снижения самолета, следуя которой будут осуществляться эксперименты без лишних затрат на переходы по высоте H .

Для привязки скорректированного в плоскости " $\alpha - M$ " плана к действиям по схеме ACDE в плоскости " $G - H$ " вновь осуществлялось последовательное решение прямых задач при шаговом движении по G , начиная от 200 тонн. Для каждой из 20 точек плана из набора получаемых решений в евклидовой метрике по переменным α и M выбиралось наиболее близкое решение, принадлежащее ломанной ACDE. Соответствующие точки на рис. 1 представлены крупными маркерами.

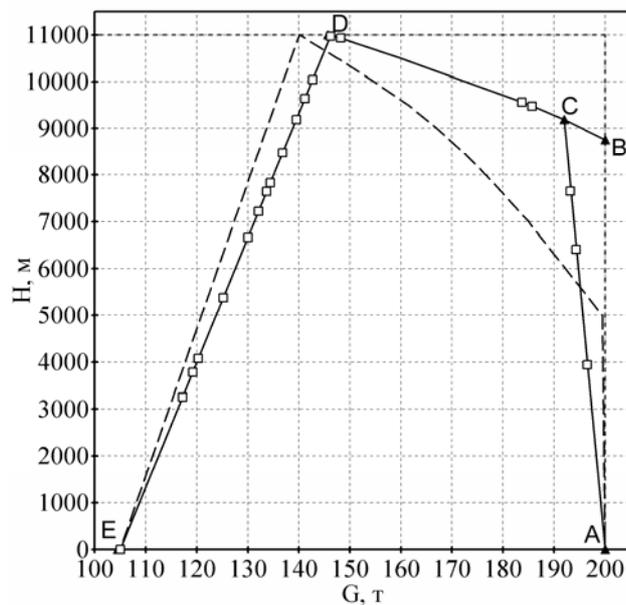


Рис. 1. План летного эксперимента с 20 точками в плоскости «вес самолета – высота эксперимента»

Наличие на рис. 1 относительно больших интервалов по G между некоторыми смежными точками плана, которые не могут быть выбраны расходом топлива в процессе выполнения экспериментов, требует объединения программы определения ЛТХ самолета с другими испытательными программами. Это приводит к дополнительной проработке рассмотренного плана, но уже совместно с детализацией полученной схемы при наличии часовых расходов топлива, длительности выполнения эксперимента и его кратности в каждой точке.

Для случая $\alpha = 30^\circ$, в силу заложенных в ВСХ гипотетического двигателя температурных ограничений, соответствующая схема проведения опытов

практически накладывается на ломаную ACDE и поэтому на рисунке рис. 1 она не указывается. Однако, схема полного эксперимента для $CA + 15^0$, полученная на больших высотах при $M=0.69$ и с последующим понижением полетного числа до $M=0.63$ при $G=200$ т, приведена пунктиром на рис. 1.

Отсутствие полной “сбалансированности” характеристик планера гипотетического самолета и его силовой установки несколько упрощает задачу по восстановлению $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$ из-за уменьшения области W . Поэтому ниже, как правило, в качестве области определения указанных функций используется первоначальная область W в плоскости “ $\alpha - M$ ”, построенная на основе проектных данных планера самолета.

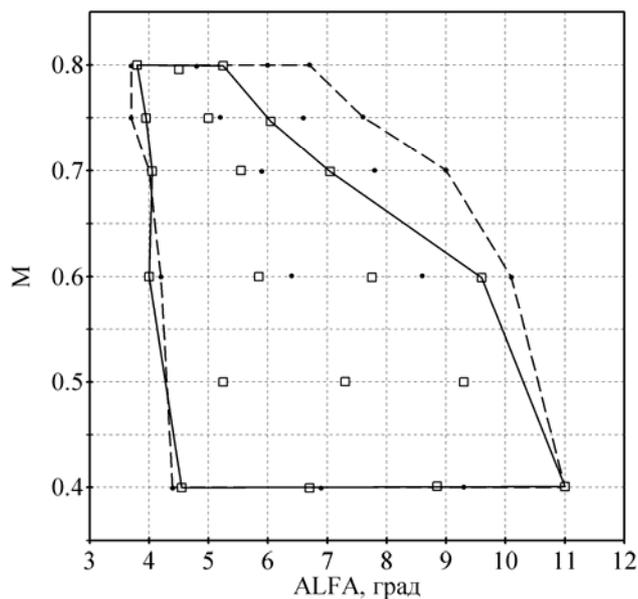


Рис. 2. План из 20 точек. Первоначальная и скорректированная эксплуатационные области полетной конфигурации.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

Обратные задачи как задачи выявления причин, приводящих к конкретным следствиям, в рассматриваемой проблеме сводятся либо к поиску недостающей информации об условиях проведения эксперимента, либо к поиску некоторых характеристик самолета или силовой установки. Принимая во внимание, что в испытаниях фиксируются значения переменных $T, F, G, V, P, \theta, \alpha$ [1], из которых две первых относятся к атмосферным условиям проведения опыта (температура T и давление F), три следующих — к характеристикам самолета (вес G и истинная скорость V) и силовой установки (тяга двигателей P), а две последних — к следствию, имеющиеся у самолета аэродинамические коэффициенты подъемной силы C_y и сопротивления C_x автоматически попадают в разряд причин, так как благодаря этим коэффициентам при указанных условиях и реализуется следствие в форме конкретных значений угла наклона траектории θ и угла атаки α . Поэтому в каждой точке испытаний значения семи указанных

переменных являются исходной информацией для нахождения двух отсутствующих причин – аэродинамических коэффициентов подъемной силы и сопротивления.

2.2. Аппроксимации аэродинамических коэффициентов

У самолетов транспортной категории (дозвуковых и без обдувки элементов планера работающими двигателями) в зависимостях аэродинамических коэффициентов имеются общие качественные закономерности. Данное обстоятельство позволяет коэффициенты подъемной силы и сопротивления самолета приближенно представить в виде функций угла атаки и полетного числа Маха сразу во всей эксплуатационной области W рассматриваемой конфигурации.

Для аппроксимации $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$ в W были выбраны функции, минимальным количеством которых можно с удовлетворительной точностью аппроксимировать указанные коэффициенты. В эти функции включены внутренние параметры, назначение которых заключается в том, чтобы дать функциям возможность дополнительной “адаптации” к конкретным зависимостям самолетных коэффициентов C_y и C_x в области определения последних, что способствует уменьшению общего числа этих функций, а тем самым и сокращению необходимого количества опытов. Такая роль внутренних параметров как дополнительных степеней свободы в повышении точности аппроксимаций определяется алгоритмом минимизации функционалов, который связывает необходимое количество летных экспериментов непосредственно с количеством используемых функций.

Как показали исследования, в общем случае небольшим количеством достаточно простых функций с малым числом внутренних параметров не всегда удается уложиться в диапазон 3-5 % для ошибок восстановления коэффициентов C_y и C_x даже в случае идеального эксперимента, у которого ошибки измерений всех переменных принимаются равные нулю. Поэтому для повышения точности определения характеристик самолета в аппроксимации включаются уточняющие поправки на основе финитных функций [2]. Принимая во внимание, что отклонения расчетных значений C_y и C_x , получаемых на основе аппроксимаций выбранными функциями, от их реальных значений небольшие, в качестве финитных функций выбраны линейные функции на двумерных симплексах. Последнее замечание вносит свой вклад в проблему уменьшения количества летных опытов, так как использование симплексов в качестве конечных носителей ненулевых значений функций не налагает каких-либо жестких требований на формируемый план испытаний. Поэтому симплексы создаются на основе точек построенного плана летного эксперимента в W .

Учитывая общепринятую в практической аэродинамике тенденцию выражать зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления не от угла атаки α , а посредством зависимости C_x от аэродинамического коэффициента подъемной силы C_y , который сам является функцией угла атаки и числа Маха, аэродинамические коэффициенты приближенно представляются следующим образом:

$$\begin{aligned}
C_y(\alpha, M) &= \sum_{i=1}^{N_y} a_i \varphi_i(\alpha, M; \{A_k\}_{k=1}^{N_A}) + \delta C_y, \\
C_x(\alpha, M) &= \sum_{i=1}^{N_x} b_i \psi_i(C_y(\alpha, M), M; \{B_k\}_{k=1}^{N_B}) + \delta C_x,
\end{aligned} \tag{1}$$

где δC_y и δC_x - уточняющие поправки на основе финитных функций, имеющие вид

$$\begin{aligned}
\delta C_y &= \sum_{i=1}^{NP} \Delta C_{y_i} \xi_i(\alpha, M), \\
\delta C_x &= \sum_{i=1}^{NP} \Delta C_{x_i} \xi_i(\alpha, M).
\end{aligned} \tag{2}$$

В приведенных соотношениях N_y и N_x - количество используемых “базисных” функций в аппроксимациях аэродинамических коэффициентов; N_A и N_B - количество внутренних параметров в каждой группе функций; NP - количество плановых точек; ΔC_{y_i} и ΔC_{x_i} - невязки в плановой точке i ; $(A_1, A_2, \dots, A_{N_A})$ и $(B_1, B_2, \dots, B_{N_B})$ - внутренние параметры наборов функций $\{\varphi_i\}$ и $\{\psi_i\}$; а $\xi_i(\alpha, M)$ – финитная функция, построенная на основе двумерных симплексов, содержащих в качестве общей вершины плановую точку с номером i [2].

Требования, предъявляемые к “базисным” функциям, определяются исходной задачей построения подхода с использованием наименьшего количества летных экспериментов для определения ЛТХ самолета, что в рамках представлений (1-2) автоматически приводит к использованию минимально возможного количества функций при требуемой точности аппроксимаций аэродинамических коэффициентов. Кроме сказанного, требование монотонности этих функций соответствует характеру поведения реальных функций $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$ у самолетов рассматриваемой категории, что позволяет осуществить простое уточнение расчетных значений C_y и C_x с помощью финитных функций.

2.3. Решение обратной задачи

Используется экстремальный метод решения обратных задач, связанный с минимизацией функционалов, которые применительно к решаемой проблеме строятся на основе значений переменных, полученных решением прямой задачи или взятых непосредственно из эксперимента, уравнений установившегося движения самолета и введенных выше выражений для аэродинамических коэффициентов. Функционалы имеют вид:

$$\begin{aligned}
\Phi_y &= \sum_{i=1}^{NP} (P_i \sin(\alpha_i - \chi) - G_i \cos \theta_i + \sum_{j=1}^{N_y} a_j \varphi_j(\alpha_i, M_i; \{A_m\}_{m=1}^{N_A}) \rho_i V_i^2 S / 2)^2, \\
\Phi_x &= \sum_{i=1}^{NP} (P_i \cos(\alpha_i - \chi) - G_i \sin \theta_i + \sum_{j=1}^{N_x} b_j \psi_j(C_y(\alpha_i, M_i), M_i; \{B_m\}_{m=1}^{N_B}) \rho_i V_i^2 S / 2)^2,
\end{aligned} \tag{3}$$

где постоянная величина χ - это угол между вектором тяги двигателей и средней аэродинамической хордой крыла.

Характерная для обратных задач некорректность, одним из возможных проявлений которой является отсутствие устойчивости решения относительно малых возмущений входных данных, может проявиться при поиске коэффициентов разложения в (3) даже в случае идеального вычислительного эксперимента. Такая ситуация вполне реальна, так как на используемые в (1) функции никаких ограничений, не считая приведенных выше замечаний, не налагается. Поэтому при минимизации функционалов может появиться такая комбинация значений внутренних параметров, при которой выбранные функции могут оказаться либо линейно зависимыми, либо почти линейно зависимыми, а матрица разрешающей системы относительно коэффициентов разложения будет соответственно либо вырожденной, либо почти вырожденной.

В этом случае для получения приближенных и устойчивых решений в исследованиях использовалась процедура стабилизации Тихонова [3], согласно которой каждый функционал (3) при минимизации получал дополнительное слагаемое – стабилизирующую добавку. Параметры стабилизации были подобраны на основе серии специально проведенных вычислительных экспериментов. Основанием выбора метода Тихонова для получения устойчивых решений служит его простота и малое число вычислительных операций.

Стадии минимизации функционалов предшествует анализ принятых в качестве “базисов” функций $\{\varphi_i\}$ и $\{\psi_i\}$, для которых определяются допустимые области изменения внутренних параметров в соответствующем параметрическом пространстве и задается исходный шаг изменения каждого параметра.

Так как коэффициент C_x является функцией коэффициента C_y , минимизация функционалов начинается с функционала Φ_y . Полный алгоритм минимизации основан на трех процедурах:

- процедуре прямого вычисления значений функций, входящих в аппроксимации, на каждом шаге движения точки в допустимой области соответствующего параметрического пространства;
- процедуре минимизации получаемого на каждом шаге квадратичного по коэффициентам разложения функционала с учетом стабилизирующей добавки;
- процедуре расчета значений функционала и сравнительной их оценки на двух последних шагах процесса поиска минимума.

Иными словами, на каждом шаге изменения значений внутренних параметров находятся соответствующие значения коэффициентов разложения. Затем вычисляется значение функционала и сравнивается с его значением на предыдущем шаге. Найденная точка минимума уточняется в своей окрестности автоматическим уменьшением величины шага по каждому параметру.

Такой алгоритм, в общем случае, может дать лишь точку локального минимума для каждого функционала. Однако, как следует из приводимых ниже результатов, использование локального минимума приводит к удовлетворительному по точности конечному результату в определении аэродинамических коэффициентов.

Вычислительная экономичность приведенного алгоритма не является предметом внимания на данном этапе исследований, так как основная решаемая задача – это разработка и отладка математических моделей, к которым

причисляются и сами алгоритмы, а также разработка рациональных схем действий при подготовке, проведении и обработке данных летного эксперимента.

ИДЕАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Согласно вышесказанному, у идеального вычислительного эксперимента ошибки измерений переменных считаются нулевыми, а ошибки, связанные с приближенным компьютерным представлением вещественных чисел, округлением результатов арифметических операций, а также методические ошибки присутствуют. Необходимость в таких экспериментах определяется отладкой алгоритмов и исследованием их возможностей в чистом виде.

2.4. Контроль точности идентификации

Идеальные вычислительные эксперименты выполнялись для серии планов с последовательно возрастающим набором точек, начиная с минимально возможного их количества, которое определяется по наибольшему из чисел N_y или N_x и в данных исследованиях было принято равным 10. Вычислительные эксперименты состояли из решения обратной задачи для каждого плана, так как опорные точки для формирования планов заранее были получены решением прямых задач в W [1]. Контроль точности восстановления аэродинамических коэффициентов самолета как функций α и M осуществлялся на системе контрольных точек в количестве 2736, распределенных в W , а значения всех остальных переменных менялись в полных соответствующих диапазонах. Для этих точек также решались прямые задачи, дающие по исходным данным согласованные относительно уравнений движения наборы значений переменных T, F, G, V, P, θ и α . Эти наборы данных аналогичны тем наборам, которые могли бы появиться в идеальных летных испытаниях.

Для идеального вычислительного эксперимента контроль точности определения C_y и C_x может осуществляться сравнением в контрольных точках расчетных значений аэродинамических коэффициентов на основе соотношений (1-2) с коэффициентами разложения и внутренними параметрами, полученными для рассматриваемого плана испытаний, и аэродинамических коэффициентов, получаемых для этих же условий на основе исходных данных гипотетического самолета. Для компьютерных вычислительных экспериментов такая возможность существует благодаря совпадению “проектной” информации и “реально” имеющейся у гипотетического самолета – она одна и та же.

В условиях идеальных летных испытаний такой контроль может не дать объективную оценку точности определения C_y и C_x в W . Например, контрольные сравнения в плановых точках могут дать существенное расхождение между проектными данными и реально имеющимися у самолета, так как возможны ошибки проектирования, технологии изготовления или одновременно и те и другие, вместе взятые. В этой ситуации ошибки необходимо определять, не обращаясь к проектным данным. Поэтому в исследованиях источником информации об ошибках восстановления аэродинамических коэффициентов самолета должны служить наборы семи переменных T, F, G, V, P, θ и α ,

получаемые в дополнительных, по отношению к плановым, контрольных точках и которые совместно с уравнениями движения дают в идеальном летном эксперименте значения реальных аэродинамических коэффициентов самолета. Именно эти значения аэродинамических коэффициентов в контрольных точках и сравниваются с их расчетными значениями на основе соотношений (1-2), что и позволяет оценить ошибки C_y и C_x в условиях идеального летного эксперимента.

2.5. Результаты идеальных вычислительных экспериментов

На рис. 3-4 представлены ошибки определения аэродинамических коэффициентов подъемной силы $C_y(\alpha, M)$ и сопротивления $C_x(\alpha, M)$ как функций в W в случае идеального вычислительного эксперимента. На оси абсцисс указано количество точек плана, а на оси ординат – максимальные и средние относительные ошибки ($\max|\Delta C|$ и $\langle|\Delta C|\rangle$) в соответствующих коэффициентах, определенные на системе контрольных точек в W .

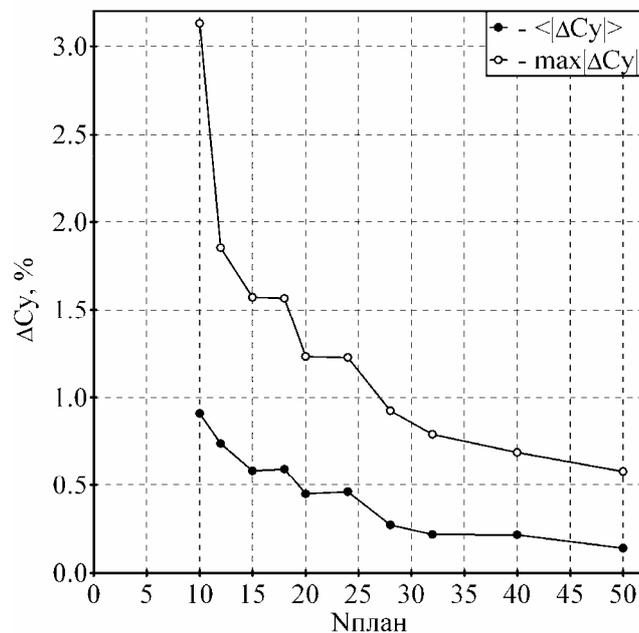


Рис. 3. Ошибки коэффициента подъемной силы в зависимости от количества плановых точек (идеальный эксперимент)

Максимальные и средние абсолютные ошибки определения вертикальной скорости самолета и его максимального аэродинамического качества в зависимости от количества плановых точек представлены соответственно на рис. 5-6. В последнем случае для чисел Маха, равных 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.75, 0.78 и 0.80, рассчитывалось максимальное аэродинамическое качество на основе разложений (1-2) и его отклонение от соответствующего исходного значения, а затем выбиралась максимальная по модулю ошибка ($\max|\Delta K|$) и находилась средняя ($\langle|\Delta K|\rangle$).

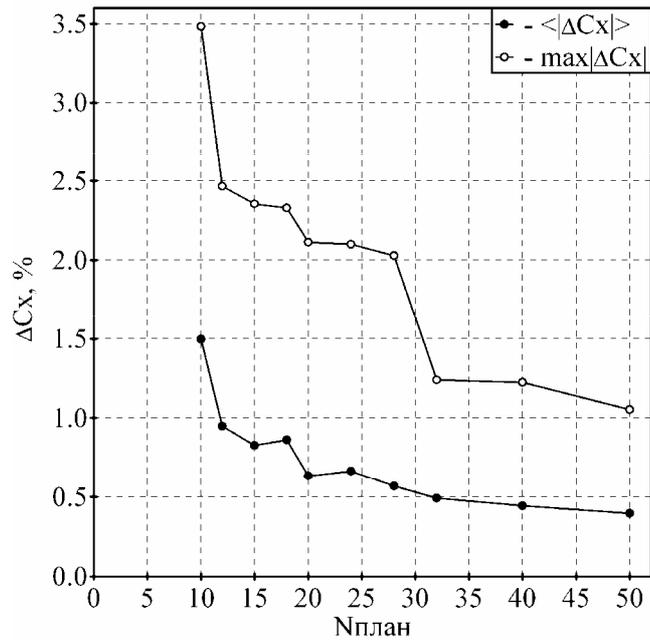


Рис. 4. Ошибки коэффициента сопротивления в зависимости от количества плановых точек (идеальный эксперимент)

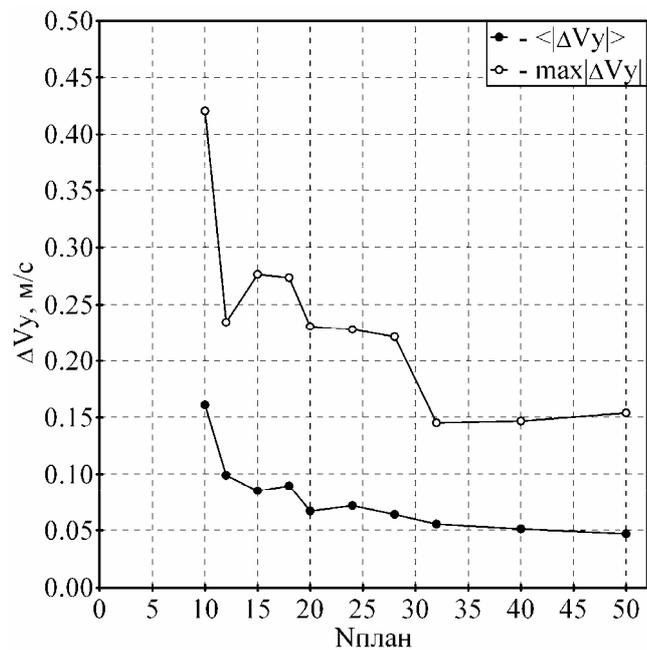


Рис. 5. Абсолютные ошибки определения вертикальной скорости самолета в зависимости от количества плановых точек (идеальный эксперимент)

На всех приведенных графиках скачкообразный характер кривых является, в основном, следствием планирования на дискретном поле опорных точек в W и, в меньшей степени, результатом использования уточнения на основе финитных функций.

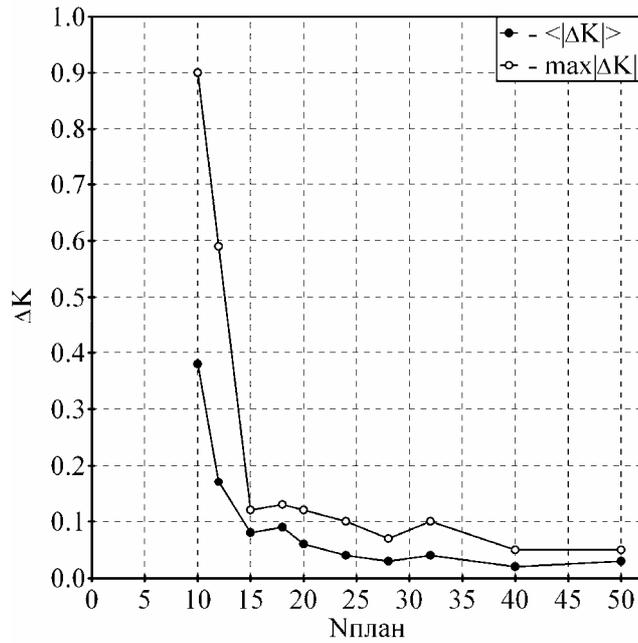


Рис. 6. Абсолютные ошибки определения максимального аэродинамического качества в зависимости от количества плановых точек (идеальный эксперимент)

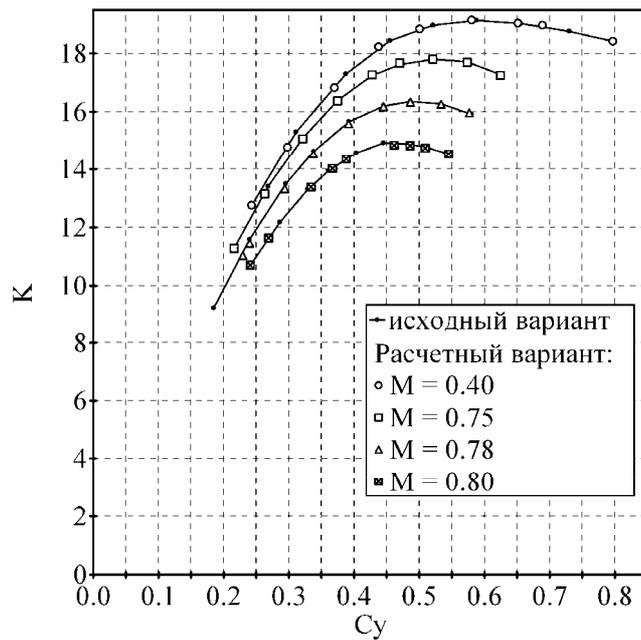


Рис. 7. Исходные и расчетные зависимости $K(C_y)$ при фиксированном M и плане в 20 точек. Полетная конфигурация, идеальный эксперимент.

С целью визуального представления о точности воспроизведения исходных аэродинамических коэффициентов $C_y(\alpha, M)$ и $C_x(\alpha, M)$ полетной конфигурации гипотетического самолета на рис. 7 приведена зависимость аэродинамического качества самолета K , полученная для плана с 20 точками, а на рис. 8 показана

зависимость аэродинамического коэффициента сопротивления C_x от полетного числа M при фиксированных значениях C_y .

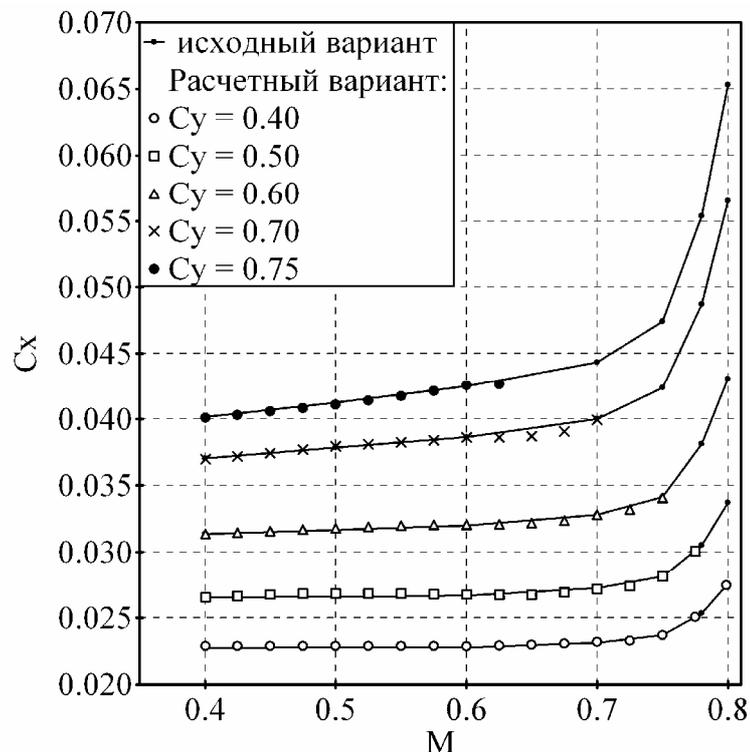


Рис. 8. Исходные и расчетные зависимости $C_x(M)$ при разных C_y и плане в 20 точек. Полетная конфигурация, идеальный эксперимент.

Благодарности

Автор выражает благодарность Шелудько А. И. за участие в обсуждении результатов вычислительных экспериментов, а также Высокогляд Г. Г. за помощь в решении прямых задач практической аэродинамики.

Список литературы

1. Нарожный А. Н., Высокогляд Г. Г., Шелудько А. И., Стефанишин Н. И. Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 1. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ "ХАИ", 2005. – Вып. 29.
2. Марчук Г. И., Агошков В. И. Введение в проекционно-сеточные методы. – М: Наука, 1981.
3. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. – М: Наука, 1974.

Питання побудови та використання багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації

На цей час користувачу, в першу чергу аналітику у будь-якій сфері - виробничій, економічній, політичній, соціологічній та інших, потрібна інформація, джерела знаходження або походження якої він не в змозі визначити однозначно. Тобто, мова йде про необхідність пошуку та отримання потрібної інформації у безлічі інформаційних джерел [1], які не визначаються жорсткими критеріями. Таким чином, виникає необхідність знаходження у інформаційному просторі тих джерел, які необхідні користувачу, виходячи з багатьох критеріїв, серед яких можна виділити такі найважливіші:

- мінімальна кількість джерел, у значній мірі покриваючих інформаційні потреби. Ця кількість джерел, у кінцевому рахунку, визначає потужність системи моніторингу, яка встановлюється для рішення завдання ефективного інформаційного забезпечення;
- рівень дублювання інформації джерелом. З одного боку, використовуючи відносно повний набір оригінальних джерел, користувач системи моніторингу може відмовитися від джерел з високим рівнем дублювання, але, з іншого боку, їх використання може виявитися достатнім для щоденної неглибокої проробки інформації, тобто відношення до такого роду джерел є неоднозначним;
- тематична стабільність джерел. Природно, що чим вища стабільність та більш вузька тематична спрямованість документів, тим більше спеціалізоване джерело інформації. Дослідження та використання тематично нестабільних джерел є проблематичним;
- тематичний взаємозв'язок джерел, урахування якого дозволяє вибирати тематично корелюючи джерела, виявляти найбільш авторитетні з них (наприклад, центроїди тематичних кластерів) тощо.

Для підтвердження реальної можливості побудови та реалізації в конкретних виробничих умовах багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації була проведена дослідна робота щодо визначення необхідного переліку джерел при сформульованих інформаційних потребах аналітиків Національного центру з питань євроатлантичної інтеграції України [2], а саме, отримані документи, релевантні запиту:

(Київ|Київ|Україн|Украин)&(нато|Альянс|євроатлант|євроатлант)

з ретроспективної бази даних системи InfoStream [3] за один місяць (листопад) 2005 року з понад 1520 активних російських та українських джерел інформації в Інтернет (загалом контрольний інформаційний масив складав 1948 МБ даних, 759442 документа). Всі джерела ранжувалися за кількістю їх входжень до результатів пошуку. Результати ранжування дозволили виявити близькість до закону Бредфорда [4], який стосується "паперових" періодичних видань. Джерела розподілилися за трьома рівними за кількістю релевантних документів множинами R1, R2, R3. При цьому R1 – це найбільш рейтингові джерела, що на пряму відносяться до визначеної тематики, R2 – множина джерел, які кореспондуються з тематикою євроатлантичної інтеграції, а R3 – джерела, що лише частково стосуються даної тематики.

З переліку 1521 джерела інформації 615 джерел відповідали запиту. За цим запитом було відібрано 49,5 МБ даних, або 0,025% від вихідного обсягу та 7947 документів (1% від вихідної кількості). У Табл. 1 наведено найбільш рейтингові джерела серед потоків документів, відібраних за запитом. Якщо прийняти позначення, що $|A|$ - це кількість елементів множини A , то пропорція Бредфорда уточнюється таким чином:

$$|R1| : |R3| : |R3| = n : n^{1,2} : n^{2,4}.$$

У даному випадку значення n – складає приблизно 20 джерел. До множини $R1$ можна віднести:

Табл. 1. Найбільш рейтингові джерела для запиту

Ранг	Джерело	Кількість документів у запитах користувачів
1	Євроатлантична Україна	256
2	Український вибір	227
3	ForUM	155
4	Без цензури	136
5	Оглядач	119
6	From-UA	113
7	Обозреватель	113
8	VLASTI.NET	110
9	“Главред”	104
10	“Львівська газета”	102
11	“4 влада”	102
12	Газета “Україна молода”	101
13	Рамблер	94
14	“Диалог.UA”	81
15	“Поступ”	79
16	President.org.ua	78
17	ІАЦ “Ліга”	77
18	АМИ “Новости-Украина”	76
19	“Про новости”	75
20	“Политикум.Инфо”	74

На Рис. 1. наведено рангову діаграму розподілу джерел, що відповідають релевантним запиту документам щодо євроатлантичної інтеграції України.

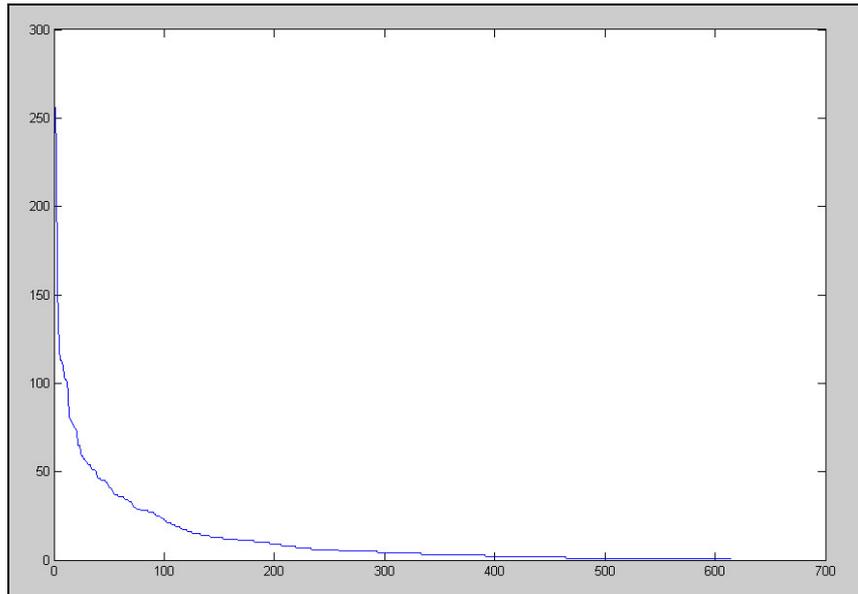


Рис. 1. Рангова діаграма розподілу джерел у множині релевантних документів

На Рис. 2. наведено діаграму розподілу джерел у релевантних запиту документах щодо євроатлантичної інтеграції України у розрізі днів листопада 2005 року. Слід зауважити на значне зменшення публікацій у вихідні дні (субота, неділя).

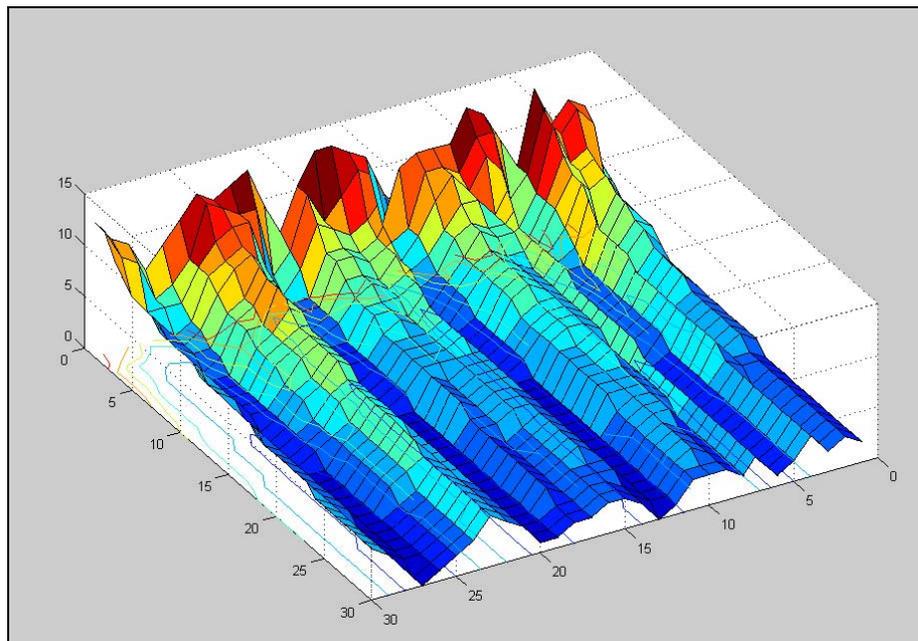


Рис. 2. Рангова діаграма розподілу джерел у множині релевантних документів у розрізі дат

Але при такому підході не виключена можливість надання користувачу значної кількості дублюючої інформації, яку він повинен буде самостійно опрацювати та виключити.

Для виявлення кількості релевантних документів, але таких, що явно дублювалися у системі, було використано пошук за запитом, доповненим логічним виразом "&this.is.double". Оцінка обсягів документів, що відповідали уточненим

запитам, дозволила констатувати, що дублювання складає понад 92%. Серед джерел, що найчастіше використовують дублюючі інформаційні матеріали, можна віднести:

- “VLASTI.NET”;
- “Український вибір”;
- “Євроатлантична Україна”;
- “4 влада”;
- “Оглядач”.

Ці джерела не рекомендується використовувати як базові при пошуку з урахуванням дублювання, але можна розглядати як своєрідні інтегратори новинної інформації [5].

Необхідно враховувати, що велике значення для користувачів має тематична стабільність документів. Рівень тематичної стабільності документів визначається кореляцією наборів тематичних рубрик, які відповідають документам джерел за певний період часу.

Визначення тематичної стабільності документів проводилося за таким алгоритмом:

1. Проводився пошук документів у загальному інформаційному масиві системи моніторингу за визначений період.
2. Формувалася база даних, яка включала код джерела інформації, коди тематичних рубрик, дату публікації документа та унікальні номери документів.
3. Для кожного джерела розраховувався нормований показник тематичної стабільності R за формулою:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{M \cdot \max(\text{rub}_i)} \sum_{j=1}^M \left| \text{rub}_{ij} - \frac{\sum_{k=1}^M \text{rub}_{ik}}{M} \right|;$$

де N – кількість рубрик, M – кількість днів, $\max(\text{rub}_i)$ – нормована максимальна кількість входження рубрики i у документ за весь час, rub_{ij} – нормована кількість входження рубрики i за день j . Процедура обчислення показника для конкретного джерела за визначеною рубрикою мовою програмування Perl така:

```
#---- Обчислення нормованого показника за однією рубрикою
sub sred {
    # @x – масив значень за днями
    $sred=0; # нормований показник
    $max=0; # максимальне значення нормованої рубрики
    for($i=0; $i< $#x+1; $i++) { # цикл за кількістю днів, $i – номер дня
        $sred=$sred+$x[$i]; # накопичення значень рубрик
        if ($max<$x[$i]) {$max=$x[$i];}
    }
    $sred=$sred/($#x+1); # середнє значення рубрик за всі дні
    for($i=0; $i< $#x+1; $i++) {
        $x[$i]=abs($x[$i]-$sred); # обчислення відхилень від середнього
    }
    $sred=0;
    for($i=0; $i< $#x+1; $i++) {
        $sred=$sred+$x[$i]; # накопичення відхилень від середнього
    }
    $sred=$sred/($max*(#x+1)); # нормування відхилень від середнього
}
```

4. Інформаційні джерела ранжувалися за розрахованим показником тематичної стабільності, будувалася відповідна діаграма.

Було проведено дослідження тематичної стабільності (за загальними рубриками) інформаційних джерел, що відповідають запиту. Рангову діаграму розподілу 460 з 1521 джерела, що виходили регулярно протягом листопаду 2005 року, за тематичною стабільністю наведено на Рис. 3. Найбільш тематично стабільними виявилися такі джерела, як “Євроатлантична Україна”, ІАЦ “Ліга”, “Український вибір”.

Результати досліджень, проведених у цьому та попередньому пунктах, дозволяють скласти перелік найбільш тематично стабільних та найбільш оригінальних джерел інформації. Наведені у Табл. 1 джерела інформації охоплюють на цей час приблизно 30% від результатів, що отримані при пошуку за визначеним запитом. Тому як результат цього дослідження, можна рекомендувати включити їх як “Персональні інформаційні джерела” у інтерфейс системи моніторингу Інтернет-ресурсів щодо проблематики євроатлантичної інтеграції України.

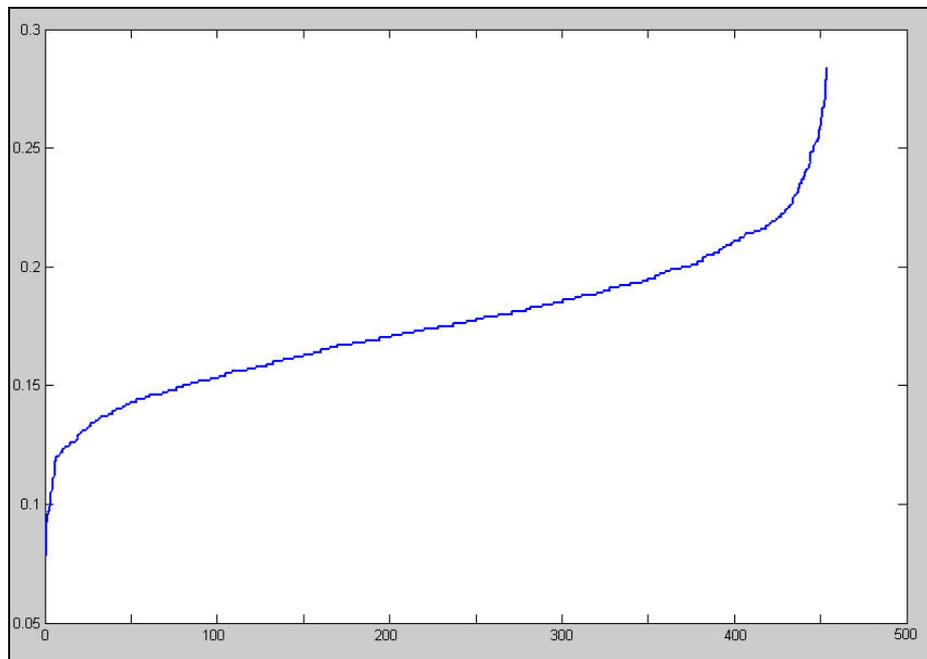


Рис. 3. Діаграма “Ранг документа - Коефіцієнт стабільності”

При аналізі всього масиву інформаційних джерел велике значення має урахування їх тематичного зв'язку. У рамках цієї НДР було побудовано таблицю тематичного взаємозв'язку джерел (ТВД) за таким алгоритмом:

1. Шляхом послідовного сканування текстового масиву документів за визначений період формується таблиця “Джерело – Тематична рубрика”.
2. Розраховується взаємозв'язок джерел за кількістю співпадаючих рубрик.
3. Формується таблиця взаємозв'язку джерел. Джерела з мінімальними зв'язками з іншими (меншими за 5) не входять до розгляду.
4. Методом k-means (k-середнє) здійснюється автоматичне перегрупування таблиці взаємозв'язку джерел (у даному випадку приймається $k=2$).
5. Здійснюється сортування визначених кластерів за кількістю тематичних зв'язків.
6. Кластери об'єднуються, таблиця взаємозв'язку джерел у чисельному вигляді

виводиться в інтерфейсі користувача.

7. Для візуалізації таблиці взаємозв'язку джерел підключаються графічні пакети програм.

На Рис. 4 зображено трьохвимірне представлення таблиці взаємозв'язків джерел, фрагмент переліку яких наведено у Табл. 2.

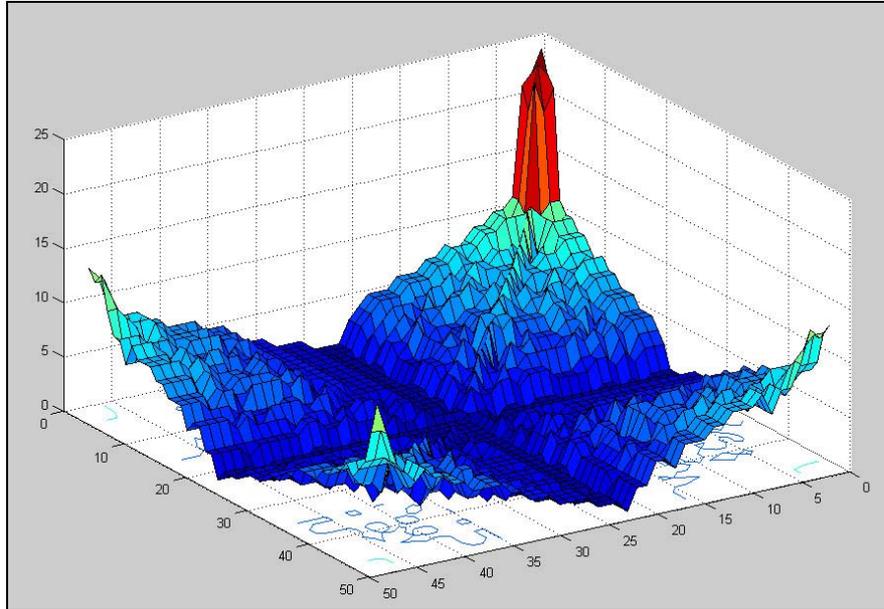


Рис.4. Взаємозв'язок джерел, документи з яких релевантні запиту

Табл. 2. Фрагмент переліку джерел, які застосовувалися у ТВД

№ з/п	№ кластеру	Джерело	Код джерела
1	1	"Обозреватель"	srd00253
2	1	"forUm"	srd00147
3	1	"UA TODAY"	srd00024
		...	
46	2	"Українська правда"	srd00094
47	2	"Без цензури"	srd01424
48	2	"Український вибір"	srd01013

Враховуючи загальний обсяг інформації за період, що досліджувався, а також обсяги інформації, що відповідають запиту за тематикою євроатлантичної інтеграції України можна зазначити:

- загальна кількість джерел, які використовувалися, становить 615, що складає 30% від загальної кількості джерел, що підключено до комплексу моніторингу Інтернет-ресурсів;
- загальний обсяг інформації, яка відповідає потребам Замовника на цей час, становить за зазначений період 49,5 МБ, що складає 0,025% від всієї бази даних, що сканується;
- кількість рейтингових стабільних та оригінальних джерел (всього 20) перебиває 30% інформації.

За місяць об'єм інформації, що передається від підсистеми збору новинної інформації, становить приблизно 2ГБ. Тобто, 0,025% з цієї інформації, або близько

50 МБ на місяць, вирішують сучасні потреби в новинній інформації щодо євроатлантичної інтеграції України. Ці розрахунки дають основу для оптимізації інтернет-трафіку, що споживається.

При виборі джерел для задоволення інформаційних потреб щодо визначеної проблематики у аналітиків завжди виникає питання: “обмежитися вибором невеликої кількості інформативних джерел, або охопити максимальну кількість джерел, і приклавши достатньо серйозні зусилля, виключаючи дублювання та шум, знаходити необхідну інформацію у повному обсязі?” На першому етапі, як правило, приймається рішення за принципом “краще менше, але краще”. Однак, як з'ясовується, такий підхід оптимальний лише для невеликих аналітичних служб. Не охоплюючи максимально повного обсягу інформації, навіть такої, що дублюється, неможливо виділити найчастіше згадувані теми, тенденції, факти. Уникаючи ризику отримання шумової інформації, можна пропустити найбільш свіжі, актуальні повідомлення. Тому, починаючи з певного рівня, аналітичні служби для вирішення завдань інформаційного забезпечення використовують максимально можливий обсяг інформаційних джерел, застосовуючи у своїй роботі розвинені засоби контент-моніторингу.

Наведені вище розрахунки не заперечують концептуальним положенням, що роблять необхідним підключення та використання повного обсягу бази даних:

- користувачі корпоративної мережі Національного центру з питань євроатлантичної інтеграції України повинні задовольняти не тільки типові інформаційні потреби, у полі зору керівництва та фахівців можуть з'являтися нові об'єкти спостереження;
- не завжди текстове представлення інформації, притаманне системі моніторингу, задовольняє потреби користувачів, все частіше необхідно мати доступ до мультимедіа-інформації, для чого потрібно мати безпосередній вихід у мережу Інтернет;
- час від часу виникає потреба використання інформації з закритих ресурсів мережі Інтернет, що на цей час не дозволяє робити функціонуюча система моніторингу Інтернет-ресурсів.

Таким чином, запропонований методологічний підхід щодо побудови та конкретного використання багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації доказав своє право на існування та може бути застосований для попередньої оцінки у будь-якій сфері життєдіяльності суспільства.

Список літератури

1. Современные информационные потоки: актуальная проблематика/ Д.В. Ландэ, С.М. Брайчевский // Научно-техническая информация. Сер. 1, 2005. - № 11. - С. 21-33
2. Фурашев В.М., Ландэ Д.В., Григор'ев О.М., Фурашев О.В. Електронне інформаційне суспільство України: погляд у сьогодення і майбутнє: Монографія. – К.: Інжиніринг, 2005. – 164 с.
3. Сканер системы контент-мониторинга InfoStream / Д.В. Ландэ // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 28 - С. 53-58
4. Ландэ Д.В. Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа - М.: "Вильямс", 2005. - 272 с.
5. Определение тематической направленности запросов путем анализа наборов рейтинговых источников / Д.В. Ландэ, С.М. Брайчевский // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. трудов. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29 - С. 41-48.

Сопротивление усталости полосы с отверстием из титанового сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии

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

Проектирование срезных болтовых соединений самолетных конструкций из титанового сплава ВТ6 регламентируемой долговечности предусматривает наличие в конструкторской и технологической базах данных характеристик сопротивления усталости различных конструктивных элементов соединений [1].

Целью данной статьи является получение аналитических зависимостей для определения усталостной долговечности полосы с незаполненным отверстием из сплава ВТ6, а также при установке в отверстие болта с радиальным натягом и осевой затяжкой.

Усталостные испытания проведены на образцах полосы с отверстием шириной 35 мм и толщиной 5 мм (рис. 1), изготовленных фрезерованием по контуру из листа титанового сплава ВТ6 в состоянии поставки. Определена усталостная долговечность образцов полосы с отверстием $\varnothing 10$ мм для следующих вариантов заполнения отверстия:

- 1) свободное отверстие;
- 2) в отверстие установлен болт с осевой затяжкой $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($\sigma_k=45 \text{ МПа}$);
- 3) в отверстие установлен болт с осевой затяжкой $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($\sigma_k=90 \text{ МПа}$);
- 4) в отверстие установлен болт с радиальным натягом $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ и осевой затяжкой $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($\sigma_k=45 \text{ МПа}$);
- 5) в отверстие установлен болт с радиальным натягом $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ без осевой затяжки.

Под головку болта и гайку устанавливали втулки, которыми шайбы прижимали к образцу полосы с отверстием. В экспериментах использовали шайбы и болты из стали 30 ХГСА, изготовленные по отраслевым стандартам; шайбы были кадмированы.

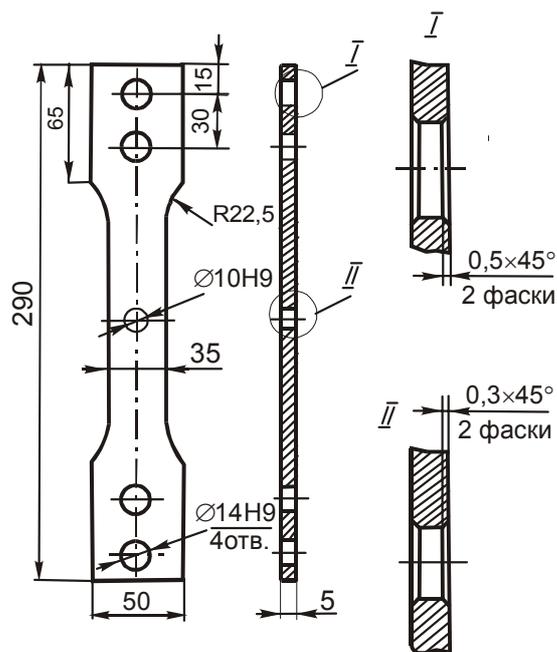


Рис. 1. Образец для исследования влияния радиального натяга и осевой затяжки болта, установленного в отверстие на усталостную долговечность полосы

На рис. 2 показано приспособление для усталостных испытаний образцов полосы с отверстием. Усталостные испытания проведены при коэффициенте асимметрии цикла нагружения $r=0,1$ на четырех уровнях нагружения, соответствующих величинам амплитуд напряжений $\sigma_a=193; 155; 135; 116$ МПа.

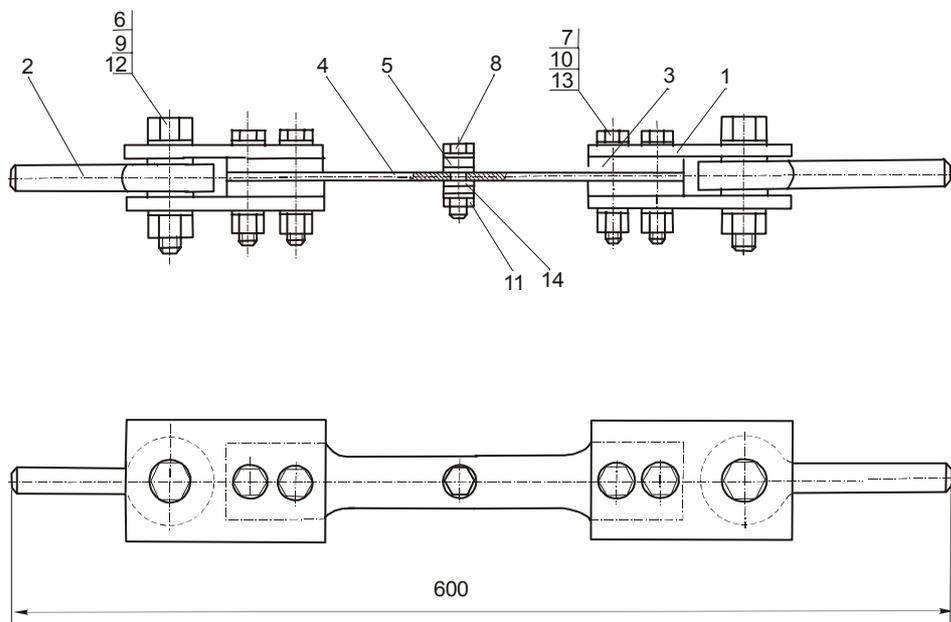


Рис. 2. Приспособление для усталостных испытаний образцов полосы с отверстием:

- 1 – накладка приспособления; 2 – проушина – захват; 3 – прокладка;
 4 – образец полосы с отверстием; 5 – втулка; 6 - 13 – крепежные элементы,
 8 – болт 10-50 КД-ОСТ 1 31124-80; 14 – шайба

На рис. 3 показан характер усталостного разрушения образцов со свободным отверстием и с отверстием, заполненным болтом с осевой затяжкой (см. рис. 2, поз 8). Разрушение образцов со свободным отверстием и осевой затяжкой болтов $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$ начиналось от стенки отверстия и происходило по сечению вблизи от его поперечной оси (рис. 3, поз. 1 и 2). При установке болтов с осевой затяжкой $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$ разрушение произошло от повреждения, нанесенного фреттинг-коррозией. Усталостная трещина началась в контактной зоне по внешней границе шайбы, распространилась до боковой поверхности образца, а потом произошел статический долом образца (рис. 3, поз. 3). Усталостное разрушение полосы при установке в отверстие болта с радиальным натягом $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ и затяжкой $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$ начиналось в зоне интенсивной фреттинг-коррозии по внешней границе шайбы (см. рис. 2, поз. 14).

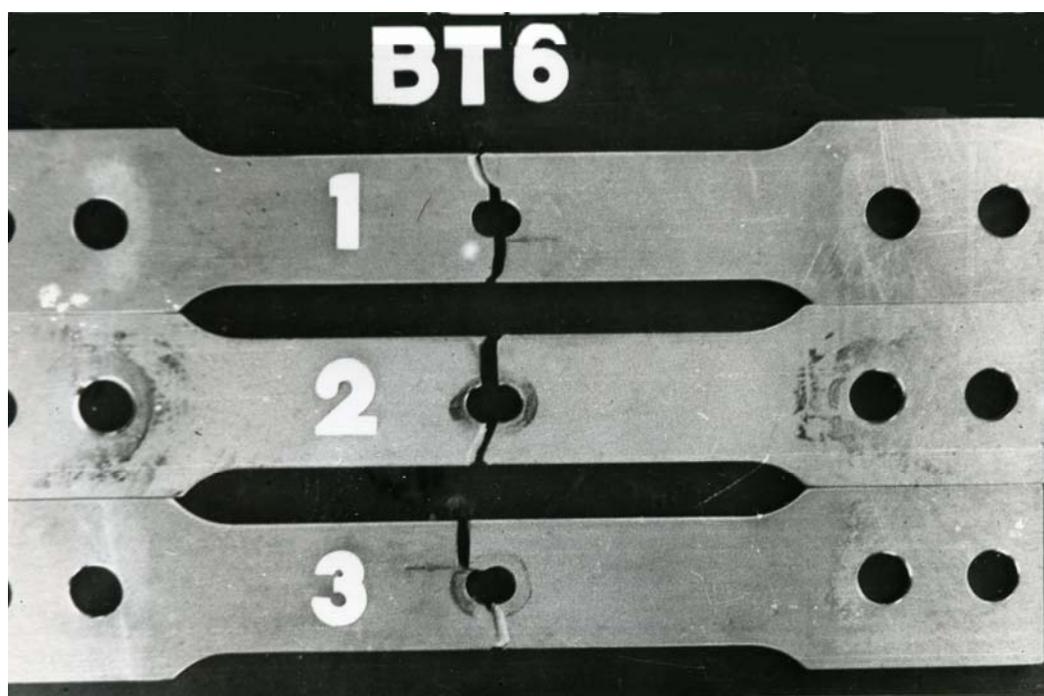


Рис. 3. Характер усталостного разрушения титановых образцов полосы с отверстием:

1 – свободным; 2 – заполненным болтом, установленным с осевой затяжкой до $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; 3 – заполненным болтом, установленным с осевой затяжкой до $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$

На рис. 4 приведены результаты усталостных испытаний полосы с отверстием при различных вариантах установки болтов. Стрелками отмечены результаты испытаний для несломавшихся образцов, цифрами рядом – их количество при данном числе циклов нагружения. Пересчет амплитуды напряжений от цикла с коэффициентом асимметрии $r = 0,1$, для которого проведены усталостные испытания, к максимальным напряжениям эквивалентного по повреждаемости отнулевого цикла проведен по формуле, полученной в работе [3].

$$\sigma_{\max 0} = \frac{2\sigma_{0,1}}{(1-r)^{0,7}}$$

Обработка экспериментальных данных проведена по методике, изложенной в работе [2]. В результате корреляционного анализа определено линейное корреляционное уравнение для двух случайных величин $x = \lg N$ и $y = \lg \sigma_{\max 0}$, оценки основных отклонений S_x, S_y , коэффициента корреляции $r_{1/1}$. Была определена оценка меры индивидуального рассеяния вокруг эмпирической линии регрессии для величины $y_i = \lg \sigma_i$ и оценка меры индивидуального рассеяния логарифма числа циклов или осредненной дисперсии по уровням напряжений с

использованием выражения $\hat{S}_y^2 = S_y^2(1-r_{1/1}^2)$; $\hat{S}_x^2 = S_x^2(1-r_{1/1}^2)$.

Уравнение линии регрессии для кривой усталости $\sigma_{\max 0i}^m N_i = C$ задано в виде $\lg \sigma_{\max 0i} = A + B \lg N_i$, где $A = \frac{\lg c}{m}$, $B = -\frac{1}{m}$.

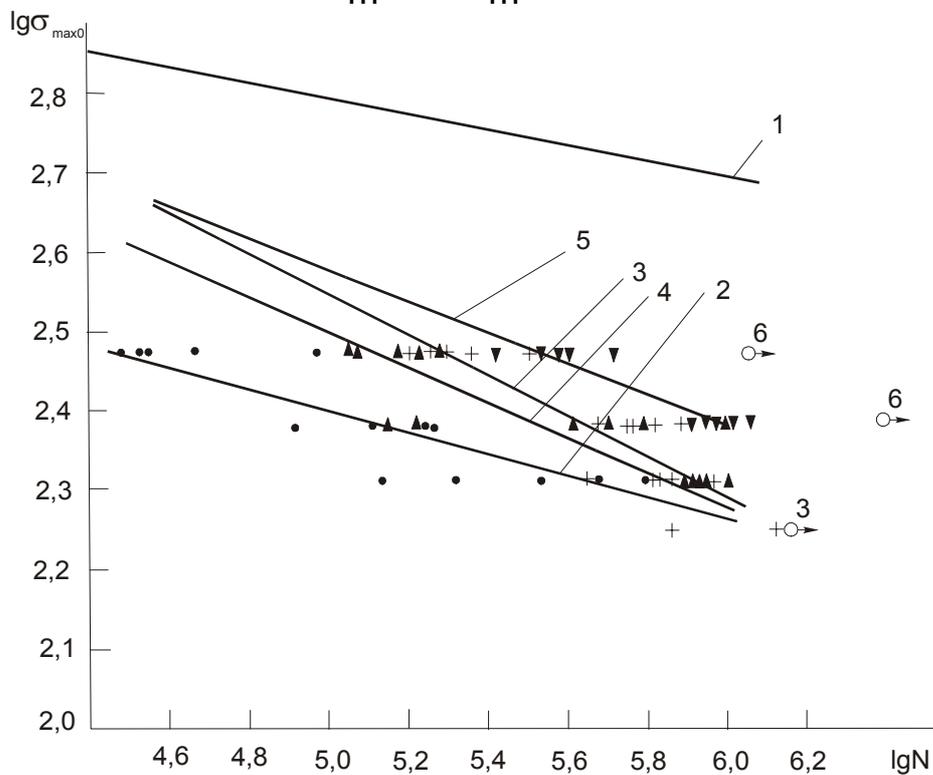


Рис. 4. Результаты усталостных испытаний полосы с отверстием из сплава ВТ6 при различных вариантах установки болтов:

1 – кривая усталости сплава ВТ6; 2, 3, 4, 5 – кривая усталости полосы с отверстием из сплава ВТ6; 2 – свободное отверстие; 3 – болт установлен с затяжкой $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($\sigma_k=90 \text{ МПа}$); 4 - $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($\sigma_k=45 \text{ МПа}$); 5 – болт установлен с $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ и $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; • - свободное отверстие; + - $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$; ▲ - $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; ▼ - $\bar{\Psi}=0,6 \% d$, $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; ○ - $\bar{\Psi}=0,6 \% d$

Значения показателя степени m как постоянной C , коэффициентов линии регрессии A и B определены в результате регрессионного анализа результатов усталостных испытаний образцов полосы с отверстием и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вариант заполнения отверстия	A	B	m	c	$\sigma_{\max 0}$	$\overline{\lg \sigma_{\max 0}}$
(1) Свободное отверстие	3,0816	-0,1364	7,33	$3,88 \cdot 10^{22}$	$1207 \cdot N_{0,1364}^{-}$	2,393
(2) Затяжка болта $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $\sigma_K=90 \text{ МПа}$	3,8327	-0,2568	3,894	$8,41 \cdot 10^{14}$	$6803 \cdot N_{0,2568}^{-}$	2,371
(3) Затяжка болта $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $\sigma_K=45 \text{ МПа}$	3,6046	-0,2212	4,521	$1,98 \cdot 10^{16}$	$4024 \cdot N_{0,2212}^{-}$	2,365
(4) Радиальный натяг $\overline{\Psi}=0,6 \% d$; Затяжка болта $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $\sigma_K=45 \text{ МПа}$	3,564	-0,1974	5,066	$1,135_8 \cdot 10^1$	$3664 \cdot N_{0,1974}^{-}$	2,4235

Продолжение табл.1

$S_{\lg N}$	$\overline{\lg N}$	$S_{\lg \sigma_{\max 0}}$	$r_{1/1}$	$\hat{S}_{\lg N}$	$\hat{S}_{\lg \sigma_{\max 0}}$	S_A	S_B
0,435	5,049	0,06659	0,89	0,1983	0,096	0,0496	0,7691
0,2636	5,6908	0,07668	0,85	0,1389	0,042	0,0336	0,4527
0,37	5,5995	0,09585	0,854	0,1925	0,0499	0,0497	0,5367
0,2318	5,7793	0,049	0,934	0,0828	0,0175	0,02618	0,5877

В табл. 1 представлены также средние значения $\overline{\lg N}$ и $\overline{\lg \sigma_{\max 0}}$, оценки дисперсий коэффициентов A и B уравнения эмпирической линии регрессии S_A , S_B и оценки меры индивидуального рассеяния вокруг эмпирической линии регрессии

$$\hat{S}_{\lg N}, \hat{S}_{\lg \sigma_{\max 0}}$$

На рис. 4 показаны эмпирические линии регрессии, полученные в результате обработки экспериментов. Точками нанесены результаты усталостных испытаний полосы с отверстием. Кривая 1 показывает усталостную долговечность сплава ВТ6, рассчитанную по формуле $\sigma_{\max 0}=1993 \cdot N^{-0,101}$, приведенную в работе

[3]. Точками 6 показаны результаты усталостных испытаний полосы с отверстием, в которое установлен болт с радиальным натягом $\bar{\Psi} = 0,6 \% d$ без затяжки. Образцы не доводились до разрушения. На уровне разрушения, соответствующем $\sigma_{\max 0} = 238$ МПа, образцы сняли с испытаний по достижении $N = 3250000$ циклов, а на уровне -- $\sigma_{\max 0} = 295$ МПа образцы сняли с испытаний по достижению $N = 1150000$ циклов. Образец, снятый с испытаний на уровне $\sigma_{\max 0} = 238$ МПа, удалось разрушить на более высоком уровне напряжений $\sigma_{\max 0} = 295$ МПа после $N = 250000$ циклов нагружения на этом уровне. Осмотр разрушенного образца показал наличие следов интенсивной фреттинг-коррозии на стенке отверстия, которая и привела к усталостному разрушению образца полосы с отверстием.

Анализ характера усталостного разрушения образцов полосы с отверстием, заполненным болтом с радиальным натягом $\bar{\Psi} = 0,6 \% d$ и осевой затяжкой $M_3 = 20$ Н·м, показал, что фреттинг-коррозия под шайбами значительно уменьшила положительное влияние радиального натяга на усталостную долговечность полосы. Для радиального натяга $\bar{\Psi} = 0,6 \% d$ фреттинг-коррозия, вызванная затяжкой $M_3 = 20$ Н·м, привела к уменьшению усталостной долговечности более чем в 3,3 раза.

На рис. 5 приведена кривая (1) усталостной долговечности полосы с отверстием, заполненным болтом с радиальным натягом $\bar{\Psi} = 0,6 \% d$ и осевой затяжкой $M_3 = 20$ Н·м. Положительное влияние радиального натяга нейтрализовало негативное влияние концентрации напряжений, вызванное отверстием, на ее усталостную долговечность. Основной причиной усталостного разрушения стала фреттинг-коррозия в контактной зоне полосы с шайбой. Кривая 2 получена в результате расчета усталостной долговечности гладкой полосы в зоне фреттинг-коррозии по методике, приведенной в работе [4]: $\sigma_{\max 0 \text{ фр}} = 1884 \cdot N^{0,1493}$, $N < 500000$; $\sigma_{\max 0 \text{ фр}} = 61334 \cdot N^{-0,4164}$, $N > 500000$.

В диапазоне чисел циклов до разрушения $N \in [2 \cdot 10^5, 1,4 \cdot 10^6]$ получено удовлетворительное соответствие результатов расчета с экспериментом. Относительная погрешность меньше 50 % при высоких уровнях нагружения, когда фреттинг-коррозия еще недостаточно развита. При низких уровнях нагружения $\sigma_{\max 0} < 300$ МПа и $N > 300000$ погрешность - менее 20%.

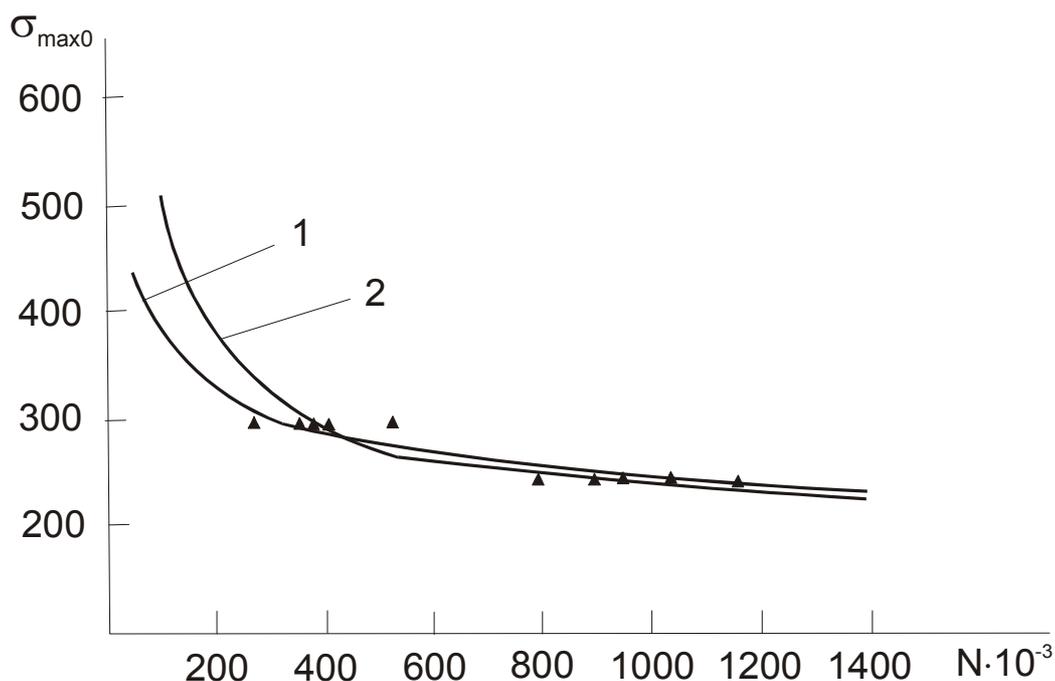


Рис. 5. Сравнение расчетной и экспериментальной усталостных долговечностей полосы с отверстием, заполненным болтом с радиальным натягом $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ и осевой затяжкой $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($\sigma_K=45 \text{ МПа}$) в зоне

Фреттинг - коррозии: 1 – кривая усталости $\sigma_{\max 0}=4024 \cdot N^{-0,2212}$; уравнение получено после регрессионного анализа результатов экспериментов для полосы с отверстием; 2 – кривая усталости гладкой полосы из сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии [4]; $\sigma_{\max 0\text{фр}}=61334 \cdot N^{-0,4164}$ при $N > 500000$, $\sigma_{\max 0\text{фр}}=1884 \cdot N^{-0,1493}$ при $N < 500000$; ▲ – эксперимент

На рис. 6 приведены кривые усталости полосы с отверстием из сплава ВТ6, построенные по формулам для $\sigma_{\max 0} = 10^A \cdot N^B$ (см. табл.1, колонка 6). Видно, что при долговечностях $N > 1,4 \cdot 10^6$ осевая затяжка болта становится неэффективным средством повышения усталостной долговечности полосы с отверстием. Усталостная долговечность полосы с болтом, установленным с затяжкой, понижается до значений долговечности со свободным отверстием.

Определение влияния установки болта в отверстие в полосе на ее усталостные характеристики определялось при помощи эффективного коэффициента концентрации напряжений (K_σ): $K_\sigma = \frac{\sigma_{\max 0}}{\sigma_{\max 0i}}$, где $\sigma_{\max 0}$ – максимальные напряжения для гладкой полосы при числе циклов до разрушения N_j , вычисленные по формуле $\sigma_{\max 0}=1993 \cdot N^{-0,101}$ [3];

$\sigma_{\max 0п}$ – максимальные напряжения в сечении брутто для полосы со свободным или заполненным отверстием при том же числе циклов до разрушения N_j .

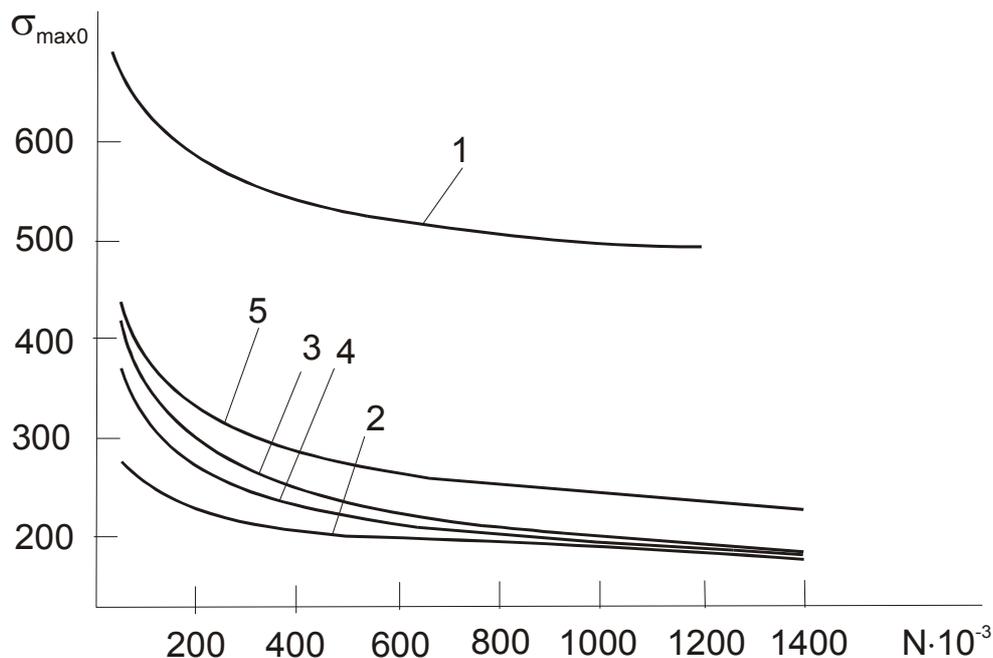


Рис. 6. Кривые усталости полосы с отверстием из сплава ВТ6:
 1 – кривая усталости сплава ВТ6; 2, 3, 4, 5 – кривые усталости полосы с отверстием из сплава ВТ6; 2 – свободное отверстие; 3 – затяжка болта $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$; 4 – затяжка болта $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{М}$; 5 – радиальный натяг $\bar{\Psi}=0,6 \% d$, затяжка $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Для исследованных вариантов установки болта в отверстие в полосе получены формулы для расчета K_{σ} , которые приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вариант установки болта	K_{σ}	$K_{\sigma j/1}$	$K_{Nj/1}$
(1) Свободное отверстие	$1,651 \cdot N^{0,0354}$	1	1
(2) $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$0,293 \cdot N^{0,1558}$	$5,636 \cdot N^{-0,1204}$	$2,168 \cdot 10^{-8} \cdot \sigma_{\max 0}^{3,436}$
(3) $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$0,495 \cdot N^{0,1202}$	$3,334 \cdot N^{-0,0848}$	$5,103 \cdot 10^{-7} \cdot \sigma_{\max 0}^{2,809}$
(4) $\bar{\Psi}=0,6 \% d$; $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$0,544 \cdot N^{0,0964}$	$3,036 \cdot N^{-0,061}$	$2,925 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{\max 0}^{2,264}$

На рис. 7 представлены зависимости эффективного коэффициента концентрации напряжений от числа циклов до разрушения для исследованных вариантов установки болта в отверстие.

Эффективность радиального натяга и осевой затяжки болтов как средств повышения усталостной прочности полосы с отверстием определялось через

коэффициент $K_{\sigma j/1}$: $K_{\sigma j/1} = \frac{\sigma_{\max 0j}}{\sigma_{\max 01}}$, где $\sigma_{\max 0j}$ – максимальные напряжения для

полосы с установленным в отверстие болтом при числе циклов N_j ;

j – номер строки в табл. 1;

$\sigma_{\max 01}$ – максимальные напряжения в полосе со свободным отверстием при числе циклов N_j .

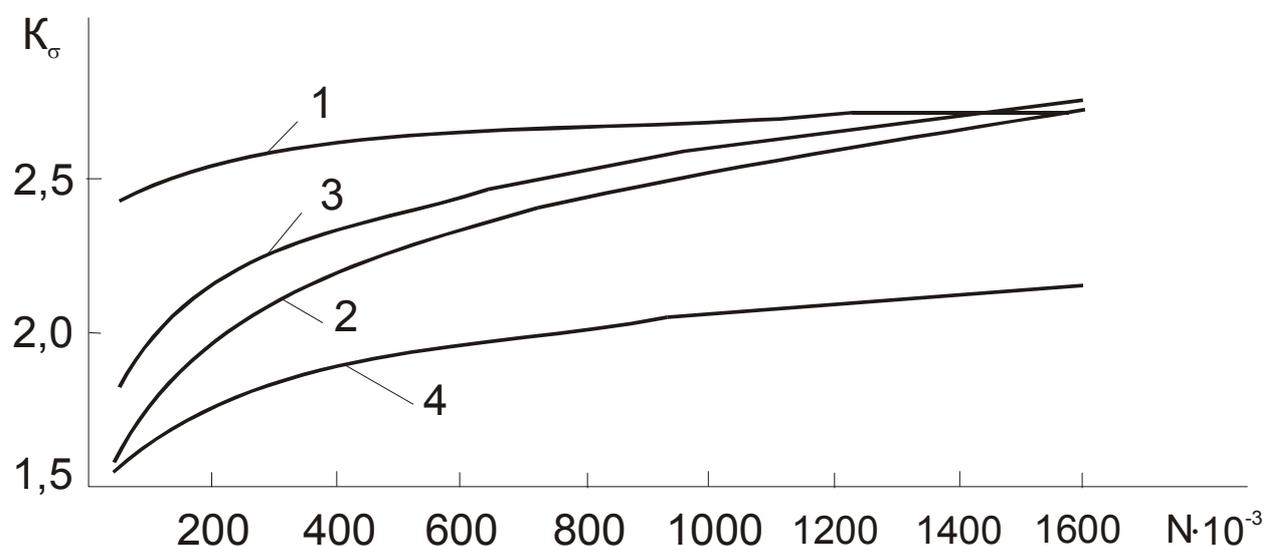


Рис. 7. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений для полосы с отверстием при различных вариантах установки болта в отверстие:

1 - свободное отверстие; 2 - $M_3=40 \text{ Н} \cdot \text{м}$; 3 - $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

4 - $\bar{\Psi}=0,6 \% d$, $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Значения $K_{\sigma j/1}$ для различных вариантов установки болта в отверстие приведены в табл. 3.

Таблица 3

N	$5 \cdot 10^4$	10^5	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	10^6	$1,2 \cdot 10^6$
$k_{\sigma 2/1}=5,635 \cdot N^{-0,1204}$	1,532	1,409	1,296	1,193	1,161	1,136	1,097	1,068	1,045
$k_{\sigma 3/1}=3,334 \cdot N^{-0,0848}$	1,332	1,256	1,184	1,117	1,096	1,079	1,053	1,033	1,017
$k_{\sigma 4/1}=3,036 \cdot N^{-0,061}$	1,569	1,504	1,442	1,382	1,364	1,348	1,325	1,307	1,293

Эффективность осевой затяжки и радиального натяга определяется коэффициентом повышения выносливости $K_{Nj/1} = \frac{N_j}{N_1}$, где N_j – выносливость полосы с отверстием заполненным болтом при той же величине $\sigma_{\max 01}$.

В табл. 4 приведены значения коэффициентов повышения выносливости для исследованных вариантов установки болтов в отверстие в полосе.

Таблица 4

$\sigma_{\max 01}$, МПа	200	250	300	350
N_J	528024	102841	27018	8727
$K_{N2/1}=2,168 \cdot 10^{-8} \cdot \sigma_{\max 0}^{3,436}$	1,747	3,762	7,037	11,95
$K_{N3/1}=5,103 \cdot 10^{-7} \cdot \sigma_{\max 0}^{2,809}$	1,484	2,777	4,635	7,14
$K_{N4/1}=2,925 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{\max 0}^{2,264}$	4,738	7,853	11,867	16,82

Выводы

1. По результатам усталостных испытаний получены аналитические зависимости для определения усталостной долговечности полосы с отверстием при различных вариантах установки болта.
2. Эффективность применения радиального натяга и осевой затяжки болтов определена при помощи эффективных коэффициентов концентрации напряжений и коэффициентов повышения выносливости полосы с отверстием.
3. Выносливость полосы с отверстием возрастает более всего при совместном применении радиального натяга $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ и осевой затяжки $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$. При базовой выносливости полосы со свободным отверстием $N_1 = 8727$ циклов применение радиального натяга и затяжки дает повышение выносливости в 16,8 раза, а при $N_1 = 528024$ циклов - в 4,738 раз. При возрастании базовой долговечности полосы со свободным отверстием из-за вредного влияния фреттинг-коррозии эффективность применения затяжки и радиального натяга значительно снижается.
4. Применение болтов, установленных с радиальным натягом $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ без осевой затяжки, повышает выносливость полосы с отверстием более чем в 3,3 раза по сравнению со случаем, когда болт установлен с радиальным натягом $\bar{\Psi}=0,6 \% d$ и осевой затяжкой $M_3=20 \text{ Н} \cdot \text{м}$, т.к в этом случае не возникает фреттинг-коррозия под шайбами.

Список литературы

1. Гребеников А. Г. Методология интегрированного проектирования сборных самолетных конструкций регламентируемой долговечности // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Х.: НАКУ «ХАИ». - 2003. - Вып. 23. – С. 191 – 200.
2. 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.
3. Гребеников А. Г., Клименко В. Н. Сопrotивление усталости титанового сплава BT6 // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ «ХАИ». - 2005. - Вып. 42(3). – С. 37 – 46.
4. Гребеников А. Г., Клименко В. Н. Методика определения влияния фреттинг-коррозии на усталостную долговечность гладких конструктивных элементов из титанового сплава BT6 // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». - 2005. – Вып. 29. – С. 57 – 68.

Анализ расходов воздуха в раздаточных отверстиях распределительной трубы ВТПОС самолета с учетом докритических режимов течения

АНТК им. О.К. Антонова

Традиционная методика подбора диаметров отверстий в распределительной трубе воздушно-тепловой противообледенительной системы (ВТ ПОС) самолета исходит из следующих положений [1]:

- на всех режимах работы системы соотношение между расходами воздуха через отверстия в разных точках распределительной трубы изменяется незначительно, что достигается обеспечением критического режима истечения через отверстия;
- подбор диаметров отверстий осуществляется на одном, наиболее напряженном режиме, и распределение воздуха проверяется на других основных гидравлических режимах. В наземных условиях проводится проверка работоспособности системы на стенде;
- в наиболее напряженном режиме по известному расходу воздуха G , заданной на входе температуре торможения T^* , располагаемому полному давлению источника давления P_u^* (определяются из общих требований к системе) из условия постоянства диаметра распределительной трубы и возможности эквивалентирования всех сечений отверстий одним суммарным (при критическом режиме течения на каждом из отверстий) определяется диаметр распределительной трубы и суммарное сечений всех отверстий F_s ;
- по F_s определяются число отверстий, их диаметр и шаг.

Данная методика подтверждается экспериментально для длины трубы до 5.0 м при скорости течения воздуха в ней порядка 50 ... 70 м/с. При исследовании гидравлических режимов таких ВТ ПОС ранее использовался ПК "СКОРОСТЬ", в котором расчеты велись на основе газодинамических функций [1], где для адекватности модели необходимым было экспериментальное определение зависимой от режима величины коэффициента площади μF .

При современном развитии самолетостроения с увеличением размаха крыльев длина распределительной трубы может превышать 10 м, а ее диаметр может быть переменным, уменьшаясь вдоль потока. Следовательно, методика должна быть уточнена. Настоящая работа посвящена решению актуальной задачи исследования противообледенительных систем современных и перспективных самолетов.

Рассмотрим простейший вариант противообледенительной системы, состоящей из последовательных труб уменьшающихся диаметров (рис. 1).

Математическая газодинамическая модель расчета ВТ ПОС (показанной на рис. 1 и для более сложных вариантов), используемая для исследования гидравлики системы, должна удовлетворять условиям высокой точности и адекватности моделирования реальных режимов течения. Для этого необходимо высокоточное моделирование процессов в элементах ПОС: в выходных сечениях (критические и докритические режимы течения воздуха), в распределительной трубе, а также на местных сопротивлениях, включая и тройники.

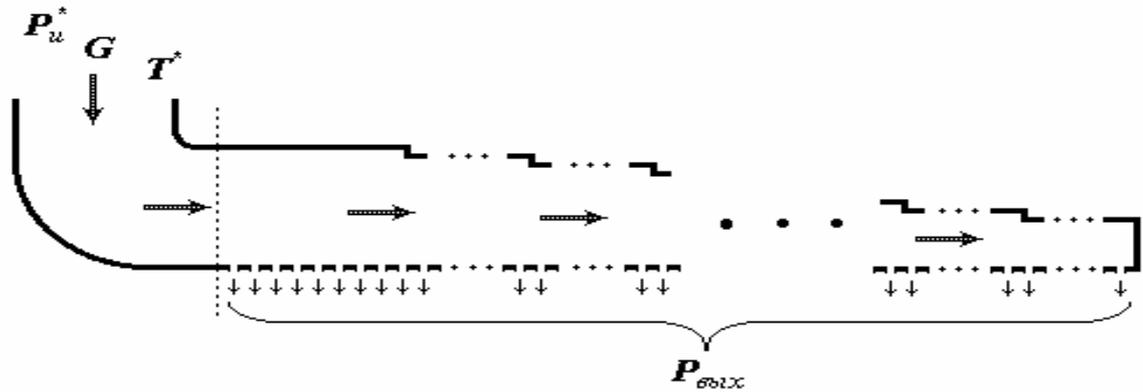


Рис. 1. Расчетная схема и режимные данные для варианта ПОС – распределительная труба с последовательно уменьшающимися диаметрами

Модель процессов в выходных сечениях отверстий может быть с высокой точностью описана газодинамическими функциями [2]. Пусть λ - коэффициент скорости $\lambda = w / a_{кр}$, где w – скорость потока воздуха, $a_{кр}$ – критическая скорость (скорость звука) в потоке $a_{кр} = 18.3 \cdot \sqrt{T^*}$. Тогда по статическому давлению с учетом скорости набегающего потока можно определить полное давление на выходном сечении отверстия. Для этого по величине расхода воздуха через отверстие $G_{отв}$, статическому наружному давлению $P_{ст}$, сечению отверстия $F_{отв}$ и температуре торможения T^* определяется значение функции $y(\lambda)$

$$y(\lambda) = \lambda / (1 - \lambda^2 / 6) = G \cdot \sqrt{T^*} / (0.3965 \cdot F \cdot P_{cm}) \quad (1)$$

для $G = G_{отв}$ и $F = F_{отв}$.

Если $y(\lambda) > y(1)$, то имеет место критический режим. Скорость истечения на выходном сечении равна $a_{кр}$ и $\lambda_{облх} = 1$, а минимально возможное статическое давление $P_{мин}$ на выходном сечении отверстия тогда определяется из соотношения (1) при $y(\lambda) = y(1)$. При $y(\lambda) < y(1)$ значение $\lambda_{облх}$ находится обращением функции $y(\lambda)$. Значение полного давления находим из соотношения

$$q(\lambda) = 1.2^{2.5} \cdot \lambda \cdot (1 - \lambda^2 / 6)^{2.5} = G \cdot \sqrt{T^*} / (0.3965 \cdot F \cdot P^*), \quad (2)$$

для $G = G_{отв}$ и $F = F_{отв}$, где при $\lambda = 1$ значение $q(\lambda) = 1$.

Для расчета перепада давления на трубе постоянного сечения при постоянной температуре торможения одной из наиболее точных является описанная в [2] модель на основе газодинамических функций, состоящая в следующем:

1. По значениям G , T^* , P^* и площади поперечного сечения F согласно (2) определяется $q(\lambda)$. При $q(\lambda) \geq 1$ принимается $q(\lambda) = 1$, $\lambda_2 = 1$ и тогда фактическое полное давление P_2^* на выходном сечении трубы определяется из соотношения (2), где разность $P^* - P_2^*$ – скачок уплотнения. При $q(\lambda) < 1$ коэффициент скорости на конце участка трубы λ_2 определяется обращением функции $q(\lambda_2)$.
2. Определяется λ_1 в начале (по потоку) трубы из соотношения

$$\varphi(\lambda_1) - \varphi(\lambda_2) = [1/\lambda_1^2 + 2 \cdot \ln(\lambda_1)] - [1/\lambda_2^2 + 2 \cdot \ln(\lambda_2)] = 7/6 \cdot \xi_{н,тр} \quad (3)$$
 где $\xi_{н,тр}$ – коэффициент сопротивления трения трубы, рассчитанный для несжимаемой жидкости.
3. По λ_1 определяется $q(\lambda_1)$, а по нему из соотношения (2) и полное давление в начале (по потоку) трубы.

Высокая точность расчета потерь давления на местных сопротивлениях достигается в методе приведенной длины, когда расчет потерь давления ведется, как и для трубы с $\xi_{н,пр} = \xi_M$, где ξ_M – коэффициент местного сопротивления, рассчитанный для несжимаемой жидкости и приведенный к истинной скорости течения. При расчетах потерь давления на местных сопротивлениях в случае несжимаемой жидкости можно пользоваться (и это часто делают) пересчетом коэффициента местного сопротивления на другую скорость, где коэффициент пересчета обратно пропорционален квадрату скорости. Но в случае сжимаемой жидкости это вносит погрешность в определение перепада давления.

При расчете перепада давления по методике приведенной длины для местного сопротивления с коэффициентом $\xi_M = 1$ величина такой погрешности в зависимости от скорости в выходном (по потоку) сечении показана графиком на рис. 2 как функция отношения $G/G_{кр}$ – расхода к критическому значению расхода (под $G_{кр}$ понимается такое значение расхода, при котором на выходном сечении имеет место критический режим течения, но величина скачка уплотнения равна нулю). Там же на рис. 2 изображен график зависимости для коэффициента скорости λ как функция отношения $G/G_{кр}$. При расчетах в обоих случаях полагалось одинаковое сечение трубы, а при значении расхода во втором варианте в два раза меньшем чем в первом, величина $\xi_{M,1} = 4$, а $\xi_{M,2} = 1$ (обратно пропорционально квадрату скорости). Полное давление на выходном сечении элемента равнялось 1атм, а температура торможения $T^* = 15^\circ\text{C}$.

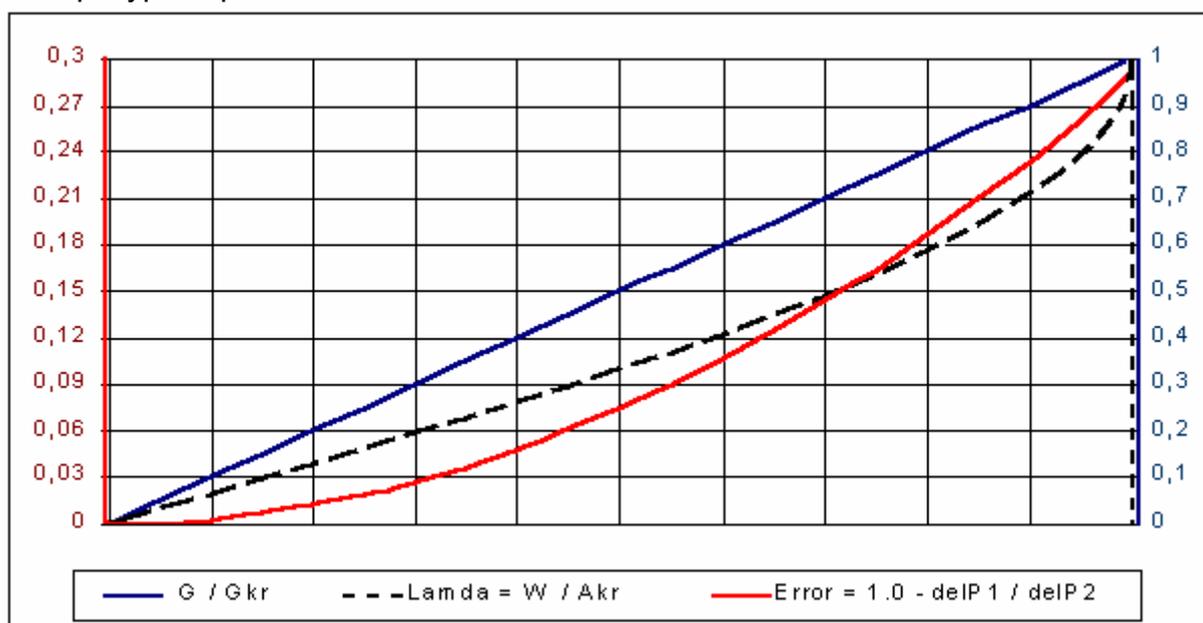


Рис. 2. Величина погрешности расчета потерь давления по приведенной длине ($\xi_M = 1$) и коэффициента скорости λ в зависимости от соотношения $G/G_{кр}$

Из анализа графиков, (рис. 2), следует, что погрешность определения перепада давления превышает 6 % уже при $G/G_{кр} > 0.3$, т.е. при $\lambda > 0.2$. Следовательно, переприведение коэффициента местного сопротивления на иную скорость нецелесообразно, поскольку в современных ВТ ПОС в трубах $\lambda > 0.25$, а на выходных отверстиях обычно близко к $\lambda = 1$.

При расчетах тройников в соответствии с моделями, описанными в [3], для каждого типа тройника перепад давления на парах его относился к скорости в сборном рукаве. Использование такой модели для расчетов воздушных распре-

делительных сетей, как видно из рис.2, вносит погрешность, которая достигает 29 % на околокритических режимах течения. Кроме того, описанная в [3] базовая модель содержала разрывы в перепадах давлений при переходах от одного типа тройника к другому. Ее уточнение было предложено в [4]. На основании последней в [5] дано описание способа отнесения суммарных коэффициентов сопротивлений, приведенных к скорости в сборном рукаве, на сопротивления каждого из трех элементов, а для близких к нулю отношениях расходов в боковом ответвлении и сборном рукаве тройника также дополнительный перепад давления для бокового ответвления, рассчитываемый как доля скоростного напора сборного рукава. Такой способ проверялся на множественных схемах сетей и в сочетании с описанными выше способами определения перепадов давления на выходных сечениях (на трубах и на местных сопротивлениях), реализованных в программном комплексе СЕТЬВЭ, позволил обеспечить высокую точность расчетов расходов в распределительных сетях. Опыт использования ПК СЕТЬВЭ позволяет надеяться на высокую точность определения расходов воздуха через отверстия в распределительных трубах ВТ ПОС произвольной конфигурации. Основанием для этого является также близость результатов исследования упрощенных схем ВТ ПОС по традиционной методике и с помощью ПК СЕТЬВЭ.

На точность расчета влияет способ выделения типовых элементов схемы и формирования расчетной схемы. При формировании расчетной гидравлической схемы для варианта ВТ ПОС, показанного на рис.1, схему условно делили на три части: начальный участок, распределительная труба и отверстия.

Начальный участок может иметь произвольную структуру элементов и включать в себя прямые участки труб, повороты потока, дроссельные шайбы, компенсаторы и т.п. Определение коэффициентов потерь ξ (рассчитанных на истинную скорость течения) для таких элементов ведется согласно [3].

Участки распределительной трубы между отверстиями представлялись прямой трубой соответствующего диаметра и длиной, равной расстоянию между отверстиями. При фактическом изменении диаметра распределительной трубы (внезапные сужения) учитывался коэффициент местного сопротивления сужения, определяемый согласно [3]. При плавном изменении диаметра распределительной трубы она представляется системой труб с уменьшающимися диаметрами неизменного сечения, поскольку все известные в гидравлике зависимости для определения перепада давления на элементе предполагают постоянство его сечения.

Отверстия представлялись участком прямой трубы с длиной, равной толщине распределительной трубы, и его диаметром. Если несколько отверстий объединялись в одно, то диаметр определялся по суммарной площади всех таких отверстий. На гидравлической схеме само отверстие обозначалось тройником с углом 90° .

Каждое из отверстий могло иметь свой диаметр $d_{\text{отв}}$. Его изменением можно добиться обеспечения равномерности раздачи воздуха в выбранном режиме работы системы, где, как правило, из-за потерь давления в распределительной трубе в направлении течения воздуха требуется увеличивать сечение отверстий.

Для каждого из отверстий может быть задано свое граничное значение статического давления, соответствующее режиму функционирования системы, но допустимым также является режим, когда задается единое значение граничного статического давления, как это показано на рис.1.

При дискретно уменьшающихся диаметрах распределительной трубы варианта ВТ ПОС крыла самолета длиной 10.3 м были подобраны диаметры отверстий для наземного режима работы системы. После чего понижением входного давления с помощью ПК СЕТЬВЭ проведена расчетная проверка равномерности распределения расходов воздуха через отверстия по длине распределительной трубы для различных расчетных режимов, в том числе и докритического истечения через раздаточные отверстия. При этом оказалось, что расходы через первое и последнее отверстия вплоть до высоты 5 км отличались не более чем на 4% и только на высоте 6 км они отличаются на 8 %. Следовательно, требуемая равномерность распределения воздуха через отверстия обеспечивается. Полученные результаты для наземного режима работы системы будут проверены на создаваемом натурном стенде.

Равномерность распределения воздуха через раздаточные отверстия на докритических режимах течения воздуха является неожиданным результатом. Для его обоснования были проведены дополнительные исследования, а именно расчеты для единичного отверстия, представленного в виде прямой трубы его диаметра и коэффициентом местного сопротивления $\xi_M = 1$. При значении $P_{ст} = 1$ на выходном сечении отверстия и температуре торможения $T^* = 20^\circ\text{C}$ были получены соотношения для скорости изменения давления в начале отверстия как функции безразмерной величины $G/G_{кр}$, по которой определен также коэффициент скорости λ . Графики таких зависимостей показаны на рис. 3.

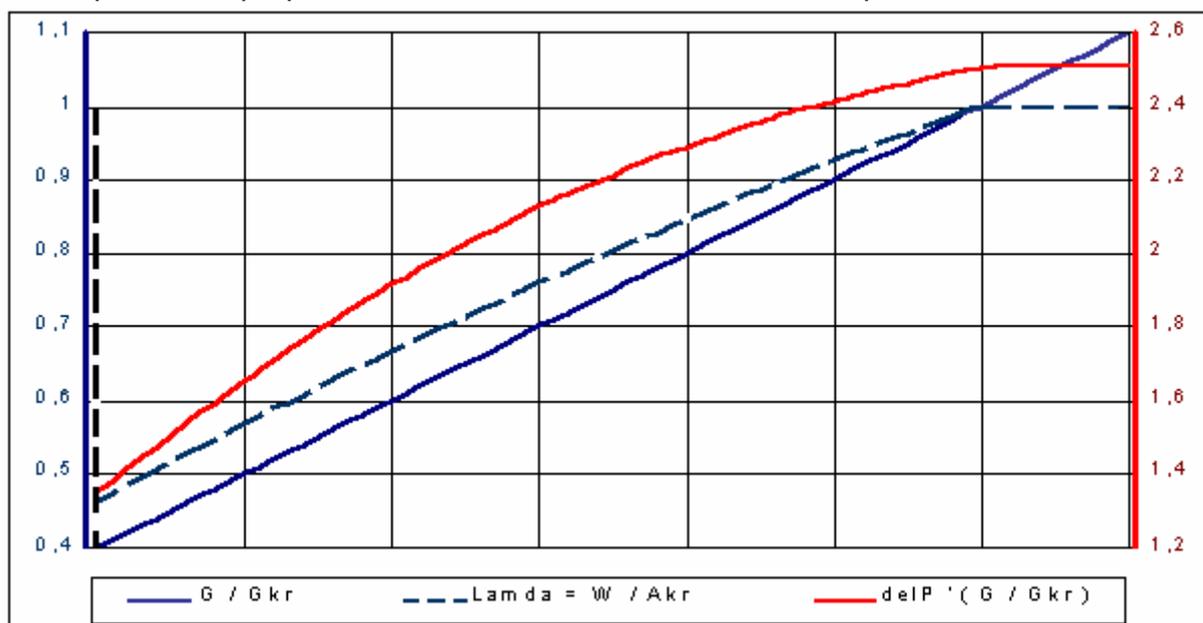


Рис. 3. Скорость изменения перепада давления от соотношения $G/G_{кр}$

Анализ графиков, изображенных на рис.3. показывает, что в случае критических режимов течения воздуха через выходное сечение значение производной перепада давления по соотношению $G/G_{кр}$ равно константе (зависимой от T^*). Уменьшение такого соотношения не приводит к резкому изменению производной и на части докритических режимов уменьшению расхода соответствует примерно такое же быстрое изменение давления, как и в случае критического режима.

Пусть равномерное распределение воздуха достигнуто для некоторого суммарного расхода G_{Σ} в распределительной трубе, когда имеет место критический режим течения на всех раздаточных отверстиях, и суммарная площадь от-

верстий меньше площади входного сечения распределительной трубы. Тогда режим течения в трубах будет близким к автомодельному и будет слабо меняться (уменьшаться) $\xi_{н,тр}$ на каждом из участков распределительной трубы. Следовательно, на каждом из участков практически неизменными (согласно соотношению (3)) окажутся коэффициенты скорости, а значит, практически неизменными будут скорости потоков и соотношения расходов через распределительные отверстия. В таком варианте при уменьшении G_{Σ} и достижении докритического режима на части или на всех распределительных отверстиях качественная картина для соотношения расходов через отверстия будет иной. В силу медленного изменения производной перепада давления на отверстия по расходу через него имеет место резкое уменьшение уровня давления в распределительной трубе и скорости в ней. Для большинства тройников отношение расхода в боковом ответвлении к расходу в сборном рукаве близко к нулю, и для них отличен от нуля дополнительный перепад давления на боковых ответвлениях (рассчитывается как доля скоростного напора сборного рукава и убывает вдоль потока), который падает при падении давления в трубе. Одновременно растет коэффициент сопротивления потерь на трение $\xi_{н,тр}$.

Для исследования совместного влияния всех перечисленных выше факторов, а также длины распределительной трубы проводились численные эксперименты с использованием ПК СЕТЬВЭ для простейшего варианта ВТ ПОС, принципиальная схема которого соответствует показанной на рис. 1. При длине распределительной трубы 6.4 м ее диаметр уменьшался от 0.061 до 0.018 м так, чтобы примерно одинаковой была скорость течения воздуха. Диаметры отверстий подбирались из условия равномерности распределения расходов через отверстия для варианта критического режима течения на всех отверстиях, достигаемого при $G_{кр,\Sigma} = 2100$ кг/ч (суммарный критический расход). В расчетной схеме группа отверстий объединялась в одну, а все множество отверстий представляется их числом, равным 64 при расстоянии между ними 0.1 м. В качестве граничных условий при численных экспериментах задавались: $T^* = 200^{\circ}\text{C}$; $P_{ст} = 1$ атм и менялась величина G_{Σ} .

Изменение распределения расходов через отверстия для разных режимов течения хорошо описывается соотношением расходов в первом g_1 и последнем g_{64} (по потоку) отверстиях: $r_g = g_{64}/g_1$. Расчетные данные по изменению r_g в зависимости от величины суммарного расхода представлены ниже в таблице для длины распределительной трубы 6.4 м.

Изменения коэффициента r_g в зависимости от суммарного расхода G для разных длин распределительной трубы

L, м	G, кг/час									
	4	40	400	800	1200	1600	2000	2400	4000	40000
10.24	0.146	0.693	0.842	0.883	0.9173	0.9395	0.9518	0.9546	0.9602	0.9695
6.40	0.345	0.804	0.909	0.948	0.9727	0.9892	0.9988	1.0006	1.0043	1.0106
2.56	0.694	0.947	1.001	1.021	1.0347	1.0442	1.0505	1.0512	1.0522	1.0556
1.024	0.900	1.017	1.042	1.053	1.0617	1.0679	1.0726	1.0729	1.0736	1.0747

Кроме базового расчетного варианта для оценки влияния длины распределительной трубы были проведены расчеты для расстояний между отверстиями, равными 0.16, 0.04 и 0.016 м (длина трубы соответственно 10.24, 2.56 и 1.024 м) для всех прочих неизменных расчетных условий. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- для $G_{\Sigma} > G_{кр,\Sigma}$ коэффициент r_g медленно растет с ростом G , а скорость такого роста увеличивается с длиной распределительной трубы. Для приведенных данных такое отношение меняется не более чем на 2 %;
- в диапазоне околокритических режимов ($1600 < G_{\Sigma} < 2400$) для коэффициента r_g характерно более резкое изменение, но и в этом случае отклонение от данных для критического суммарного расхода не превышает 2 %;
- для варианта наибольшей длины с ростом G_{Σ} коэффициент r_g растет наиболее быстро. В диапазоне $800 < G_{\Sigma} < 1600$ он увеличивается на 6 %, а во всем диапазоне расходов от $G_{\Sigma} = 800$ и выше коэффициент r_g увеличивается всего на 10%. Для меньшего диапазона изменения коэффициента r_g , а также в области меньших (докритических) расходов G_{Σ} диапазон допустимых расходов будет уменьшаться.

Выводы

При исследованиях гидравлических режимов ВТ ПОС, где характерны критические режимы течения воздуха, имеет существенное значение точность моделирования процессов на раздаточных отверстиях, распределительных трубах и на тройниках. Использование высокоточных алгоритмов расчета потерь давления на таких элементах, реализованных в ПК СЕТЬВЭ, позволило обеспечить высокую точность расчета расходов через раздаточные отверстия распределительных труб длиной до 5 м без использования зависимой от режима величины коэффициента площади μF . В то же время предложенный подход не имеет ограничений на длину распределительной трубы и на режимы течения воздуха и позволяет подобрать диаметры раздаточных отверстий, обеспечивающие равномерную раздачу воздуха через отверстия как для критического, так и докритического режимов течения.

Список литературы

1. Ульянов И.Е., Крумина Н., Вакар Н.В. Проектирование воздухопроводов самолетных силовых установок. – М.: Машиностроение, 1979. – 96 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
3. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. - М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
4. Кондращенко В.Я. Винничук С.Д., Федоров М.Ю. Моделирование газовых и жидкостных распределительных систем. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
5. Винничук С.Д. Моделирование тройников гидравлической сети //Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України. – К. 2001. – Вып. 14. – С.73–80.

Синтез онтологии управления проектом технологической подготовки производства на машиностроительном предприятии

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

Введение

Современные процессы автоматизации машиностроительных предприятий характеризуются применением CALS-технологий [1] как средства комплексной компьютеризации всех сфер производства и создания единого информационного пространства в рамках предприятия или производственного объединения [2]. При этом математическое обеспечение CALS включает главным образом методы имитационного моделирования, теории расписаний и теории принятия решений, а программное обеспечение представлено программными комплексами, реализующими автоматизированную информационную технологию, основанную на обработке данных. Вместе с тем современный этап автоматизации производства имеет устойчивую тенденцию к активизации информационных ресурсов путем разработки и использования наряду с базами данных и баз знаний, а также средств манипулирования знаниями [3]. Активные информационные ресурсы дают возможность решать важнейшую в условиях рыночной экономики проблему резкого сокращения сроков, трудоемкости и стоимости конструкторско-технологической подготовки производства новых изделий [4]. Такие ресурсы позволяют автоматизировать выполнение всей рутинной, расчетной, поисковой и оформительской работы, оставляя за инженером преимущественно творческие функции. Они делают индивидуальный инженерный опыт достоянием всего коллектива, включая молодых и малоопытных сотрудников, обеспечивая при этом преемственность развития творческого потенциала предприятия и постоянное повышение этого потенциала за счет накопления и корректировки знаний. В последние годы на рынке программного обеспечения представлены программные комплексы и среды разработки, воспроизводящие основные этапы CALS – технологии. Эти программные продукты могут быть условно разделены на два вида: последние версии CAD/CAM/CAE-систем, таких, как Unigraphics [5] и EUCLID [6], которые имеют в своем составе интеллектуальную компоненту; системы, построенные на идее «тотальной интеллектуализации» (СПРУТ) [7].

В первом случае речь идет об использовании в рамках программного комплекса батареи экспертных систем, которые по своей природе являются закрытыми системами, что вступает в противоречие с идеологией CALS. Принципиальный же недостаток СПРУТ-технологии – в игнорировании информационного ресурса, накопленного ранее на предприятии и существующего в форме различных АСУ и САПР.

Таким образом, в настоящее время актуальна проблема создания методов анализа и синтеза производственных автоматизированных систем (АИС), которые бы органически сочетали в себе все элементы CALS-технологии с технологией

комплексной интеллектуализации бизнес-процессов машиностроительного предприятия.

Цель статьи состоит в изложении подхода к синтезу интеллектуальной CALS-системы на основе использования онтологий как системы знаний на примере контроля качества при управлении проектом на предприятии авиационного профиля.

Постановка задачи синтеза интеллектуальной компоненты CALS-систем

Особую актуальность проблема синтеза интеллектуальной CALS-системы приобретает в самолетостроении, где мелкосерийность производства, частая модификация изделий и большая доля ручного труда обуславливает необходимость как скорейшего перехода на рельсы CALS-технологии для повышения эффективности производства и качества выпускаемых изделий, так и комплексной интеллектуализации для сохранения и развития творческого потенциала сотрудников предприятия.

Теоретические задачи создания производственных АИС, сочетающих в себе идеологию CALS с использованием знаний, подробно освещены в работе [7]. Реализация же теоретических положений в виде программного комплекса требует решения следующих прикладных задач:

1. Создание онтологии структуры управления производства, каждый структурный элемент которой является соответствующей его функциям предметной онтологией:

- разработка множеств предметных онтологий;
- объединение их в общую онтологию с помощью специальных алгебр [9].

2. Разработка формальных процедур представления знаний и манипулирования ими в рамках производственной АИС:

- процедур управления знаниями (Knowledge Management) для реализации задач, связанных с управлением проектом на предприятии;
- процедур коллективного взаимодействия различных центров обработки знаний в производственной АИС на основе концепции мультиагентных систем [14].

3. Разработка ситуационного эмпирического базиса производственной АИС на основе гипотезы о монотонности пространства решений [13]:

- организация в форме Data Warehouse хранилища прецедентов или ситуаций, имевших место ранее и служащих для обоснования формируемых на основе вывода на знаниях решений;

- интеллектуальная обработка данных ситуационного эмпирического базиса (с привлечением технологий Data Mining и Knowledge Discovery) для приобретения новых знаний о производстве как объекте принятия решений.

4. Описание системы ограничений на решения по управлению производством в виде микротеорий, являющихся частными моделями функционирования производства и описываемыми псевдофизическими логиками [13].

Среди перечисленных выше задач наиболее важными в плане обеспечения единого информационного пространства предприятия являются задачи, связанные с разработкой онтологии структуры производства, а также с синтезом

эффективных процедур манипулирования онтологическими моделями знаний в процессе создания и реализации проектов на предприятии.

Онтологическая система, способная создать и поддерживать единое информационное пространство в рамках предприятия, должна включать: онтологию стандарта ISO 9000 [8] в части управления качеством в проекте, предметную онтологию производства, учитывающую особенность процессного подхода, а также онтологию верхнего уровня для создания информационного базиса Data Warehouse.

В качестве интегрирующего компонента единого информационного пространства выбрана система менеджмента качества, охватывающая все сферы производства.

Проиллюстрируем разработку перечисленных выше онтологий на примере управления качеством в проекте мелкосерийного производства комплекта авиационных стекол ТСК 008 для самолетов Ан-140, Ан-148 на ЗАО «Спецтехстекло».

Онтология основных элементов ISO 9000:2000 в части управления качеством процессов производств

Для обеспечения функционирования системы согласно требованию ISO 9000:2000 в части управления качеством была разработана онтология в программном комплексе «Ontolog». Данная онтология (рис.1) позволяет контролировать наличие всех необходимых составных частей системы, образуя единое информационное пространство для принятия решений.

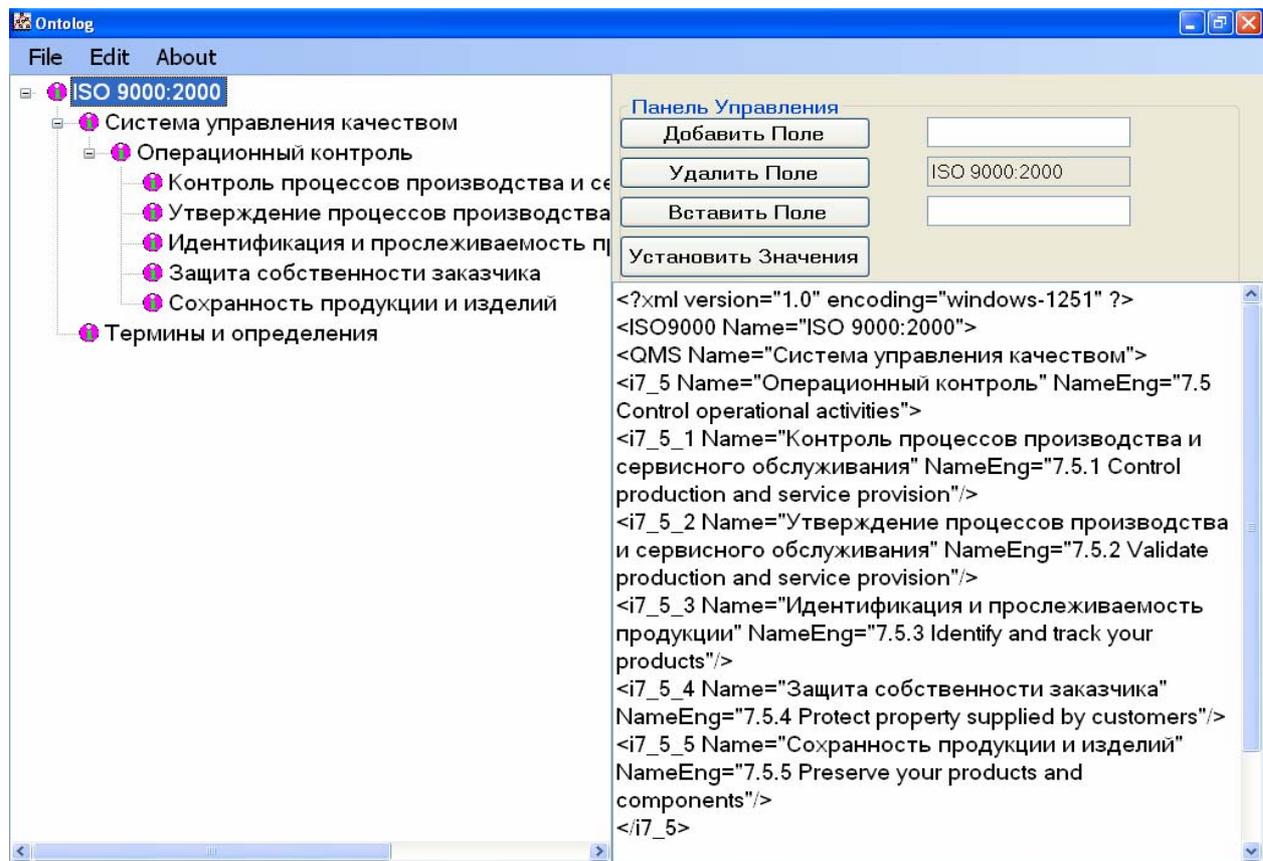


Рис. 1. Таксономическое дерево стандарта ISO 9000:2000 в части управления качеством процессов производства

В качестве интегратора системы выбор системы менеджмента качества был сделан из-за всестороннего охвата сфер производства онтологией ISO 9000:2000.

Данная онтология позволяет также сформировать единый словарь терминов и определений для всей системы. Это позволяет избежать ситуаций двоякого толкования терминов.

Онтология верхнего уровня

Для формализации знаний об управлении качеством в проекте необходимо определить сущность, для которой качество является релевантным фактором. Онтология верхнего уровня (рис. 2) включает концепты «Ресурсы», а также «Процесс», «Операция», «Организация». Это определено в программном комплексе «Ontolog» таксономией следующего вида:

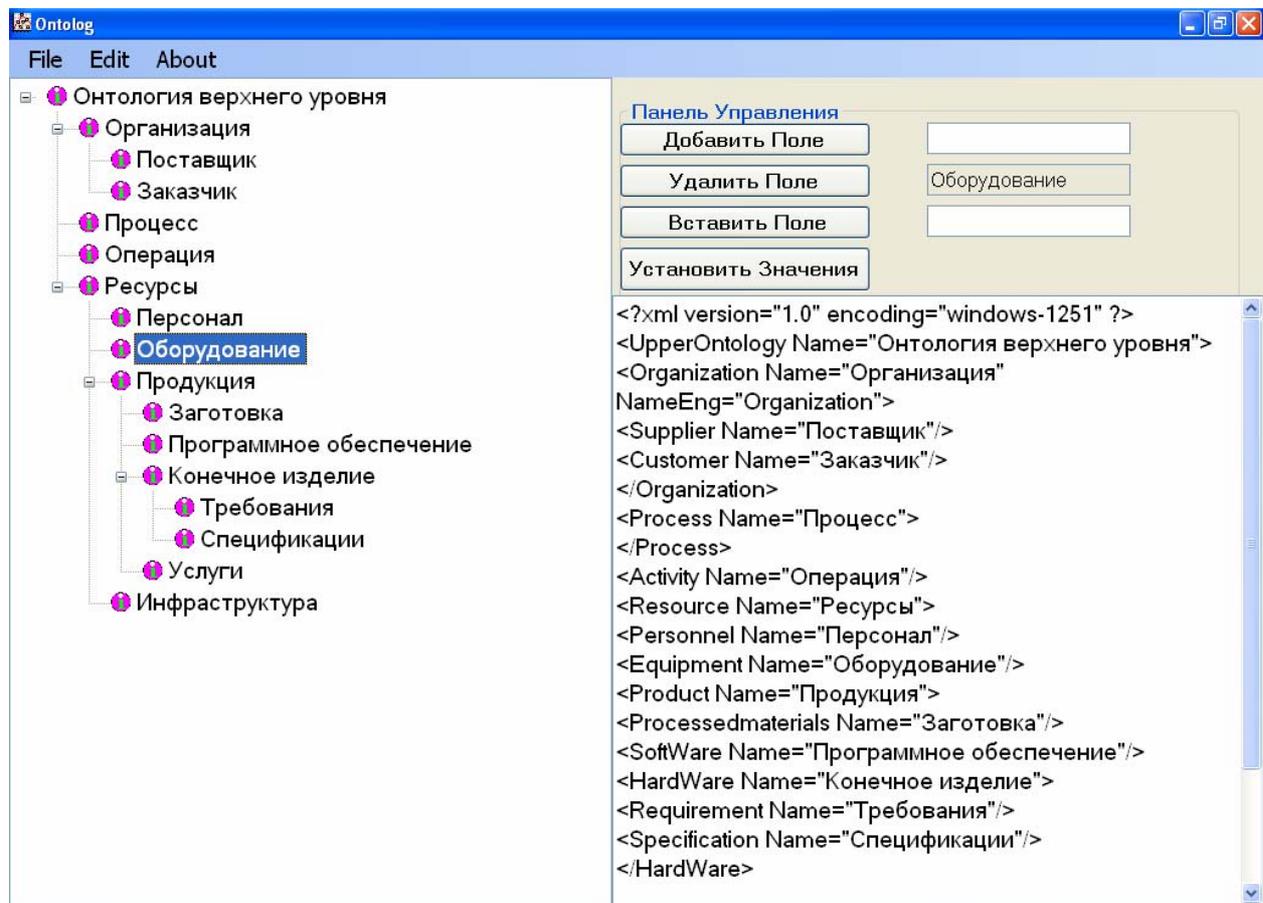


Рис. 2. Фрагмент онтологии верхнего уровня системы управления проектами

Необходимо обратить внимание на тот факт, что определение процессов и изделий даны в терминах действий и ресурсов. Данный подход позволяет использовать единый словарь как в предметной онтологии, так и в онтологии ISO 9000:2000, а также формально описать качество с использованием концептов «Требования» и «Спецификация». Для доступа к параметру качества необходимо установить природу «this» и какие «Операции» должны быть выполнены для получения «this». Таким образом, онтология верхнего уровня формально описывает знания как о природе качества изделия, так и о процессах его производства.

Один из главных догматов управления качеством гласит: «Качество не может быть оценено, пока не измерено» [15]. Заказчик может оценить качество продукции или услуги, а статистический учет протекания процессов может измерить качество процесса.

Предметная онтология организации производства авиационных стекол

При процессном подходе к описанию производства каждая функция в организации рассматривается как процесс, взаимосвязанный с другими процессами [8]. Преимущество процессного подхода заключается в постоянном контроле взаимосвязей между отдельными процессами в общей системе процессов, а также контроле их сочетаемости и взаимодействия.

В настоящее время в рамках реализации процессного подхода при создании системы управления качеством на ЗАО «Спецтехстекло» определены процессы, необходимые для системы управления качеством, последовательность и взаимодействие этих процессов, а также ведутся следующие работы:

- определяются и уточняются критерии и методы, необходимые для обеспечения эффективного функционирования этих процессов и контроля над ними;
- решаются вопросы контроля, измерения и анализа эффективности этих процессов;
- проводится работа, необходимая для достижения запланированных результатов и непрерывного улучшения процессов.

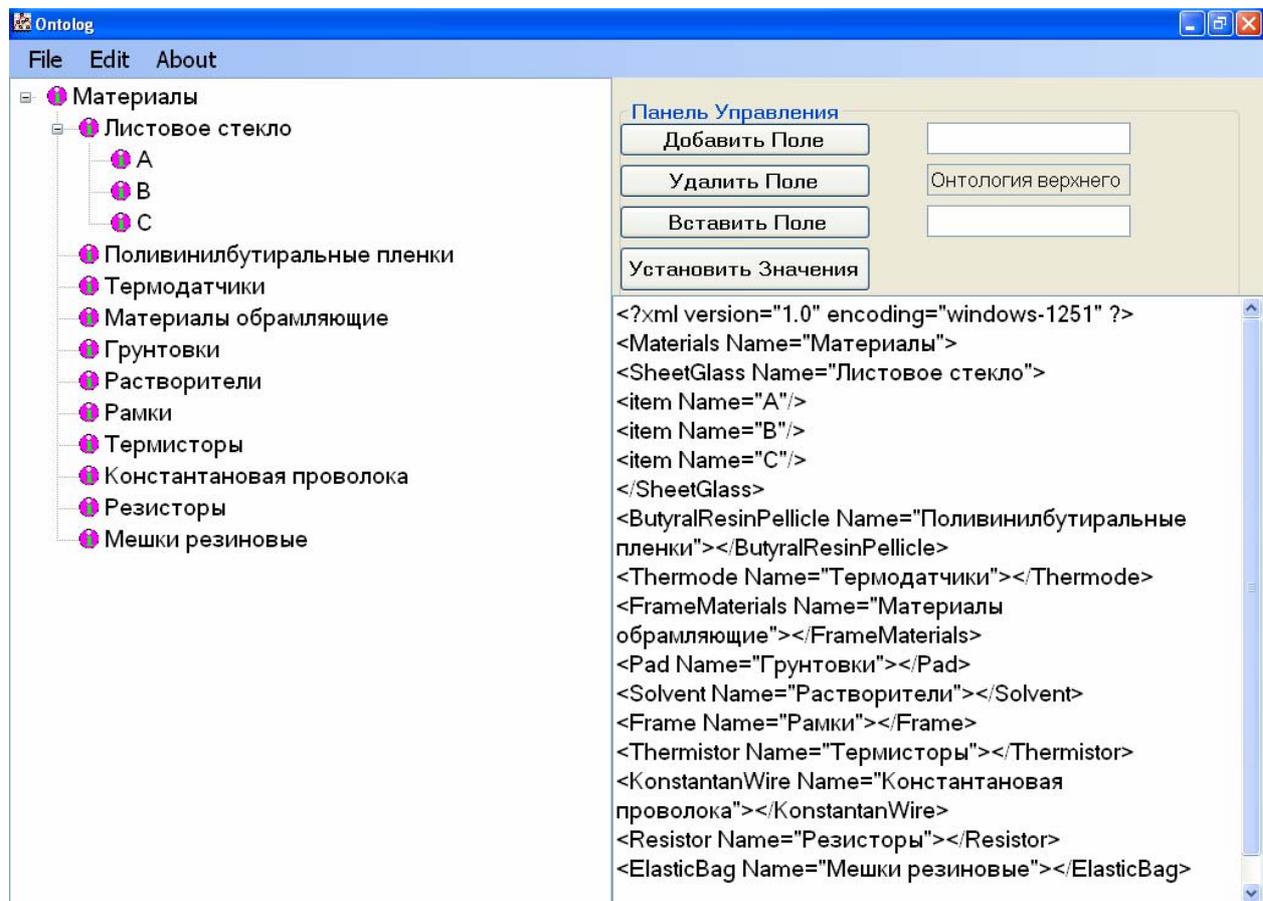


Рис. 3. Фрагмент онтологии используемых материалов на производстве

Процессная модель охватывает все виды деятельности, входящие в элементы системы управления качеством предприятия ЗАО «Спецтехстекло», и показывает взаимосвязь между ними.

Онтология используемых материалов на ЗАО «Спецтехстекло» и приведены на рис. 3.

Схема производства изделий авиационного и судового остекления приведена на рис. 5, а онтология – на рис. 4.

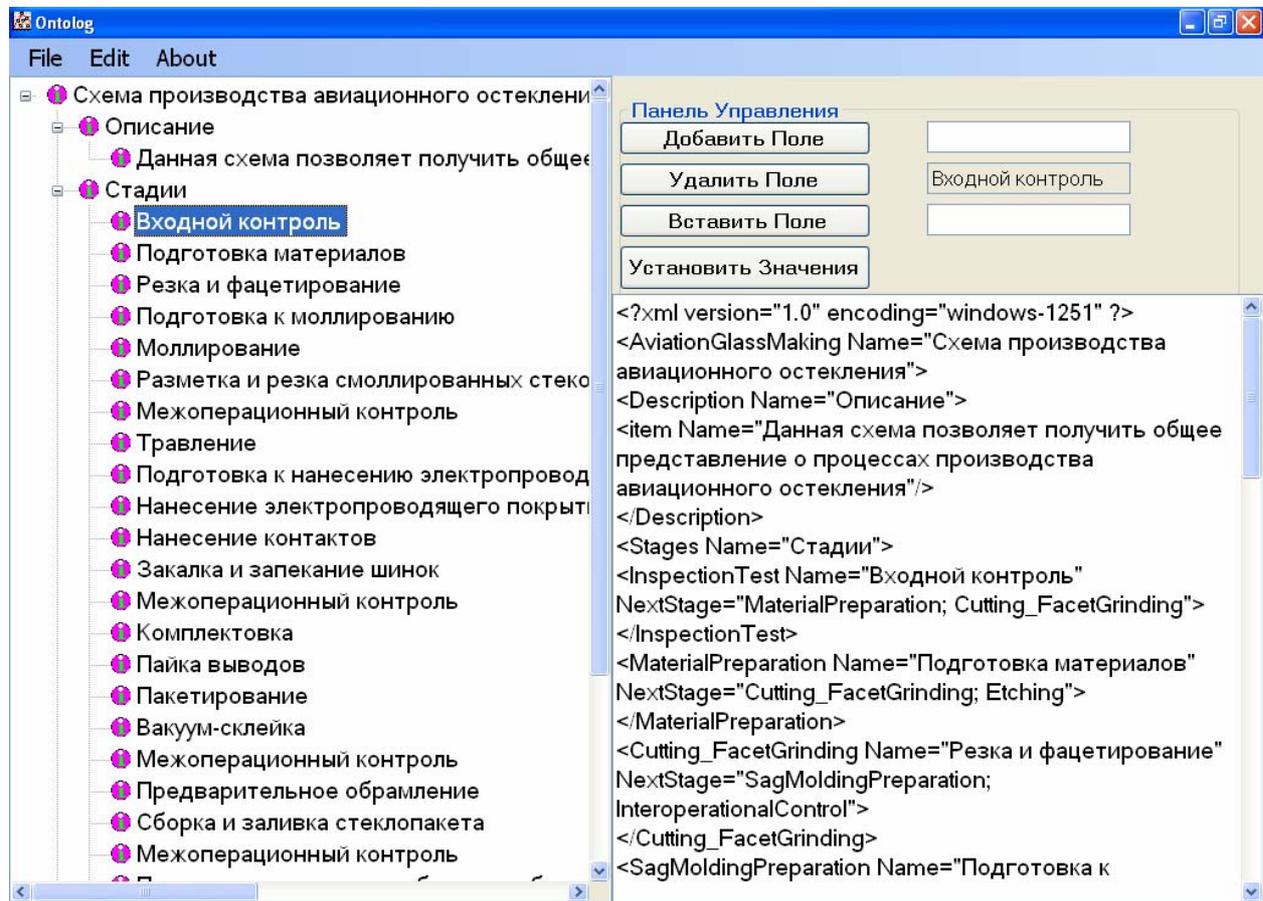


Рис. 4. Онтология производства изделий авиационного и судового остекления

Данная онтология позволяет хранить и верифицировать все процессы производства авиационного остекления. Одним из процессов, представленных в этой онтологии, является процесс изготовления комплекта стекол ТСК 008.01.

В соответствии с требованиями онтологии верхнего уровня системы управления проектами была разработана онтология «Оборудование», представленная на рис. 6.

Пример формирования решений по контролю качества в проекте на основе онтологий

В иллюстративных целях рассмотрим две типичные задачи, возникающие в ходе оценки качества проектов выпуска продукции на предприятиях авиационного профиля: определение причин дефектов или брака выпущенной продукции и прогнозирование ухудшения качества продукции, запускаемой в производство.

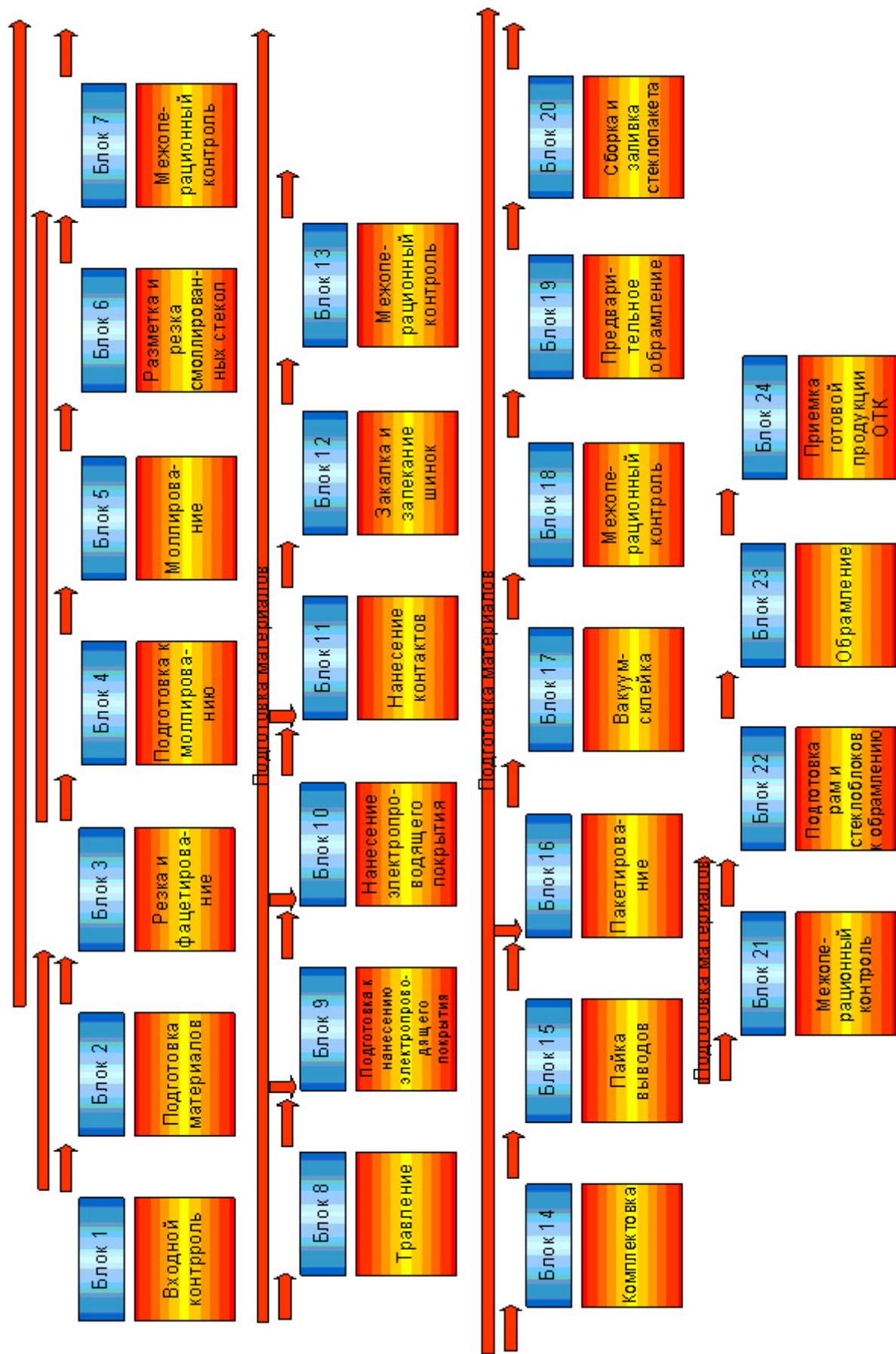


Рис. 5. Схема производства изделий авиационного и судового остекления

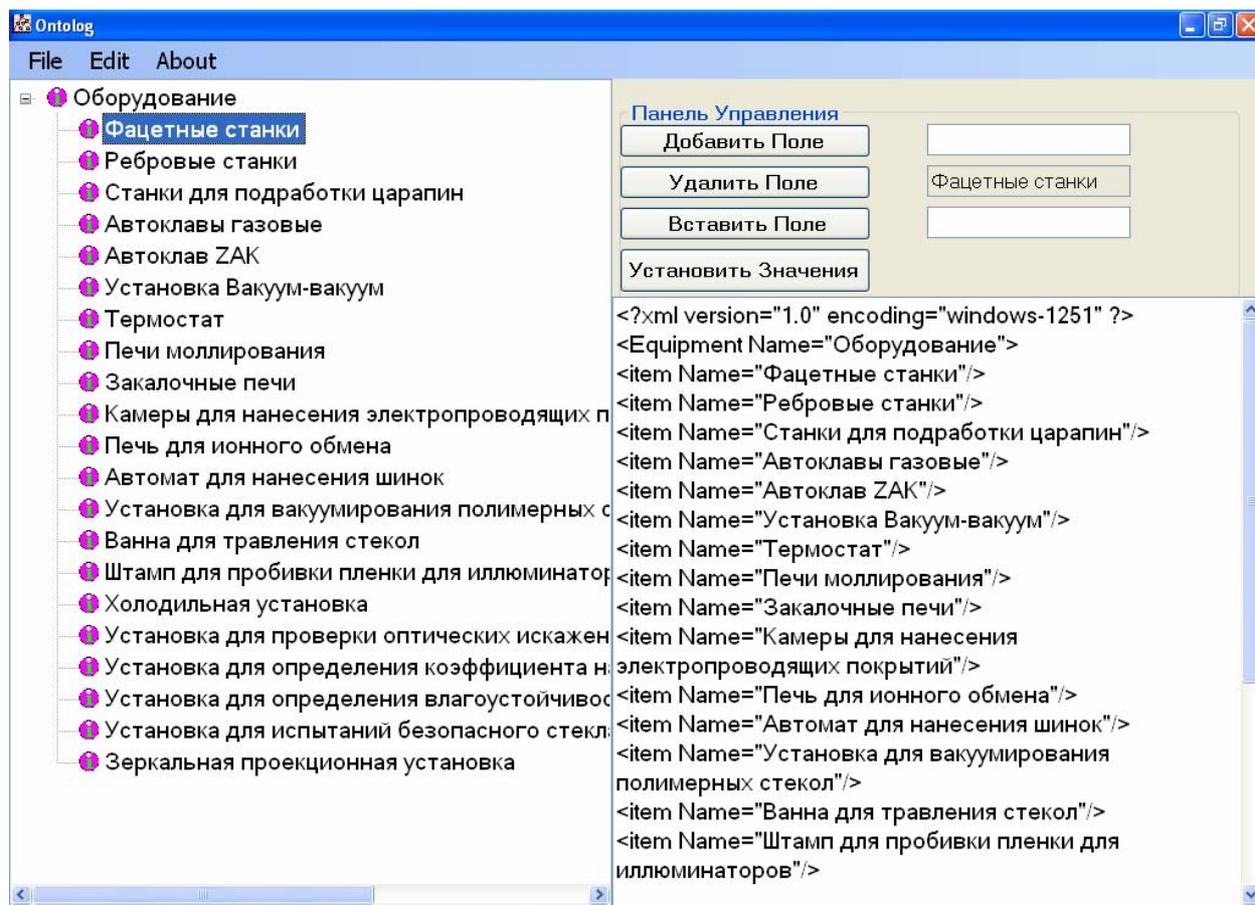


Рис. 6. Онтология «Оборудование»

Решение указанных задач покажем на примере управления проектом производства комплекта стекол кабины экипажа ТСК 008.01 для самолетов Ан-140, Ан-148, при этом в качестве исходных данных выступают:

- онтологическая система, включающая описанные в предыдущих разделах онтологии «Оборудование», «Материалы», «Производство», «Взаимосвязь характеристик изделий», «Технологический процесс изготовления изделия ТСК 008.01»;

- фрагмент базы данных, содержащей результаты замеров характеристик изделий из четырех партий, при межоперационном контроле и в ОТК.

Допустим, межоперационный контроль, проведенный после этапа закалки стекол и запекания шинок (см. рис. 5, блок 13) выявил неэквидистантность в двух комплектах стекол более 2 мм, а в трех комплектах – не менее 1,8 мм, что не превышает предельно допустимого значения неэквидистантности в 2 мм.

Необходимо установить причины возникновения тенденции к отклонению указанной характеристики изделий в сторону предельно допустимого значения.

Описанная выше ситуация активизирует интеллектуальную систему поддержки принятия решений главного технолога, в рамках которой решение о причинах появления дефектов изделий формируется следующим образом:

1. С помощью операции обратного вывода [10] устанавливается элемент онтологии «Производство», непосредственно связанной с неэквидистантностью стекол. Этим элементом является «Межоперационный контроль» (см. рис. 5, блок 13).

2. Операция прямого вывода [10] дает возможность установить с помощью онтологии «Взаимосвязь характеристик изделий», связанной с онтологией «Материал» и «Оборудование», факторы, влияющие на неэквидистантность стекол.
3. Формируются фиш- и Паретто- диаграммы для оказания помощи главному технологу в установлении причин возникновения дефекта.

Данный алгоритм позволяет найти конфликтное множество характеристик, влияющих на качество изделия, и схематически представлен на рис. 7.

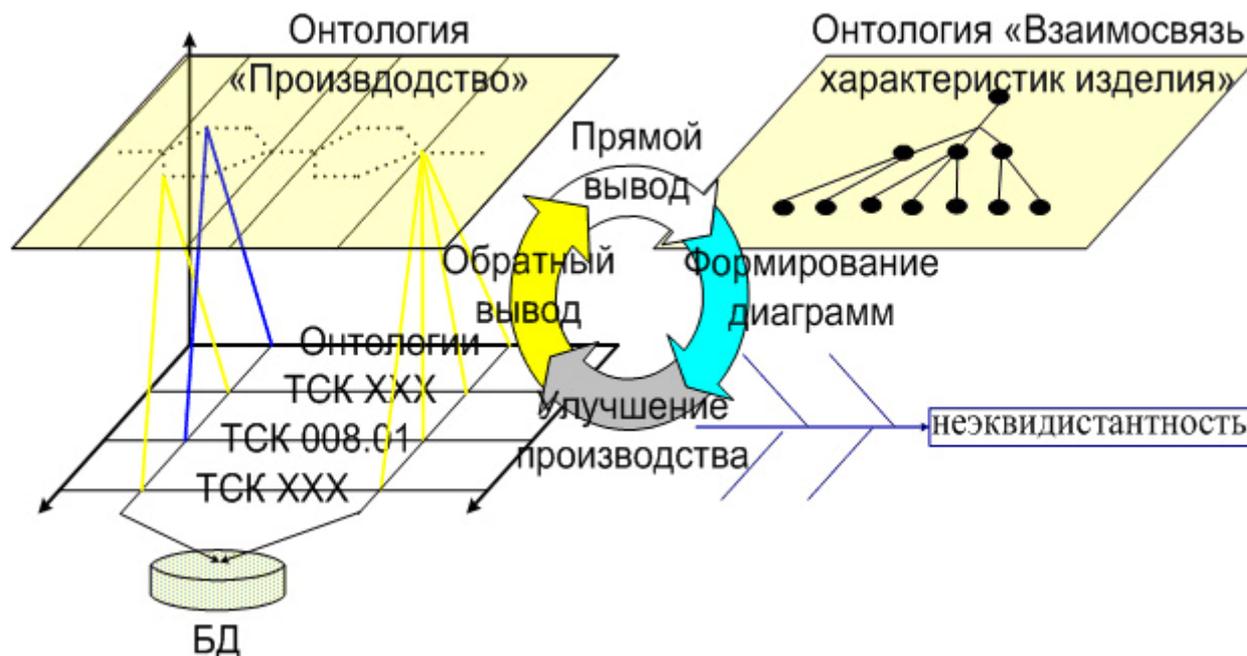


Рис. 7. Схема принятия решения при управлении качеством в проекте комплекта стекол ТСК 008.01

Заключение

В статье рассмотрен подход к синтезу интеллектуальной компоненты CALS-системы машиностроительного предприятия на основе онтологических моделей представления знаний. Применение данного подхода к решению проблемы создания единого информационного пространства в рамках предприятия обеспечило эффективность комплексной реализации основных этапов интеллектуальной технологии: представления знаний в системе и манипулирования ими при формировании решений.

Для манипулирования знаниями применен метод прямого и обратного вывода с использованием операционной семантики. Статья содержит описания онтологий, отражающих знания об особенностях управления проектом технологической подготовки в аспекте качества, что позволяет формировать решения на базе онтологии прецедентов.

Целесообразность применения описанных выше методов и подходов показана на примере работы интеллектуальной компоненты системы поддержки принятия решений главного технолога предприятия, которое специализируется на выпуске авиационных стекол. Решения системы в данном случае направлены на определение необходимости вмешательства в технологический процесс, в зависимости от текущей ситуации на производстве.

Список литературы

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
2. Технология машиностроения: В 2 т. Т.1: Основы технологии машиностроения/ В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский и др.; Под ред. А.М. Дальского. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 564 с.
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 380с.
4. Лидерство / Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 258 с.
5. Воронин Г.П., Якимов О.С. Нормативное обеспечение в области CALS. Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: "Техніка", 2001. – С. 97-99.
6. Братухин А.Г. CALS-стратегическое развитие наукоемкого машиностроения // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. - К.: "Техніка", 2001. – С. 52-57.
7. Балабуев П.В. Глобальная информатизация и прорыв информационных (компьютерных) технологий // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. - К.: "Техніка", 2002. – С. 13-17.
8. ДСТУ ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования.
9. Шостак И.В., Бастеев Д.А. Применение онтологического представления знаний в многоуровневой системе управления проектами технологической подготовки производства // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.:Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ". – 2004. – Вып. 24. – С. 136-147.
10. Бастеев Д.А., Шостак И.В. Интеллектуальная поддержка принятия решений для управления проектом технологической подготовки авиационного производства с использованием онтологического представления знаний // АСУ та прилади автоматики. – 2004. – Вып. 129. С. 100-104.
11. Бастеев Д.А. Управление знаниями на основе онтологий в подсистеме технологической подготовки производства самолетостроительного предприятия // Економіка і управління сучасними підприємствами та проектами в машинобудуванні. – 2004. – Вып. 3(11). – С. 83 - 87.
12. И.В. Шостак, Устинова А.Н., Бастеев Д.А. Проблемы создания интеллектуальной интегрированной системы поддержки принятия технологических решений в авиационном производстве // Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. "Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні" (ІКТМ 2003): – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ". 2003. – С. 267.
13. Бастеев Д.А. Семантика онтологического представления знаний по управлению технологической подготовкой производства // Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. "Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні" (ІКТМ 2004): – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ". 2004. – С. 385.
14. Бастеев Д.А., Шостак И.В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления проектом технологической подготовки производства // Тези доп. І Міжнар. наук.-практ. конф. "Науковий Потенціал Світу 2004": Тези доповідей. – Дніпропетровськ: Наука і освіта. 2004. – С. 26-27.
15. Технология программирования и автоматизация проектирования программного обеспечения: Метод. рекомендации по выполнению контрольных заданий / Сост. Д.А. Бастеев, Л.Ф. Пудовкина Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2004. – 56с.

Информационное обеспечение машиностроительного производства

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

Эксплуатация CAD/CAM/CAE систем (Computer Aided Designing / Manufacturing / Engineering) на машиностроительных предприятиях привела к формированию коллективов пользователей, способных решать производственные задачи с применением аналитических эталонов, т.е. использовать возможности более производительного оборудования с ЧПУ. Программное обеспечение этих систем сопровождаются специально разрабатываемые для них системы информационного сопровождения производства на предприятиях.

Однако реальный экономический эффект после внедрения таких систем оказался значительно меньше ожидаемого. Покрытие расходов внедрения за счет улучшения качества выполнения проектных работ, уменьшение сроков их выполнения и, как следствие, сокращение издержек производства и себестоимости продукции в большинстве случаев не наблюдается. [1]

Появление и эксплуатация на машиностроительных предприятиях компьютерных систем проектирования означает начало широкого использования языка

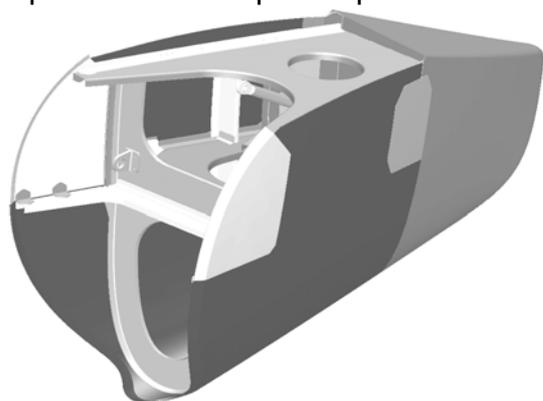


Рис. 1. Отсек мотогондолы

аналитической геометрии для моделирования объектов производства. При освоении компьютерных систем проектирования, естественно, на первых этапах с целью моделирования работы механизмов, разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, проектирования сборок (рис. 1) или сложной технологической оснастки для их изготовления (рис. 2) описывалась геометрия особо сложных деталей. Успехи решения таких сложных задач привели к моделированию геометрии всего изделия на языке аналитической геометрии.

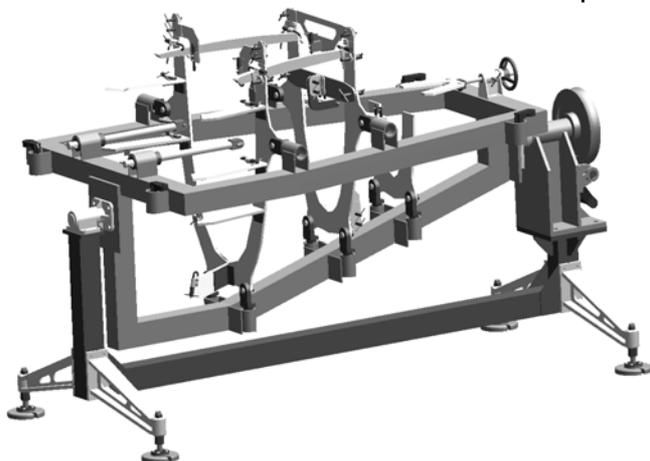


Рис. 2. Стапель сборки отсека мотогондолы

Развитие моделирования геометрии изделий привело к проблеме статуса аналитического эталона изделия. Реализация точного и корректного описания объекта производства, оснастки, инструмента аппаратом сплайновой геометрии, которую что назвали аналитическим эталоном вступило в противоречие с используемым в информационном обеспечении организации совре-

менного производства языком начертательной геометрии [2].

Это противоречие гораздо шире и глубже, чем может показаться на первый взгляд. Сегодня эталоном изделия является чертеж. Появление аналитического эталона не отменило статус чертежа во всех инженерных и производственных подразделениях предприятий. Это определено ЕСКД, ЕСТД и стандартами любого предприятия. Такое «двоевластие» аналитический эталон, чертеж сегодня присуще практически любому машиностроительному предприятию. Кроме того и это не маловажно весь технический персонал предприятия думает, проектирует и составляет технологии исходя из языка начертательной геометрии, так как только ему обучают во всех технических учебных заведениях. Все курсы по конструированию, технологии, деталям машин и прочности построены с использованием начертательной геометрии. Поэтому применение аналитических эталонов вызывает естественное отторжение их персоналом предприятия.

Цель статьи – определить необходимые пути развития компьютерного информационного обеспечения предприятия, эквивалентного существующему.

Для разрешения коллизии между чертежом и аналитическим эталоном на предприятиях применяют системы, выполняющие функции сопровождения аналитических эталонов и управления составом изделия. Данные многоуровневых спецификаций могут быть представлены деревом сборки изделия, так и полным набором конструкторских, технологических и прочих атрибутов, что обеспечивает динамический просмотр информации; отслеживание принадлежности каждой детали, сборки, узла, изделия геометрической модели; определение условий применимости и отображение ограничений применимости; ведение протоколов изменения версий вплоть до версий каждой детали; отслеживание действия внесенных изменений и модификаций.

Но эти системы содержат не всю информацию об объекте, которая присутствует на чертеже, в них отсутствуют требования к качеству и твердости покрытия, требования к точности размеров и формы деталей или отдельных их фрагментов и т.п. Поэтому при запуске изделия в производство по-прежнему в качестве одного из основных технических документов используется чертеж. Таким образом, при запуске производства чертеж остается документом со статусом эталона изделия.

Для исправления такой ситуации на предприятиях дополнительно применяют системы планирования ресурсов предприятия, в которых в качестве исходной используется информация о составе и структуре изделия; о применяемых материалах, о технологических маршрутах, о длительности операций и количестве исполнителей или рабочих мест, требуемых для их выполнения, а также об оснастке и приспособлениях и т.п. Для многоуровневых изделий имеется возможность разуплощения изделий по данным систем сопровождения изделия, которые передаются в системы планирования ресурсов предприятия. Системы планирования ресурсов предприятия решают задачи стратегического планирования. Однако текущее информационное сопровождение производства и его текущих потребностей, требует фиксации и обработки данных о потреблении электричества, тепла и газа, воздуха, воды и т.п., о состоянии магистралей их подачи. Необходимы системы сбора информации, использующие датчики, контроллеры и другие устройства для автоматического съема информации.

Нами была разработана и создана такая подсистема. Ее окно на экране компьютера представлено на рис. 3. Эта система отражает существующую взаимо-

связь технологических параметров производственного процесса с показателями материально-хозяйственной и финансовой деятельности, что позволяет видеть, как потребление электрической мощности и других энергоресурсов в процессе производства влияет на себестоимость (рис. 4).

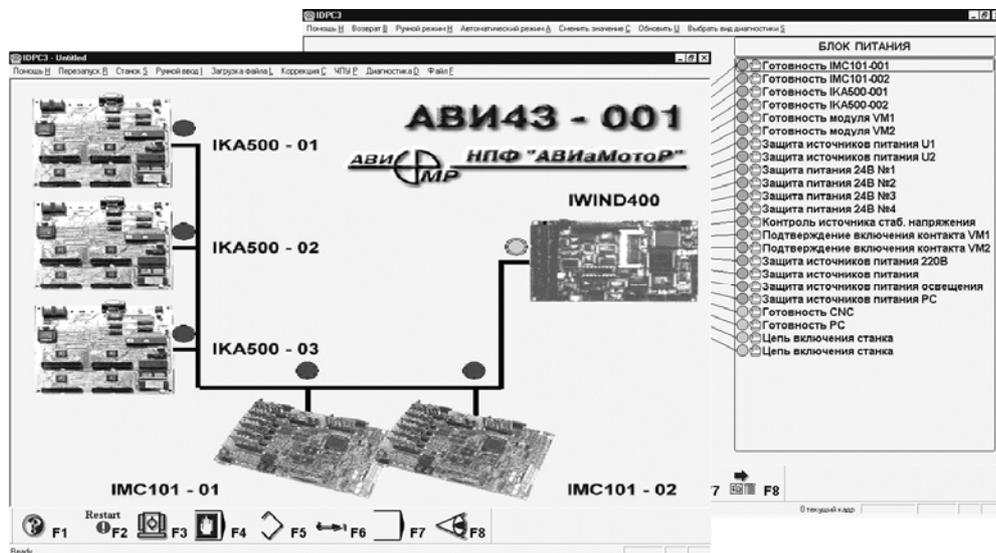


Рис. 3. Экран информационной системы цеха

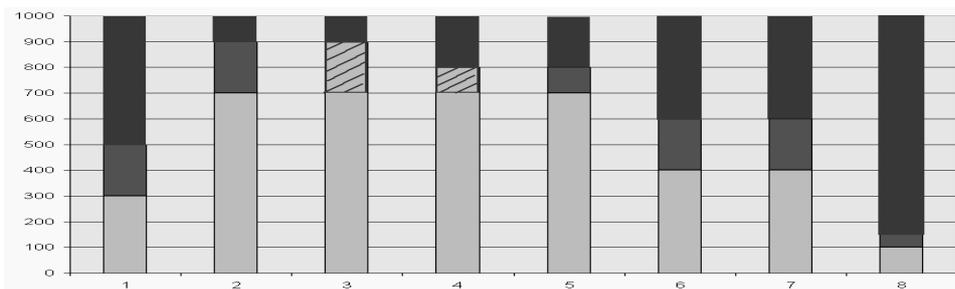


Рис. 4. Сменный график расхода электроэнергии

Текущие расходы сырья или простои оборудования (рис. 5) могут определить оптимальное время подачи в цех новой партии сырья; своевременное выявление нарушений технологии позволяет сократить или вовсе исключить дополнительные затраты, связанные с исправлением брака.

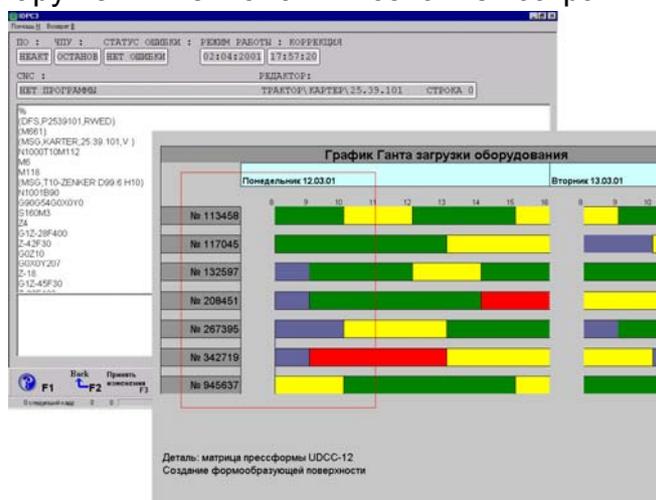


Рис. 5. Диаграмма загрузки оборудования

В то время как на административно-хозяйственном уровне осуществляется учет каждой финансовой операции и каждого документа, на уровне производства подобный контроль отсутствует. А ведь именно на этом уровне осуществляются основные затраты, обеспечивающие производственный план, и именно на этом уровне необходим контроль параметров и процессов, влияющих

на себестоимость продукции. В системах планирования ресурсов отсутствует распределение затрат по производственным, включая и технологические, операциям, рабочим местам и т.д., нет механизмов хранения и работы с моделями этих процессов. Модель производства в них представляет собой «черный ящик». Его внутренние процессы информационно и логически не взаимосвязаны и не синхронизированы по времени с процессами административно-хозяйственной и финансовой деятельности предприятия в целом.

Для выполнения таких функций необходима система оперативного управления производством с привлечением эталонных моделей процесса производства, с учетом фактической ситуации, которая подвержена значительным и быстрым изменениям. Отсутствие такой системы приводит к управлению производством посредством интуиции и «волевых» указаний.

Разработка моделей производственного процесса, в которые включены технологические процессы по всем рабочим местам с контролем их выполнения, процедуры внесения в них изменений, а также все процедуры по организации производственного процесса и его диспетчированию, и является ключевым моментом для обеспечения работы систем оперативного управления [3].

Например, сборочные операции стекателя мотогондолы (см. рис. 1) осуществляется в сборочном приспособлении (см. рис. 2). Разработка конструкции приспособления, технологического процесса его изготовления, а также технологического процесса сборки стекателя в этом приспособлении осуществляется на этапе технологической подготовки производства. Использование аналитических эталонов оснастки позволяет формировать технологический процесс монтажа приспособления с небольшими временными затратами. Результат такого проектирования наглядно демонстрирует исполнителям смысл каждой операции (рис. 6.).

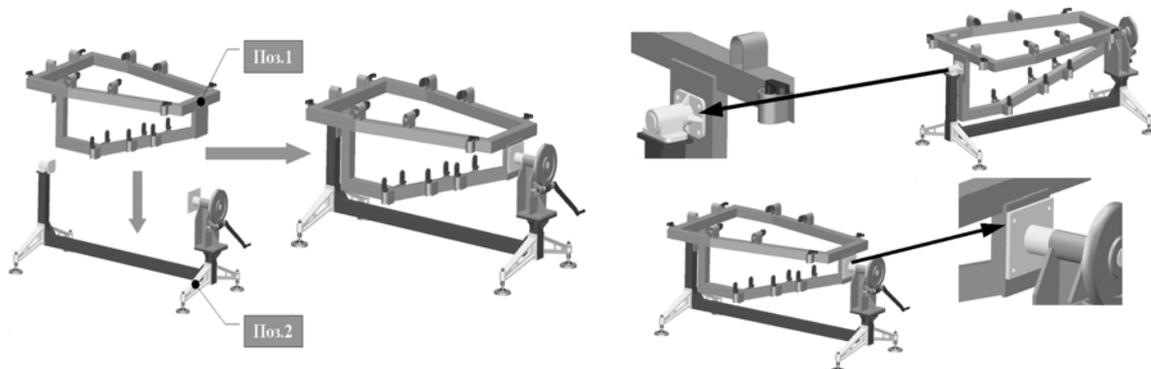


Рис. 6. Компьютерное моделирование процесса монтажа приспособления

Контроль правильности монтажа приспособления осуществляется с помощью монтажного эталона стекателя, фрагмент аналитического описания этого процесса представлен на рис. 7.

Таким образом, вся эталонная информации об объекте производства и происходящих с ним процессах от запуска в производство до его утилизации объединяется понятием «аналитический эталон изделия». В него входят: аналитический эталон геометрии, модели шероховатости, покрытий, твердости поверхности, допусков формы, допусков расположения, технологических процессов, аналитический эталон сборки, контрольных испытаний и т.п.

Аналитический эталон изделия позволяет описать его жизненный цикл как последовательность процессов от запуска изделия в производство до его утилизации. Аналитический эталон изделия создается в период технической подготовки производства изделия, дополняется и изменяется по результатам протекания его жизненного цикла.

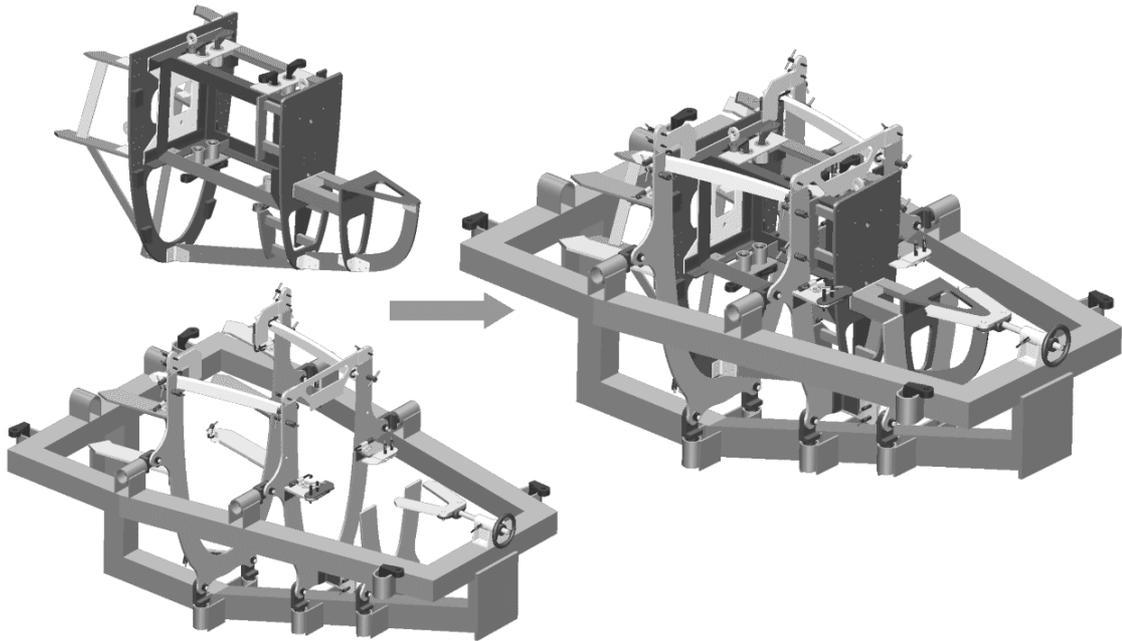


Рис. 7. Компьютерное моделирование контроля сборки приспособления

Подводя итог данному исследованию, можно констатировать, что широкое освоение прогрессивных методов моделирования геометрии изделий на языке аналитической геометрии сдерживается на производстве необходимостью компьютерных систем сбора и передачи информации об объекте в производстве. Системы планирования ресурсов не обладают необходимой оперативностью и не используют весь объем информации об объекте производства и производственных процессах.

Таким образом, для решения проблем информационного обеспечения производства, сопровождения изделия по его жизненному циклу необходимо создание информационной системы, выполняющей все вышеперечисленные функции.

Список литературы

1. Богуслаев В. А. Комплексная система подготовки и организации производства на серийном предприятии / В. А. Богуслаев, В. И. Омельченко. – Днепропетровск: Січ, 1993. – 356 с.
2. Бычков И. В. Состояние изделия в течение его жизненного цикла / И. В. Бычков, Ю. В. Ващук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 18. – С. 111 – 122.
3. Науменко П. О. Технологический контроль и технологическая подготовка авиационного производства // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Х.: НАКУ «ХАИ». – 2002. – Вып. 14. – С. 3 – 8.

Заточка сверл по цилиндрическим фасонным поверхностям

*Киевский авиационный техникум
Национальный технический университет Украины «КПИ»*

Введение

Научное высокопроизводительное технологическое производство требует высокопроизводительного надежно работающего режущего инструмента для обработки различных поверхностей, в том числе, и для обработки отверстий. Разработка новых прогрессивных конструкций режущего инструмента, повышение работоспособности, надежности, технологичности в изготовлении и заточке является актуальной задачей науки, техники и современных технологий.

С целью повышения работоспособности были предложены спиральные сверла с режущими кромками в форме дуги окружности. Эксперименты и производственный опыт показали, что стойкость таких сверл в 2 – 4 раза превышает стойкость стандартных сверл с прямолинейными режущими кромками. Однако известные способы заточки сверл с прямолинейными режущими кромками являются сравнительно сложными и требуют соответствующих приспособлений и станков.

В статье рассматривается новый способ заточки задних поверхностей спиральных сверл по фасонным цилиндрическим поверхностям шлифовальным кругом, профиль которого очерчен по дуге окружности.

Заточка сверл, рассматриваемым в статье способом, позволяет получить на режущей части целесообразные величины геометрических параметров и может производиться на относительно простых, в частности, универсально-заточных станках, так как для их использования не требуется сложных движений шлифовального круга и затачиваемого сверла.

Целью данной статьи является разработка нового способа заточки задних поверхностей спиральных сверл по цилиндрическим фасонным поверхностям, профиль которых очерчен по дуге окружности.

Формообразование задних поверхностей сверла с криволинейными режущими кромками

Схема формообразования задних поверхностей спирального сверла с криволинейными режущими кромками изображена на рис. 1. В качестве инструмента при заточке сверла используется шлифовальный круг, заправленный по дуге окружности, радиуса r , который вращается вокруг своей оси.

Затачиваемое сверло совершает возвратно-поступательные движения со скоростью \vec{V} , перпендикулярной оси шлифовального круга. Ось шлифовального круга и ось сверла являются параллельными прямыми. Для снятия припуска осуществляется также движение врезания, при котором сверло приближается к оси круга. Однако в момент формообразования задней поверхности, при чистовых проходах, это движение отключается и не учитывается при определении задней поверхности сверла. Таким образом, шлифовальный круг, двигаясь относительно сверла, занимает ряд последовательных положений, огибающая к которым будет

совпадать с заточенной задней поверхностью сверла. Это будет фасонная цилиндрическая поверхность, профиль которой будет дугой окружности, радиуса r . Определим положение сверла относительно шлифовального круга, при котором на периферии сверла в точке A создаются требуемые, выбранные величины геометрических параметров.

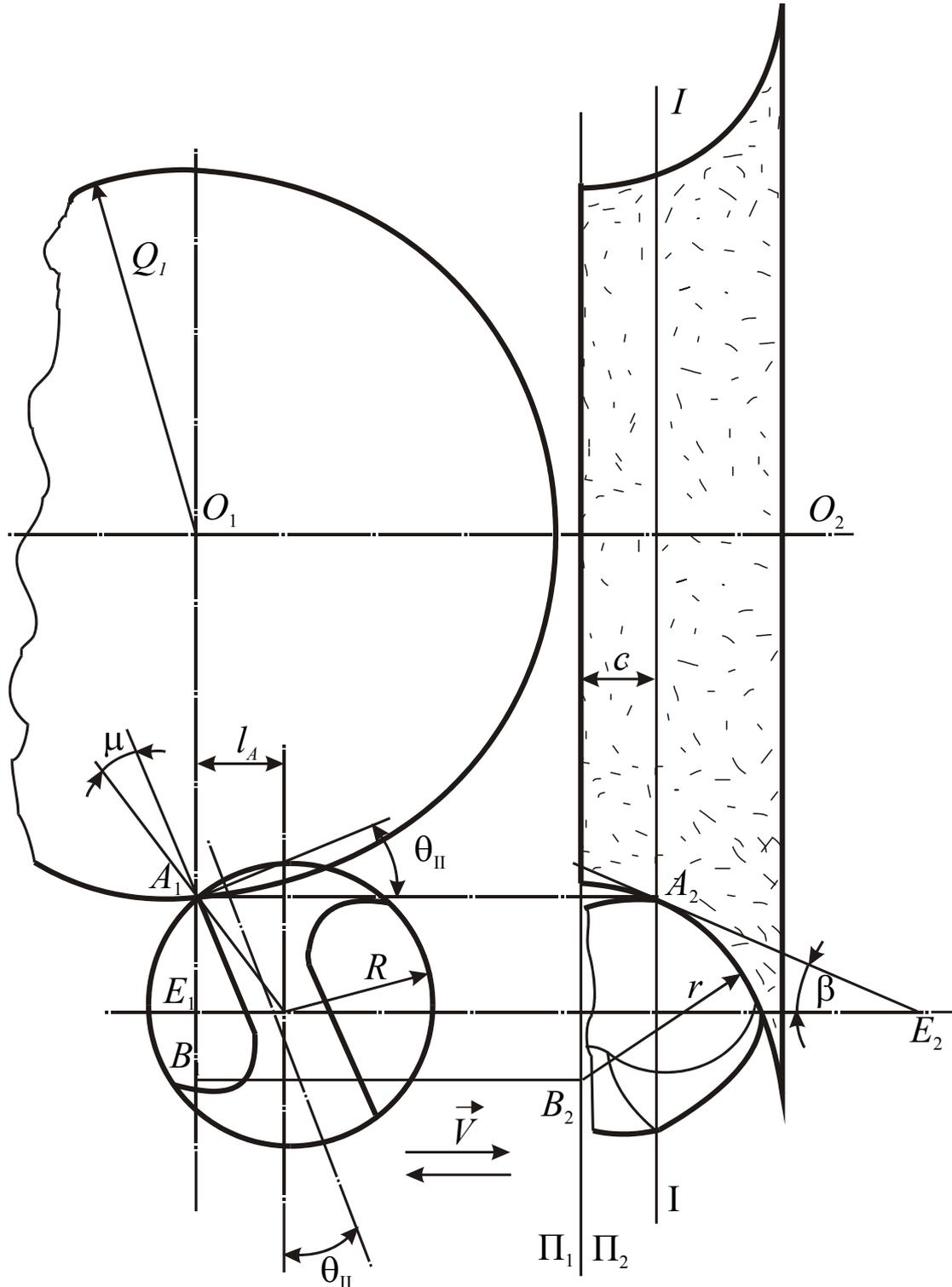


Рис. 1. Схема заточки спирального сверла с криволинейными режущими кромками

Образующая задней поверхности в точке A идет параллельно скорости \vec{V} возвратно-поступательных движений сверла и является прямой, перпендикулярной плоскости Π_2 . Поэтому при установке сверло поворачивается вокруг своей оси на инструментальный задний угол θ_{II} . Величина угла θ_{II} определяется по известной зависимости:

$$\operatorname{tg} \theta_{II} = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 - \sin \mu}{\cos \mu},$$

где α — инструментальный задний угол на периферии сверла в точке A в цилиндрическом сечении, концентричном оси сверла.

φ_1 — выбранный угол при вершине на периферии сверла.

Величина угла μ определяется по зависимости:

$$\sin \mu = \frac{d}{D},$$

где d — диаметр сердцевинки сверла;

D — диаметр сверла.

Рассматриваем спиральное сверло, у которого криволинейная режущая кромка лежит в плоскости, параллельной оси сверла, которая находится от оси сверла на расстоянии, равном половине диаметра сердцевинки. Касательная AE к задней фасонной цилиндрической поверхности идет под углом β , величина которого определяется, исходя из заданной величины угла при вершине на периферии сверла, по зависимости:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \varphi_1 \cdot \cos \theta_{II}.$$

Положение оси сверла относительно шлифовального круга определяется размерами величин l_A и c . По построению эти величины равны:

$$l_A = R \sin(\mu + \theta_{II});$$

$$c = r \cdot \sin \beta,$$

где R — радиус сверла.

Определим геометрические параметры режущей части в произвольной точке E режущей кромки (рис. 2).

Примем, что точка E лежит в сечении $II-II$, которое от сечения $I-I$, с расположенной в нем точкой A режущей кромки, находится на выбранном расстоянии h_i , измеряемым вдоль оси шлифовального круга. Угол β_i наклона касательной к фасонной задней поверхности, измеряемый в проекции на плоскость Π_2 , будет равен:

$$\sin \beta_i = \frac{h_i + c}{r}.$$

При этой величине угла β_i угол при вершине φ_i в точке E определяется по зависимости:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\operatorname{tg} \beta_i}{\cos \theta_{II}}.$$

При определенной величине угла при вершине φ_i в произвольной точке E режущей кромки инструментальный задний угол θ_N в нормальном к режущей кромке сечении будет равен:

$$\operatorname{tg} \theta_N = \operatorname{tg} \theta_{II} \cdot \cos \varphi_i.$$

Положение нормали к статической поверхности резания характеризуется углом τ_N , определяемым по зависимости:

$$\operatorname{tg} \tau = \operatorname{tg} \mu_i \cdot \sin \varphi_i.$$

Угол μ_i в рассматриваемом случае находится по зависимости:

$$\operatorname{tg}(\mu_i + \theta_{II}) = \frac{R \cdot \sin(\theta_{II} + \mu)}{R \cdot \cos(\theta_{II} + \mu) - r \cdot (\cos \beta - \cos \beta_i)}.$$

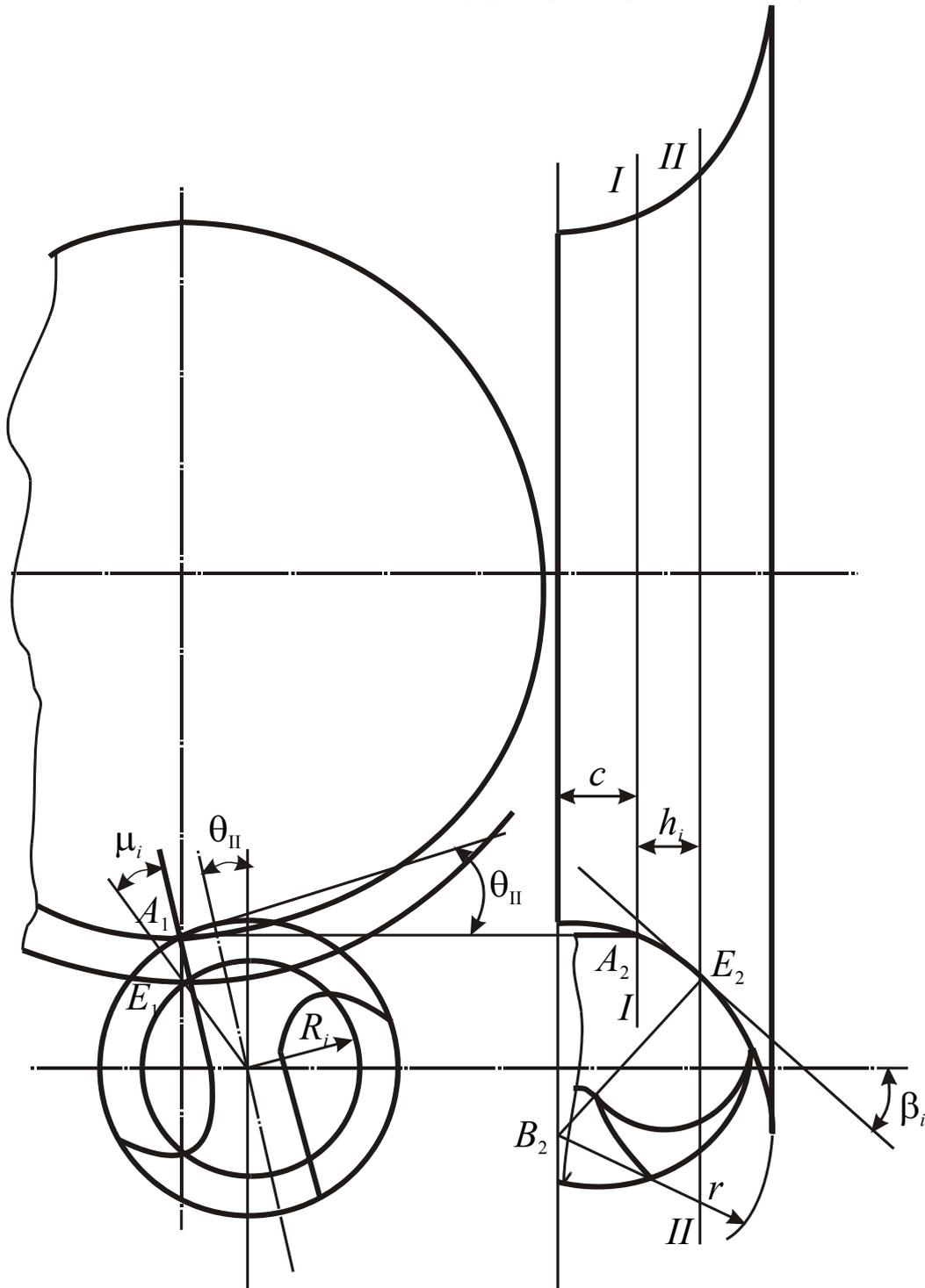


Рис. 2. Схема определения геометрических параметров режущей части сверла

Радиус R_i будет равен:

$$R_i = \frac{0,5 \cdot d}{\sin \mu_i}.$$

Статический задний угол α_N в точке E в нормальном к режущей кромке сечении определяется по зависимости:

$$\alpha_N = \theta_N + \tau_N.$$

При заточке задней поверхности зуба сверла по одной фасонной цилиндрической поверхности угол ψ наклона поперечной режущей кромки будет равен:

$$\psi = 90 - \theta_{II}.$$

Наиболее часто эта величина угла наклона поперечной режущей кромки не совпадает с рекомендуемыми значениями угла наклона поперечной кромки. Для того чтобы получить независимую величину угла наклона поперечной кромки ψ , каждый зуб сверла затачивают по двум фасонным цилиндрическим поверхностям. При заточке затылочной поверхности зуба сверло поворачивается вокруг своей оси и устанавливается с углом поворота θ_{III} . Угол θ_{III} выбирается наиболее часто в соответствии с зависимостью:

$$\operatorname{tg} \theta_{III} = 2 \operatorname{ctg} \psi - \operatorname{tg} \theta_{II}.$$

Выводы

1. Разработан способ заточки сверл по цилиндрическим фасонным поверхностям, профиль которых очерчен по дуге окружности. Заточка спирального сверла производится вращающимся шлифовальным кругом, профиль которого очерчен по дуге окружности. Сверло относительно круга совершает возвратно-поступательные движения, и его ось устанавливается параллельно оси шлифовального круга.
2. Определено положение затачиваемого спирального сверла относительно шлифовального круга, которое обеспечивает получение при заточке выбранных величин геометрических параметров в точке режущей кромки на периферии сверла.
3. Даны аналитические зависимости для расчета геометрических параметров режущей части в различных точках режущей кромки при найденном положении затачиваемого сверла относительно шлифовального круга.
4. С целью получения в результате заточки независимой выбранной величины угла ψ наклона поперечной кромки, задняя поверхность каждого зуба сверла затачивается по двум фасонным цилиндрическим поверхностям.

Список литературы

1. Родин П. Р. Геометрия режущей части спирального сверла. — К.: Техника, 1971.

Обработка поверхностей типа «переменная малка» торцовыми фрезами

Киевский авиационный техникум

Введение

В современном машиностроении особенное место занимают технологии, связанные с обработкой поверхностей типа «переменная малка». Детали, ограниченные поверхностями с постоянными и переменными малками широко используются в самолетостроении и при производстве ракетно-космической техники. Их обработка достаточно сложная, малопроизводительная, и требует специального дорогостоящего оборудования, что вызывает определенные трудности на многих машиностроительных предприятиях.

Формообразование поверхностей типа «переменная малка» с использованием сравнительно недорогого, широко распространенного металлообрабатывающего оборудования и простого, надежно работающего режущего инструмента является актуальной задачей науки, техники и современных технологий.

Подобные поверхности обрабатываются на пятикоординатных станках с ЧПУ концевыми фрезами, с исходной инструментальной поверхностью в форме круглого цилиндра.

Рассматриваемые криволинейные поверхности с переменными малками целесообразно обрабатывать на трехкоординатных станках фасонными фрезами и фрезами угловыми с переменной конусностью, а также торцовыми фрезами. Однако, процесс формообразования поверхностей типа «переменная малка» торцовыми фрезами недостаточно разработан. Поэтому, в данной статье анализируется процесс формообразования поверхностей типа «переменная малка» торцовыми фрезами, в случае когда поверхность детали формируется окружностью вращения вершин зубьев фрезы вокруг ее оси.

Целью данной статьи является решение задачи формообразования поверхностей типа «переменная малка» профилирующей окружностью торцовой фрезы на трехкоординатном станке с ЧПУ.

Формообразование поверхностей типа «переменная малка» на станках с ЧПУ

Поверхности типа «переменная малка» можно обрабатывать торцовыми фрезами на трехкоординатных станках с ЧПУ. Схема обработки рассматриваемых поверхностей (рис. 1) включает: вращение фрезы вокруг своей оси, в результате которого вершинные кромки зубьев описывают окружность, которая формирует обработанную поверхность детали.

Торцовая фреза производит также прямолинейно-поступательные перемещения по трем взаимно-перпендикулярным осям относительно заготовки. При обработке заготовка может устанавливаться наклонно. Поверхность «переменной малки» задается ее профилем $Z = f(X)$ в торцовой плоскости $Y = 0$ и углами τ_N малок в различных точках профиля (рис. 2).

Угол малки τ_N , характеризующий положение прямой MC , расположенной в нормальном к профилю сечении задается. Ось торцовой фрезы идет перпендикулярно плоскости Π_1 .

Профилирующая окружность в истинную величину проецируется на плоскость Π_1 и располагается в сечении I , параллельной плоскости Π_1 , проходящем через исследуемую точку M .

Определим линию пересечения плоскости, касательной к поверхности «переменной малки» и сечения I . Рассматривается сечение II , параллельное сечению I .

Прямая MB пересекается с сечением II в точке E , а прямая MC — в точке C . Линия CE будет линией пересечения сечения II и плоскости, касательной к поверхности «переменной малки».

Ее положение характеризуется углом ρ . Так как сечение I параллельно сечению II , линия пересечения сечения I к плоскости, касательной к поверхности «переменной малки», будет располагаться также под углом ρ и проходить через точку M .

Положение центра O профилирующей окружности выбирается на прямой MO , исходя из того, что профилирующая окружность касается поверхности «переменной малки» в точке M .

Рассматривая графическое решение, будем иметь:

$$L_3 C_3 = M_3 L_3 \cdot \operatorname{tg} \tau_N = M_2 C_2;$$

$$C_2 E_2 = \frac{M_2 C_2}{\sin \beta} = \frac{M_3 L_3 \operatorname{tg} \tau_N}{\sin \beta};$$

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{E_2 C_2}{M_3 L_3} = \frac{M_3 L_3 \operatorname{tg} \tau_N}{M_3 L_3 \sin \beta};$$

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{\operatorname{tg} \tau_N}{\sin \beta}.$$

В системе координат XYZ положение центра O профилирующей окружности определяет величины подач S_X , S_Y и S_Z , которые равны:

$$S_X = X_M - R \cos \rho; \quad S_Y = R \sin \rho; \quad S_Z = Z_M,$$

где X_M , Y_M , Z_M — координаты точки M в системе XYZ .

Выбрав совокупность опорных точек на профиле детали, которые последовательно будут формироваться профилирующей окружностью, по приведенным формулам рассчитываются величины подач S_X , S_Y , S_Z , то есть определяется закон координатных движений исполнительных органов станка с ЧПУ.

Следует учитывать, что рассмотренный способ обработки поверхностей типа «переменная малка» на координатном станке с ЧПУ является приближенным.

Более точная обработка поверхностей типа «переменная малка» может производиться торцовой фрезой на пятикоординатном станке с ЧПУ, на котором производится обработка рассматриваемых поверхностей концевыми фрезами с круглой цилиндрической исходной инструментальной поверхностью.

При обработке на пятикоординатных станках профилирующая окружность торцовой фрезы располагается в плоскостях, касательных к поверхности типа «переменной малки» в опорных точках профиля.

В этом случае ось торцовой фрезы будет занимать в процессе обработки различные положения, параллельные нормальям и обрабатываемой поверхности в опорных точках профиля.

Рассмотрим произвольную точку M профиля поверхности типа «переменной малки» (рис. 3).

Принципы генерации текстовых эквивалентов для программ, созданных на графическом языке FBD

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
Харьковское территориальное отделение Малой академии наук Украины*

Современные системы автоматизированного проектирования программного обеспечения (САПР ПО) промышленных контроллеров систем управления, как правило, используют технологию визуального программирования на основе одного или нескольких графических языков [1]. Наиболее популярным среди разработчиков прикладных алгоритмов и программ является язык схем функциональных блоков – FBD (functional block diagram). Во многих современных системах автоматизированного визуального программирования, как зарубежных, так и отечественных, язык FBD заявлен в качестве основного средства описания функциональных алгоритмов для систем управления технологическим оборудованием.

Программа на языке функциональных схем (FBD) представляет собой разновидность схемы потоков данных. Согласно диалекту языка FBD, регламентированному международным стандартом IEC 61131-3, в графической программе отсутствует явная передача управления, т.е. функциональные блоки, как элементарные, так и процедурные, соединены только линиями передачи данных.

В связи с широкой популярностью систем визуального программирования перед разработчиками таких систем возникают вопросы оптимального и логически адекватного формирования текстовых эквивалентов для программ, созданных пользователями на графических языках, в частности FBD. Особые сложности возникают с трансляцией в текстовый эквивалент многоуровневых логических конструкций. Разрешение этой проблемы, а не только функциональные возможности графического редактора схем FBD, в конечном итоге определяют популярность и коммерческий успех той или иной САПР ПО.

Цель данной работы – определение и анализ возможных алгоритмов трансляции FBD-подобных программ с точки зрения оптимизации времени выполнения.

Элементарный алгоритм генерации текста для FBD-программы

В качестве математической модели схемы потоков данных используем ориентированный ациклический граф общего вида $G = (V, E)$, где $V = \{v_i\}$ – множество вершин, $E = \{(v_i, v_j) \mid v_i \neq v_j\}$ – множество дуг. При этом гипердуга рассматривается как множество одиночных простых дуг. Хотя явные циклы в FBD-схемах не запрещены стандартом [2], в большинстве реализаций языка их не используют, и поэтому циклический обмен данными между блоками программы необходимо реализовать неявно с помощью переменных. Такой подход дает возможность пользователю явно задавать порядок выполнения вершин в цикле.

Поскольку программа является динамическим объектом, важно определить порядок выполнения ее элементов, или, в терминах нашей модели, порядок обхода вершин графа G . Он устанавливается следующими правилами ([2], с. 251):

- 1) ни один из элементов схемы не может быть выполнен, пока не будут вычислены все его входы;
- 2) выполнение элемента схемы не может быть закончено, пока не будут вычислены все его выходы.

Таким образом, основной задачей генерации текстового эквивалента FBD-программы является формирование такого порядка на вершинах графа, при котором соблюдаются названные условия.

Для построения динамической части модели введем определение: для каждой вершины $a \in V$ существует множество вершин $M(a)$, от которых *зависит* вершина a :

$$M(a) = \{ v_i \in V \mid \exists (v_i, c_1)(c_1, c_2) \dots (c_n, a), c_j \in V \}.$$

Множество $M(a)$ указывает на необходимый порядок выполнения вершин схемы. Все вершины, входящие в $M(a)$, должны выполняться раньше a . Если же две вершины a и b таковы, что $a \notin M(b)$, $b \notin M(a)$, то относительный порядок выполнения вершин a и b произволен. Таким образом, задача свелась к расположению всех вершин ациклического ориентированного графа на прямой так, чтобы каждая вершина a располагалась *правее* всех вершин из $M(a)$ или чтобы все дуги графа шли слева направо. Такая задача является классической задачей на графах и известна под названием «топологическая сортировка» [3]. Алгоритм решения этой задачи может быть основан на поиске в глубину и состоит в следующем:

- 1) вызвать рекурсивную процедуру поиска в глубину;
- 2) при этом, завершая обработку вершины, добавлять ее в начало списка;
- 3) вернуть построенный список вершин.

Таким образом, образованный список вершин будет упорядочен по времени окончания обработки вершин и будет представлять собой искомый порядок. Следует отметить, что если в схеме существуют циклы, то поиск в глубину их обнаружит, поскольку каждый цикл образует обратное ребро в дереве поиска в глубину. Необходимо лишь добавить обработку этой ситуации в алгоритм. Схема работы этого алгоритма показана на рис. 1. В приведенном примере схема содержит цикл, который обнаруживается в процессе поиска в глубину. Сложность алгоритма равна сложности поиска в глубину и составляет $O(V+E)$.

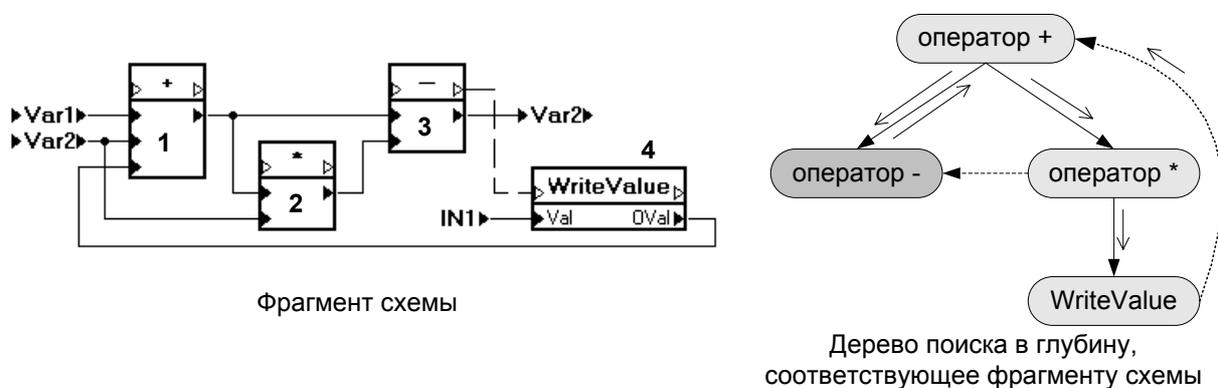


Рисунок 1 – Схема работы простого алгоритма анализа FBD-схемы

Расширенный диалект FBD-схем

Использование условных вычислений в соответствии со стандартом языка FBD ограничено, поскольку имеется возможность условного выполнения только одиночной вершины. Однако во многих задачах необходимы алгоритмы с условным выполнением фрагментов схемы. Поэтому в современных диалектах языка FBD предусмотрены условные дуги, отличающиеся от определенных стандартом.

При этом у каждой вершины-действия схемы добавляются вход и выход управления, которые отображаются в заголовке вершины. На рис. 2 представлен вариант изображения блока в соответствии с расширением диалекта FBD.

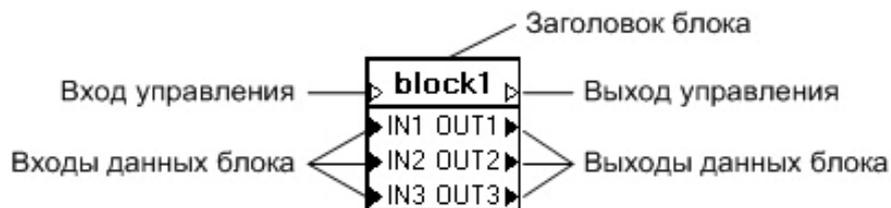


Рисунок 2 – Пример изображения блока в расширенной версии диалекта FBD

На расширенной схеме FBD все дуги делятся на несколько категорий. **Дуга данных** – это гипердуга, соединяющая один выход вершины с несколькими входами других вершин. Дуги данных, по сути, являются дугами, определенными стандартом. **Условной дугой** будем называть дугу, соединяющую выход данных логического типа одной вершины с входом управления некоторого блока. Условная дуга означает, что блок, на вход которого она заведена, будет выполняться только в том случае, если значение дуги истинно. **Дугой управления** будем называть дугу, соединяющую несколько выходов управления блоков с одним входом управления другого блока. При этом если источник дуги всего один, то это **простая дуга управления**, а если несколько – то **составная дуга**. Дуги управления дают возможность пользователю задать дополнительный порядок на вершинах схемы, т.е. указать, что вершина-получатель дуги управления должна выполняться строго после вершин-источников этой дуги. Кроме того, составная дуга управления позволяет указать, что вершина-получатель должна быть выполнена, если выполнялась хотя бы одна из вершин-источников дуги, т.е. реализовать операцию логического ИЛИ. Примеры различных категорий дуг показаны на рис. 3.

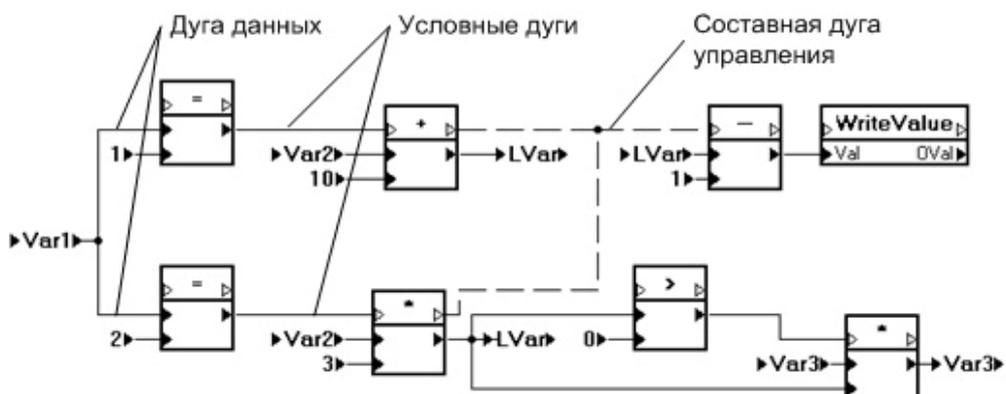


Рисунок 3 – Пример FBD-схемы на основе расширенного диалекта языка FBD

Алгоритм генерации с учетом условных фрагментов

В случае, если на схеме содержатся условные дуги или дуги управления, алгоритм определения порядка выполнения вершин схемы усложняется. Поскольку выходом генератора текстового эквивалента FBD является программа на каком-то из классических текстовых языков программирования, то схема должна однозначно представляться правильной структурой условных операторов. Основным требованием корректности FBD-схемы является необходимость того, чтобы к моменту выполнения каждой вершины схемы все ее входы были уже вычислены. Это накладывает ограничения на поток данных схемы между вершинами, которые могут выполняться в зависимости от некоторых условий. Таким образом, алгоритмическими задачами генератора FBD-схем являются:

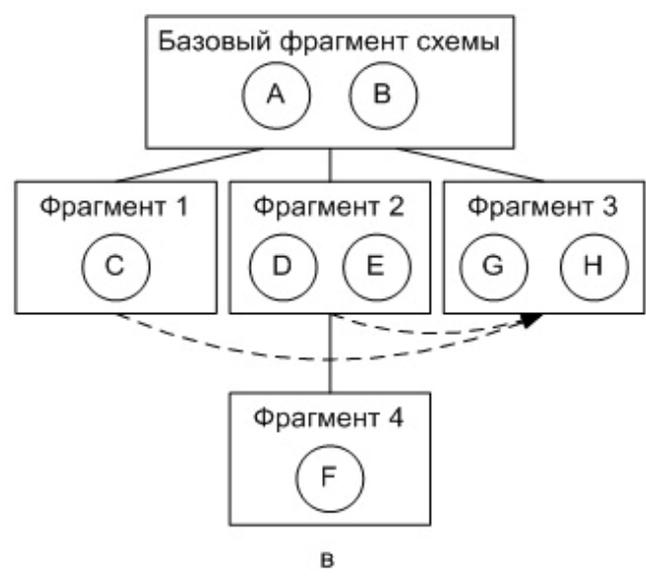
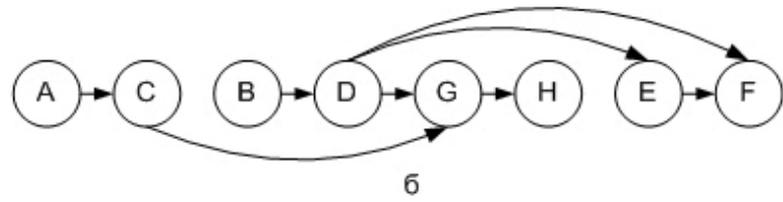
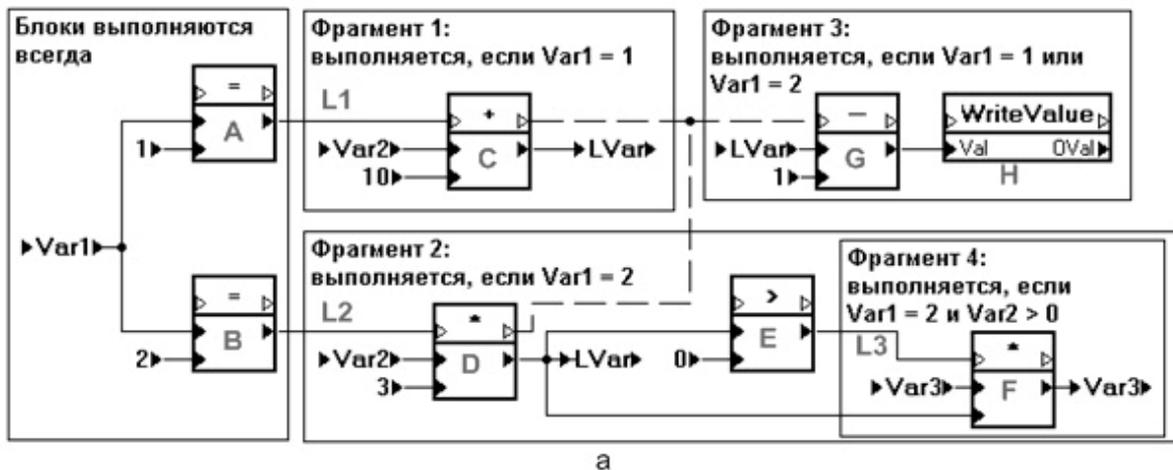
- определение необходимого порядка и условий выполнения всех вершин схемы;
- проверка корректности сочетания потока данных и потока управления.

Введем некоторые термины. **Условным фрагментом** схемы будем называть совокупность вершин схемы, которые при вызове схемы или всегда выполняются вместе, или не выполняются вообще. Две вершины схемы принадлежат к одному условному фрагменту тогда и только тогда, когда условия выполнения этих двух вершин эквивалентны. Аналогом условных фрагментов в текстовых языках является ветвь *then* оператора *if*. Кроме того, условные фрагменты могут быть вложенными. Например, условный фрагмент **A** должен выполняться, если истинно условие, значение которого вычисляется в условном фрагменте **B**; тогда условный фрагмент **A** является вложенным в фрагмент **B**. Таким образом, условные фрагменты схемы образуют **дерево условных фрагментов**, корнем которого является фрагмент, содержащий вершины, выполняемые всегда. Следует отметить, что стандартная схема FBD представляется деревом фрагментов, состоящим всего из одной вершины. Будем считать, что некоторый блок **K** схемы FBD **зависит** от блока **P**, если ко входам блока **K** подключена хотя бы одна дуга, идущая от выходов блока **P**.

В начале работы алгоритма необходимо определить первичный порядок вершин схемы, используя топологическую сортировку. При этом нужно учитывать как дуги данных, так и дуги управления и условные дуги, поскольку все они указывают на зависимости между вершинами схемы. Будем рассматривать алгоритм разбиения схемы на условные фрагменты на примере схемы, изображенной на рис. 4,а. Топологическая сортировка дает порядок выполнения вершин, показанный на рис. 4,б. Этот порядок не образует правильное дерево условных фрагментов, поскольку, например, вершины **D** и **E** принадлежат фрагменту 2, хотя между ними выполняются вершины **G** и **H**, принадлежащие другому условному фрагменту. Поэтому генератор должен разбивать схему на дерево условных фрагментов, корректируя при этом первичный порядок выполнения вершин. Если построить такое дерево фрагментов для данной схемы невозможно, то пользователю должно выдаваться сообщение об ошибке.

Исходя из требований к схеме FBD и генерируемой программе, можно сформулировать основное требование к схеме, содержащей условные дуги: каждый блок, который принадлежит к некоторому фрагменту, может зависеть только от блоков, которые принадлежат или к тому же фрагменту, или к фрагментам, которые составляют путь от фрагмента с блоком до корня дерева фрагментов. Это требование связано с тем, что на момент истинности условия вычисления некото-

рого блока все его входы должны быть уже вычислены. Из этого следует, что если вершина **A** зависит от вершины **B**, то вершина **A** должна принадлежать либо к фрагменту, содержащему **B**, либо к фрагменту, дочернему по отношению к фрагменту, содержащему **B**. Это требование вытекает из того, что если при определенных условиях выполняется некий фрагмент **F**, то обязательно выполняются только фрагменты-родители фрагмента **F** в дереве условных фрагментов.



```

flag1 = 0;
A; B;
if L1
  C;
  flag1 = 1;
endif;
if L2
  D; E;
  if L3
    F;
  endif;
  flag1 = 1;
endif;
if flag1
  G; H;
endif;

```

Рисунок 4 – Генерация текста для схемы FBD, содержащей условные фрагменты:
 а – пример схемы FBD с условными фрагментами;
 б – порядок выполнения вершин без учета условных фрагментов;
 в – дерево условных фрагментов;
 г – текст программы, которая создается генератором

Рассмотрим алгоритм генерации текстового эквивалента схемы FBD, корректно решающий поставленную задачу. Генератор обрабатывает вершины схемы в порядке, сформированном топологической сортировкой. Это гарантирует, что на момент обработки каждого блока все блоки, от которых он зависит, уже были обработаны. По сути, первая часть алгоритма полностью совпадает с алгоритмом генерации простой FBD-схемы. Генератор по мере обработки вершин схемы строит дерево условных фрагментов. Изначально дерево фрагментов содержит только корневой фрагмент, который выполняется всегда. Для каждой вершины $v \in V$ осуществляется анализ тех вершин и содержащих их фрагментов, от которых вершина v зависит. Если вершину v нельзя отнести ни к одному из существующих условных фрагментов, то создается новый фрагмент. После этого осуществляется анализ зависимостей вершины v и, если нарушается основное требование к схеме с условными дугами, то генерируется ошибка.

Рассмотрим более детально принципы, которые реализует генератор при внесении очередной вершины v в дерево фрагментов. Если у вершины v не подключен вход управления, то, очевидно, она не образует нового условного фрагмента, а принадлежит к уже существующему. Рассмотрим условные фрагменты, содержащие вершины, от которых вершина v зависит. Выберем среди этих фрагментов тот, который лежит в дереве фрагментов дальше всего от корня, т.е. для выполнения которого должно удовлетворяться больше всего условий. Назовем этот фрагмент **фрагментом по данным** вершины v . Обозначим фрагмент по данным вершины v как F_D . Этот фрагмент является первым кандидатом на формирование условного фрагмента, содержащего вершину v . Если к входу управления вершины v подходит простая дуга управления, то это лишь задает дополнительный порядок на вершинах схемы. Поэтому фрагмент, содержащий вершину, от которой к условному входу вершины v идет дуга, нужно учитывать, как и фрагменты, от которых вершина v зависит по данным.

Если же ко входу управления вершины v подходит условная дуга, то вершина v должна образовывать новый фрагмент F_u . Однако условие выполнения вершины v также вычисляется в одном из условных фрагментов, поэтому фрагмент F_u должен быть дочерним по отношению к F_D в дереве фрагментов.

Если ко входу управления вершины v подходит составная дуга управления, то вершина v должна выполняться, если выполняется хотя бы одна из вершин, от которых к v идет дуга управления. Пусть множество фрагментов M_C содержит фрагменты, которым принадлежат вершины, соединенные с v составной дугой управления. Обозначим через F_P общего родителя в дереве фрагментов $F \in M_C$, т.е. такой фрагмент из дерева фрагментов, который является родителем всех фрагментов из M_C и лежит как можно дальше от корня дерева фрагментов. Тогда, исходя из основного правила генератора, можно сделать вывод, что вершина v должна образовывать новый фрагмент F_C , дочерний по отношению к F_P . При этом условие выполнения нового фрагмента F_C должно быть дизъюнкцией условий выполнения всех фрагментов $F \in M_C$. Кроме того, при генерации текстового эквивалента генератор должен обеспечивать такой порядок появления в тексте тел фрагментов, дочерних к F_P , чтобы тело фрагмента F_C располагалось позже всех фрагментов $F \in M_C$.

После того, как для вершины v генератор выбрал или создал новый фрагмент, он проверяет выполнение основного условия для вершины v . Если оно не выполняется, то генерируется сообщение об ошибке. Таким образом, после пер-

вого этапа генерации окончательно построено дерево условных фрагментов, определен порядок выполнения вершин и их распределение по фрагментам. Для рассматриваемого примера дерево условных фрагментов показано на рис. 4,в.

Принципы генерации текстовых эквивалентов FBD-схем

После определения порядка выполнения вершин схемы FBD и распределения их по условным фрагментам генератор должен сформировать эквивалент схемы на одном из текстовых языков высокого уровня. В качестве примера будем использовать язык Си.

Текстовый эквивалент схемы FBD представляет собой правильную вложенную структуру условных блоков, полностью соответствующую дереву условных фрагментов. Сформировать такую структуру можно обходом в глубину сформированного дерева условных фрагментов. Для фрагментов, образованных условными дугами схемы, условие выполнения должно содержать значение соответствующей дуги. Для фрагментов, образованных составной дугой управления, условие должно быть дизъюнкцией условий выполнения фрагментов, от которых данный фрагмент зависит. Однако в этом случае возможны два подхода: или прямое объединение условий выполнения операцией «ИЛИ», или же реализация этой операции через промежуточную переменную логического типа. Второй подход экономит процессорное время с крайне малыми затратами памяти, поэтому является более предпочтительным для реализации в генераторе.

В теле каждого условного блока генератор создает текстовые эквиваленты всех вершин-действий схемы (операторов и блоков), которые входят в соответствующий условный фрагмент. При этом вершины внутри условного блока генерируются в порядке, сформированном на начальной стадии генерации топологической сортировкой. В конце каждого условного блока генератор создает реализации условных фрагментов, вложенных в данный. Для рассматриваемого примера общая структура текстового эквивалента показана на рис. 4,г.

Рассмотрим принцип построения генератором текстовых эквивалентов для каждой вершины схемы. Поскольку дуги показывают передачу данных между вершинами схемы, то в текстовом эквиваленте каждая дуга данных схемы представляется локальной переменной процедуры. Тогда каждая вершина-действие схемы представляется оператором языка Си, которая берет значения операндов из переменных или параметров охватывающей процедуры и возвращает результат в переменную или параметр. Каждая процедура или функция генерируется в соответствующий вызов:

$L_0 = F(L_1, L_2, \dots, L_n);$ (функция)
 $F(L_1, L_2, \dots, L_n);$ (процедура)

Оператор генерируется в присваивание или несколько присваиваний:

$L_0 = L_1 \otimes L_2 \otimes \dots \otimes L_n;$ (оператор \otimes)

Кроме того, на схеме могут встречаться дуги, соединяющие несколько переменных. В таком случае также генерируется присваивание:

$X = L_1;$ (переменная X)

Глобальные переменные должны определяться в некотором дополнительном файле, структура которого зависит от реализации. Кроме того, в соответствии

со стандартом [2] для блоков можно определить собственные данные, т.е. локальные переменные, значения которых будут сохраняться между вызовами для каждого из установленных экземпляров блока. Для реализации собственных данных удобно использовать классы. Однако, поскольку язык Си не поддерживает ООП, а трансляторы С++ отсутствуют для многих аппаратных платформ, особенно с ограниченными ресурсами, будем использовать другой подход, который по сути является ручной реализацией объектов. Так, для всех блоков, содержащих собственные данные, определяется структура, содержащая в качестве полей собственные данные этого блока и структуры с собственными данными вложенных блоков. Кроме того, для каждого такого блока добавляется параметр **self** типа указателя на структуру собственных данных. Доступ к собственным данным осуществляется через этот параметр.

Следует отметить, что для обеспечения уникальности имен в пределах текстовой программы необходимо добавлять к именам, создаваемым генератором, префикс, например «_». Имена локальных переменных, соответствующих дугам, можно строить из идентификаторов вершин и номеров выходов блоков.

Исходя из вышесказанного, для данного примера генератор может создавать следующий код на языке Си:

Файл **block1.h**:

```
#ifndef _INC_BLOCK1
#define _INC_BLOCK1
#include "WriteValue.h" // используемый блок
typedef struct { // структура собственных данных
    _data_WriteValue _WriteValue_17; // вложенный блок
    unsigned char _Var3; // переменная, сохраняемая между вызовами
} _data_block1;
void _block1 (STORED_AREA _data_block1* const self,
    const unsigned char _INPUT1, OUT_AREA unsigned char* _OUTPUT1);
#endif
```

Файл **block1.c**:

```
#include "block1.h" // подключение заголовочного файла блока
void _block1(STORED_AREA _data_block1* const self,
    const unsigned char _INPUT1, OUT_AREA unsigned char* _OUTPUT1)
{
    unsigned char _LVar = 0; // локальные переменные
    bit _run_flag_1 = FALSE; // признак выполнения условного фрагмента
    bool _3_oper_out1_; // локальные переменные для дуг схемы
    bool _4_oper_out1_;
    _3_oper_out1_ = _global_Var1 == 1;
    _4_oper_out1_ = _global_Var1 == 2;
    if (_3_oper_out1_)
    {
        unsigned char _8_oper_out1_;
        _run_flag_1 = TRUE;
        _8_oper_out1_ = _global_Var2 + 10;
        _LVar = _8_oper_out1_;
    }
    if (_4_oper_out1_)
    {
        unsigned char _10_oper_out1_;
        bool _27_oper_out1_;
        _run_flag_1 = TRUE;
        _10_oper_out1_ = _global_Var2 * 3;
```

```

    _LVar = _10_oper_out1_;
    _27_oper_out1_ = _10_oper_out1_ > 0;
    if (_27_oper_out1_)
    {
        unsigned char _24_oper_out1_;
        __fbdvertex(block1.fbd,24);
        _24_oper_out1_ = self->_Var3 * _10_oper_out1_;
        self->_Var3 = _24_oper_out1_;
    }
}
if (_run_flag_1)
{
    unsigned char _15_oper_out1_;
    unsigned char _17_WriteValue_out1_OVal;
    _15_oper_out1_ = _LVar - 1;
    _WriteValue(&self->_WriteValue_17, _15_oper_out1_,
&_17_WriteValue_out1_OVal);
}
}

```

Следует отметить, что приведенный алгоритм генерирует в тексте программы много лишних операторов присваивания, количество которых можно оптимизировать. Например, для вычисления выражения $x = \sin(4*a+b/2)+2$ генератор создаст четыре промежуточные переменные, хотя можно сгенерировать вычисление выражения одним оператором. Однако, поскольку генерация осуществляется на языке высокого уровня, компилятор Си оптимизирует эти переменные, используя вместо них регистры. Более того, архитектура большинства компиляторов такова, что они строят на основе исходной программы промежуточное представление, в котором каждая команда реализует одну элементарную арифметическую операцию [4]. Поэтому оптимизировать в алгоритме генерации количество присваиваний в текстовом эквиваленте бессмысленно. Такая оптимизация будет увеличивать время работы как генератора, так и компилятора на приведение сложных выражений к внутреннему представлению.

Таким образом, предложенный алгоритм генерации корректно создает текстовый эквивалент схемы FBD расширенного диалекта, осуществляя правильное определение порядка и условий выполнения вершин схемы и может использоваться при разработке трансляторов в системах визуального проектирования прикладного ПО.

Список литературы

1. Патрахин В.А. Средства программирования PC-совместимых контроллеров // ПИКАД. 2003. № 1-2. – С. 34 - 40.
2. International standard 1131-3, Part 3: Programming languages, IEC, Division Automatismes Programmables, First edition, 1993.
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 2001. – 960 с.
4. Ахо Альфред В., Сети Рави, Ульман Джеффри Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты: Пер. с англ.– М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.–768 с.

Исследование влияния нестабильностей на работу бистатической РСА

*Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»
Харьковский университет Воздушных сил «ХУВС»*

Введение.

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 [1].

Повышение информационных возможностей многопозиционных радиолокационных станций с синтезированием апертуры определяется результатом объединения большого количества данных, полученных отдельными бистатическими парами.

В работе [2] получен алгоритм обработки сигналов с целью обеспечения когерентного приема в условиях, когда передатчик и приемник разнесены в пространстве и движутся по различным траекториям

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{Sik}(\mathbf{r}_1) = & \int_0^T \int_D \dot{F}_{ik}[t, \mathbf{r}, \mathbf{p}(\mathbf{r})] K_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^K(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Kd}(t)]\} \times \\ & \times G_{ik}(t, \mathbf{r}) \exp\{j[\varphi_{ik}^G(t, \mathbf{r}) - \varphi_{ik}^{Gd}(t)]\} \dot{S}_{0k}[t - \tau_{ik}(t, \mathbf{r})] \dot{S}_{0k}^*[t - \tau_{ik}(t, \mathbf{r}_1)] \times \\ & \times \exp\{-j[\omega_{0k}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}) + \omega_{0i}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}_1)]\} \exp\{j[\omega_{0k}\tau_{ik}^d(t) - \omega_{0i}\tau_{ik}^d(t)]\} dt d\mathbf{r}. \quad (1) \end{aligned}$$

Данный алгоритм позволяет обеспечить когерентный прием в бистатических системах с синтезированием апертуры антенны и построить комплексные радиолокационные изображения поверхности с точностью до калибровочных величин.

Постановка проблемы. Анализ литературы. Для анализа качества формирования радиолокационных изображений алгоритмом (1) целесообразно выполнить его исследование при наличии различного рода дестабилизирующих факторов – неточностей определения координат и скоростей приемника и передатчика, неконтролируемых изменений траектории носителей, ухода частот опорных генераторов.

Особенности построения РСА, 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], однако бистатические РСА имеют свои особенности.

Разделим время задержки в прямом и отраженном каналах приема на постоянную и переменную во времени составляющие [6]:

$$\tau_{ik}^d(t) = \tau(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \tau_{0ik}^d + \tau_{\Delta ik}^d(t) \cong \frac{R_{ki0}(\mathbf{r})}{c} + \frac{\Delta R_{ik}^2(t)}{c2R_{ik0}(\mathbf{r})}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned}\tau_{ik}(t, \mathbf{r}) &= \tau(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \tau_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) + \tau_{\Delta}(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) \cong \\ &\cong \frac{R_{i0}(\mathbf{r}) + R_{k0}(\mathbf{r})}{c} + \frac{1}{c} \left[\frac{\Delta R_i^2(t, \mathbf{r})}{2R_{i0}(\mathbf{r})} + \frac{\Delta R_k^2(t, \mathbf{r})}{2R_{k0}(\mathbf{r})} \right].\end{aligned}\quad (3)$$

Погрешность определения начальных координат передатчика/приемника $\mathbf{r}_i = \mathbf{r}_i + \mathbf{r}'_i$, $\mathbf{r}_k = \mathbf{r}_k + \mathbf{r}'_k$ приводит к изменению постоянной и переменной частей времени задержки в прямом и отраженном каналах

$$\tau_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \frac{\|\mathbf{r}_i + \mathbf{r}'_i - \mathbf{r}\| + \|\mathbf{r}_k + \mathbf{r}'_k - \mathbf{r}\|}{c}, \quad (4)$$

$$\tau_{\Delta}(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \frac{1}{c} \left[\frac{[\Delta \mathbf{r}_i(t), 0.5 \Delta \mathbf{r}_i(t) - \Delta \mathbf{r}_{i0}(\mathbf{r})]}{\|\mathbf{r}_i + \mathbf{r}'_i - \mathbf{r}\|} + \frac{[\Delta \mathbf{r}_k(t), 0.5 \Delta \mathbf{r}_k(t) - \Delta \mathbf{r}_{k0}(\mathbf{r})]}{\|\mathbf{r}_k + \mathbf{r}'_k - \mathbf{r}\|} \right], \quad (5)$$

$$\tau_0^d(\mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \frac{\|\mathbf{r}_i + \mathbf{r}'_i - \mathbf{r}_k - \mathbf{r}'_k\|}{c}, \quad (6)$$

$$\tau_{\Delta}^d(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \frac{1}{c} \left[\frac{[\Delta \mathbf{r}_{ik}^d(t), 0.5 \Delta \mathbf{r}_{ik}^d(t) - \Delta \mathbf{r}_{ik0}^d]}{\|\mathbf{r}'_i - \mathbf{r}'_k\|} \right]. \quad (7)$$

Погрешность определения скоростей (закон движения носителей на интервале синтеза апертуры принят линейным) влияет исключительно на величину $\tau_{\Delta}(t)$:

$$\tau_{\Delta}(t, \mathbf{r}, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \frac{1}{c} \left[\frac{[\mathbf{v}'_i t, 0.5 \mathbf{v}'_i t - \Delta \mathbf{r}_{i0}(\mathbf{r})]}{\|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}\|} + \frac{[\mathbf{v}'_k t, 0.5 \mathbf{v}'_k t - \Delta \mathbf{r}_{k0}(\mathbf{r})]}{\|\mathbf{r}_k - \mathbf{r}\|} \right], \quad (8)$$

$$\tau_{\Delta}^d(t, \mathbf{r}_k, \mathbf{r}_i) = \frac{1}{c} \left[\frac{[\mathbf{v}'_{ik} t, 0.5 \mathbf{v}'_{ik} t - \Delta \mathbf{r}_{ik0}^d]}{\|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k\|} \right]. \quad (9)$$

Изменения величин (4-9) приводит к смещению и/или искажению пространственных функций неопределенности при синтезе апертуры. Как показывает анализ этих выражений, ошибки определения времени задержки в канале отраженного сигнала, вызванные нестабильностью траектории носителей, неточностью определения их координат и/или скоростей, оказывают на оценки комплексного коэффициента отражения такое же влияние, как и в случае однопозиционной системы. Особенность заключается в том, что в однопозиционной РСА нестабильность частоты в выражении (1) относится к одному генератору в пределах одного периода повторения зондирующего сигнала, в для случая бистатической системы – это нестабильность опорных генераторов приемника и передатчика.

Дополнительная компонента, определяющая ошибки формирования радиолокационных изображений, связана с предложенным алгоритмом когерентной обработки и определяется неточностью определения времени задержки по прямому каналу $\exp\{j[\omega_0 k \tau_{ik}^d(t) - \omega_0 i \hat{\tau}_{ik}^d(t)]\} dt$. Наиболее существенна такая ошибка в случае близкого расположения приемника и передатчика, при выполнении условия $\text{Max}\{\tau_{ik}^d(t)\} \ll \text{Max}\{\tau_{ik}(t, \mathbf{r})\}$.

Величина этой ошибки может быть уменьшена за счет слежения за временем задержки и частотой Доплера $S_{ik}^d(t, \mathbf{r}, \varphi_k)$. Точность определения этих вели-

чин в случае некогерентной обработки ЛЧМ-сигнала (при несогласованном движении приемника и передатчика прямой сигнал будет модулирован по частоте) определяется матрицей, обратной информационной матрице дисперсий ошибок:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \frac{1+4d^2}{2\mu \cdot (2\pi F_{CK})^2} & \frac{T_{\Theta}(1+4d^2)}{2\mu \cdot (2\pi T_{CK})^2 2F_m} \\ \frac{T_{\Theta}(1+4d^2)}{2\mu \cdot (2\pi T_{CK})^2 2F_m} & \frac{1+4d^2}{2\mu \cdot (2\pi T_{CK})^2} \end{pmatrix},$$

где T_{CK} – среднеквадратическая длительность сигнала; $2F_{CK}$ – среднеквадратическая ширина спектра сигнала; μ – отношение сигнал/помеха; $d = 2F_m T_{\Theta}$ – произведение эффективной длительности сигнала на максимальную частоту доплеровского сдвига.

Исследование влияния погрешностей определения пространственного положения приемника и передатчика, изменения частот опорных генераторов, а также неконтролируемых колебаний траектории выполнялось путем моделирования пространственных функций неопределенности для бистатической системы, обработка в которой ведется в соответствии с предложенным алгоритмом (1). При этом полагалось, что характер этих нестабильностей близок для передатчика и приемника.

На рис.1 показано изменение функции неопределенности бистатической системы в случае неточного определения координат приемной и передающей позиции при обработке алгоритмом (1).

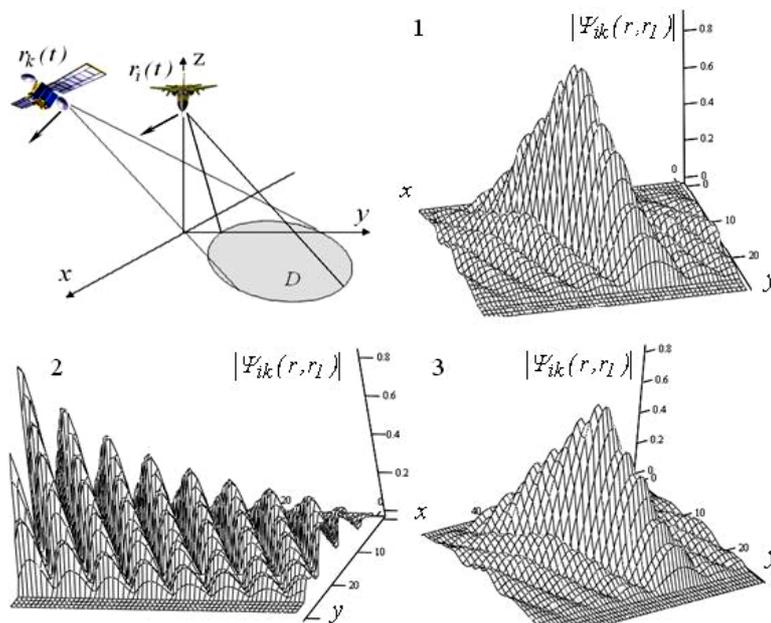


Рис.1. Пространственная конфигурация и вид ПФН бистатической РСА:

- 1 – в идеальном случае, 2 – при неточности определения координат и выполнении условия $\text{Max}\{\tau_{ik}^d(t)\} \ll \text{Max}\{\tau_{ik}(t,r)\}$,
- 3 – при неточном определении координат при $\text{Max}\{\tau_{ik}^d(t)\} \sim \text{Max}\{\tau_{ik}(t,r)\}$

Из результатов моделирования видно, что существенное влияние на поведение ПФН при «плотной» конфигурации элементов бистатической РСА оказыва-

ет ошибка в прямом канале. Для ее уменьшения при $\text{Max}\{\tau_{ik}^d(t)\} \ll \text{Max}\{\tau_{ik}(t,r)\}$ целесообразно использовать дополнительные средства определения вектора состояния и синхронизации шкал времени, например, рассмотренные в [7]. При обработке радиолокационной информации на наземных станциях возможно использование данных определения координат бистатической РСА, полученных системой траекторных измерений.

Исследование влияния неконтролируемых изменений траектории полета приемо-передающих позиций выполнялось путем аппроксимации прямолинейного движения нормальным случайным процессом с последующим вычислением соответствующих ПФН (рис.2).

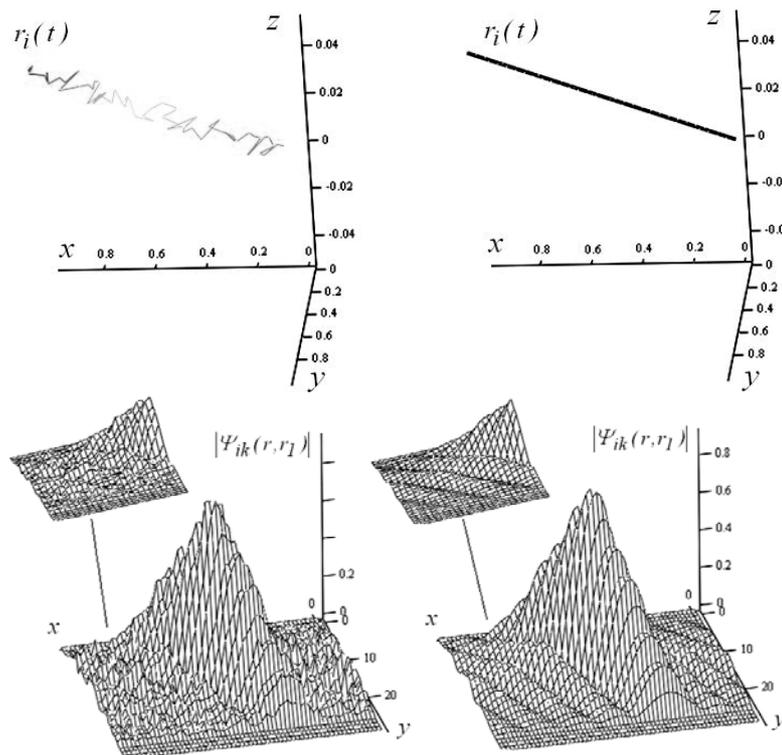


Рис.2. Вид модуля ПФН в зависимости от траектории движения носителя

На рис.3 показан вид функций неопределенности бистатической системы для случая неточного определения векторов скоростей приемной и передающей позиции.

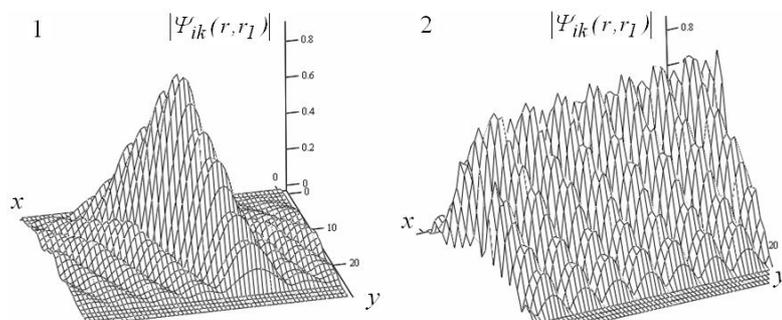


Рис.3. Вид ПФН в идеальном случае (1) и при неточном определении вектора скорости передатчика (2)

Анализ полученных результатов показывает, что ошибки определения времени задержки в канале отраженного сигнала, вызванные нестабильностью траектории носителей, неточностью определения их координат и/или скоростей оказывают на оценки комплексного коэффициента отражения такое же влияние, как и в случае однопозиционной системы.

Ошибка, определяемая неточностью определения времени задержки по прямому каналу, существенна только в случае близкого расположения приемника и передатчика, при выполнении условия $Max\{\tau_{ik}^d(t)\} \ll Max\{\tau_{ik}(t,r)\}$.

Результаты исследования работы предложенного алгоритма когерентного приема позволяют сформулировать требования к стабильности опорных генераторов, точности определения координат приемных и передающих элементов системы, точности привязки во времени для обеспечения необходимого качества формирования радиолокационных изображений в бистатических РСА.

Выводы

Исследовано влияние дестабилизирующих факторов на качество формирования РЛИ путем моделирования пространственных функций неопределенности. Показано, что ошибки определения времени задержки в канале отраженного сигнала, вызванные нестабильностью траектории носителей, неточностью определения их координат и/или скоростей оказывают на оценки комплексного коэффициента отражения такое же влияние, как и в случае однопозиционной системы. Ошибка определения времени задержки по прямому каналу существенна только в случае близкого расположения приемника и передатчика.

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. Ксендзук А.В., Евсеев И.А. Разработка алгоритма когерентного приема сигналов с учетом пространственного разнесения приемных и передающих элементов РСА // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2005. – Вып. 29. – С. 126 – 131.
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. Евсеев И.А. Основные геометрические соотношения в многопозиционных радиолокационных системах с синтезированием апертуры антенны // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, ХАИ. – 2005. – №1 (17). – С.60-66.
7. Евсеев И.А. Временная и частотная синхронизация в двухпозиционных радиолокационных системах с синтезированием апертуры антенны // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005. – №1. – С.20-27.

О модификации алгоритмов адаптивной пространственно-временной обработки сигналов в условиях параметрической априорной неопределенности

Харьковский университет Воздушных Сил

Актуальность. Гипотеза о наличии используемых при синтезе параметрических алгоритмов адаптивной пространственной обработки сигналов точных априорных данных практически никогда не выполняется. В реальных условиях речь идет даже не о том, имеются ли ошибки в априорных данных, а скорее, о том, какова величина этих ошибок и можно ли ими пренебречь [1].

Цель работы - оценить потенциальные возможности оптимальных векторных весовых коэффициентов в условиях, когда необходимые априорные данные о векторе полезного сигнала отличаются от соответствующих модельных предположений.

Постановка задачи. Для исходных данных ограничимся только случаем параметрической априорной неопределенности о свойствах сигнала $\vec{S}(t)$. Не будем также делать различий между векторными весовыми коэффициентами (ВВК) по критериям: максимума отношения мощности полезного сигнала к суммарной мощности помехи и шума $\vec{W}_{\text{МОСП}}$; минимума среднеквадратического отклонения сигнала от опорного $\vec{W}_{\text{МСКО}}$; минимума мощности выходного сигнала при ограничении $\vec{W}_{\text{МВМО}}$, и для анализа ограничимся выражением [1]

$$\vec{W} = \beta R_{xx}^{-1} \vec{V}_y. \quad (1)$$

Представим ВВК, оптимальный по критерию максимума отношения мощности полезного сигнала к суммарной мощности помехи и шума, в двух эквивалентных формах:

$$\vec{W}_1 = \beta R_{\text{пш}}^{-1} \vec{V}_y, \quad (2)$$

$$\vec{W}_2 = \beta R_{xx}^{-1} \vec{V}_y, \quad (3)$$

где $\vec{V}_y = [a_1(\Theta_y) \exp(j\omega_y \Delta t_{y1}) \dots a_N(\Theta_y) \exp(j\omega_y \Delta t_{yN})]^H$; $a_i(\Theta_y)$ — значения коэффициента усиления i -го антенного элемента в направлении Θ_y ; Θ_y , ω_y — направление прихода и несущая частота некоторого монохроматического сигнала; Δt_{yi} — “запаздывание” фронта волны сигнала на выходе i -го антенного элемента (АЭ) по отношению к точке, принятой за фазовый центр адаптивной антенной решётки (ААР); β — нормирующий множитель; R_{xx} — пространственная корреляционная матрица (КМ) вектора входных сигналов; $R_{\text{пш}}$ — пространственная КМ помех и шума.

Решение. Сопоставим (2), (3) применительно к различным сигнально-помеховым ситуациям (СПС). При этом если ошибка в определении направления

на помеху $\delta_1 = 0$ и направления на сигнал $\gamma_0 = 0$, то ВВК всегда обеспечивают выполнение нестрогого неравенства

$$\eta_{\text{ВВК}}(\vec{W}) \geq \eta_{\text{ВХ}}, \quad (4)$$

где $\eta_{\text{ВХ}}$, $\eta_{\text{ВВК}}(\vec{W})$ — максимальное отношение сигнала к сумме помехи и шума (ОСПШ) соответственно на входе и выходе пространственного фильтра (ПФ). При этом равенство в (4) имеет место, только если есть разность между направлением сигнала и помехи. При отсутствии помех $\vec{W}_1 = \beta \vec{W}_2 = \beta \vec{V}_s$. Следовательно, максимальное отношение сигнала к сумме помехи и шума на выходе ПФ таково:

$$\eta_{\text{ВВК}}(\vec{W}) = \frac{\vec{W}^H R_{ss} \vec{W}}{\vec{W}^H R_{\text{шш}} \vec{W}} = N \left(\frac{P_s}{\sigma_{\text{ш}}^2} \right) = N \eta_{\text{ВХ}}. \quad (5)$$

При наличии одной помехи на основании (2), (3) имеем

$$\vec{W}_{1\text{МОСП}} = \beta \vec{W}_{2\text{МОСП}} = \alpha \left((\sigma_{\text{ш}}^2 + P_1 \vec{V}_1^H \vec{V}_1) I - P_1 \vec{V}_1 \vec{V}_1^H \right) \vec{V}_y, \quad (6)$$

где $\alpha = 1 / (\sigma_{\text{ш}}^2 (\sigma_{\text{ш}}^2 + P_1 \vec{V}_1^H \vec{V}_1))$. В случае воздействия нескольких помех $L \geq 2$ и положения, что для k -й помехи справедливо условие $\|\vec{V}_k - \vec{V}_s\| = 0$, на основании [2]

$$R_{\text{шш}}^{-1} = \left\{ R_{\text{gg}}^{-1} - \frac{1}{(1 + \vec{V}_y^H R_{yy} \vec{V}_y)} R_{yy}^{-1} \vec{V}_y \vec{V}_y^H R_{yy}^{-1} \right\}, \quad (7)$$

где $R_{\text{gg}} = \sum_{j=1, j \neq k}^L P_j \vec{V}_j \vec{V}_j^H + \sigma_{\text{ш}}^2 I$; $\vec{V}_k = \vec{V}_s = \vec{V}_y$. Подставляя (7) в выражение (2), получим

$$\vec{W}_1 = \beta \vec{W}_2 = \beta R_{\text{gg}}^{-1} \vec{V}_y. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что \vec{W}_1 (\vec{W}_2) обеспечивает максимизацию отношения

$$\eta'_{\text{ВВК}}(\vec{W}) = \frac{P_{\text{сВВК}}}{P'_{\Sigma\text{ВВК}}}, \quad (9)$$

где $P_{\text{сВВК}}$ - мощность сигнала; $P'_{\Sigma\text{ВВК}}$ - суммарная мощность $(K - 1)$ помех и шума на выходе пространственного фильтра. Очевидно, что если $\eta'_{\text{ВВК}}(\vec{W})$ максимально, а $P_{\text{сВВК}}/P_{\text{кВВК}} = P_s/P_k$ ($P_{\text{кВВК}}$ - мощность k -й помехи на выходе ПФ), то $\eta_{\text{ВВК}}(\vec{W}) > \eta_{\text{ВХ}}$.

Выражение (4) обосновывает применение алгоритмов адаптивной пространственной обработки сигналов (АПОС), реализующих оптимальные ВВК типа (2), (3). За исключением частного случая $\gamma_{ks} = \angle(\vec{V}_k, \vec{V}_s) = 0$ всегда обеспечивается выполнение неравенства $\eta_{\text{ВВК}}(\vec{W}) > \eta_{\text{ВХ}}$, не говоря уже даже о том, что $\eta_{\text{ВВК}}(\vec{W})$ достигает потенциально возможной величины.

В случае критерия МОСП, при наличии априорных данных о сигнале и характеристиках ААР, позволяющих сформировать матрицу R_{yy} или вектор \vec{V}_y с

точностью до постоянных коэффициентов, совпадающих соответственно с матрицей R_{ss} и вектором \vec{V}_s , на основании (3) также получим

$$\hat{\vec{W}}_{\text{МОСП}} = \beta \hat{R}_{xx}^{-1} \vec{V}_y. \quad (10)$$

В свою очередь для критерия МОСП простейшие (градиентные) варианты рекуррентных процедур, сходящихся, соответственно, к (10), имеют вид [3]

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) + \mu_k \left(\vec{V}_y - \hat{R}_{xx} \vec{W}(k) \right), \quad (11)$$

Можно показать, что для любых δ_0 , $P_s / \sigma_{\text{ш}}^2$ существуют значения дисперсий $\sigma_{\text{ка}}^2$, $\sigma_{\text{кф}}^2$ (существует такая матрица $R_{\tilde{s}\tilde{s}} = E \left\{ \tilde{S}(t) \tilde{S}^H(t) \right\} = R_{ss} + G$), что $\vec{W}_{\text{МОСП}}^H R_{ss} \vec{W}_{\text{МОСП}} \geq \vec{W}_{\text{МОСП}}^H R_{ss} \vec{W}_{\text{МОСП}}$. Следовательно, если преднамеренно исказить амплитуды и фазы сигналов на выходах АЭ с помощью взаимно и пространственно некоррелированных случайных процессов с нулевыми математическими ожиданиями (использовать вместо вектора $\vec{X}(t)$ вектор $\tilde{\vec{X}}(t) = \vec{X}(t) + \Delta \vec{V}_s$), то для любой СПС можно подобрать значения составляющих вектора $\Delta \vec{V}_s$, при которых алгоритмы

$$\vec{W}_p = \beta \hat{R}_{xx}^{-1} \vec{V}_y, \quad \hat{R}_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \tilde{\vec{X}}(k) \tilde{\vec{X}}^H(k), \quad (12)$$

$$\vec{W}_p(k+1) = \vec{W}_p(k) + \mu_k \left(\vec{V}_y - \hat{R}_{xx} \vec{W}_p(k) \right), \quad (13)$$

$$\vec{W}_p(k) = \vec{W}_p(k-1) + \mu_k \left(\vec{V}_y - \vec{X}(k) \bar{y}(k) \right), \quad \bar{y}(k) = \vec{W}_p^H(k-1) \vec{X}(k) \quad (14)$$

будут «более эффективны» (обеспечат большее значение выходного ОСПШ) в условиях априорной неопределенности, чем соответствующие процедуры (10), (11). Некоторые результаты сопоставления потенциальной эффективности \vec{W}_1 и \vec{W}_2 в условиях параметрической априорной неопределенности о свойствах сигнала представлены в работе [4].

В качестве примера на рис. 1 - 3 показаны графики, иллюстрирующие качество традиционных (алгоритм (10) и робастных (алгоритм (12) с $G = \sigma_0^2 I$) процедур АПОС в условиях априорной неопределенности о свойствах сигнала. На рис. 1 показаны зависимости ОСПШ на выходе ПФ, оптимизируемого согласно алгоритму (10), от входного отношения сигнал/шум, а на рис. 2 - полученные с использованием алгоритма (12) зависимости выходного ОСПШ от абсолютной величины параметра σ_0^2 . На рис. 3 представлены кривые, характеризующие зависимости выходного ОСПШ от величины ошибки в задании направления прихода сигнала $\Delta \Theta = \Theta_y - \Theta_s$ (Θ_y - предполагаемое, Θ_s - истинное направления прихода сигнала) соответственно для алгоритмов (10) и (12) с ошибкой в априорных данных $\delta_0 = 3$.

Имеющиеся графики рис. 1 - 3 наглядно иллюстрируют низкую эффективность оптимальных ВВК (1) в условиях параметрической априорной неопределенности даже при сравнительно простых СПС. Данное заключение в полной мере относится и к случаю обобщенной параметрической неопределенности.

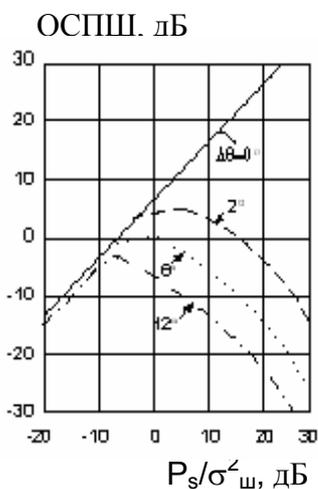


Рис. 1. Зависимости выходного ОСПШ от входного отношения сигнал/шум

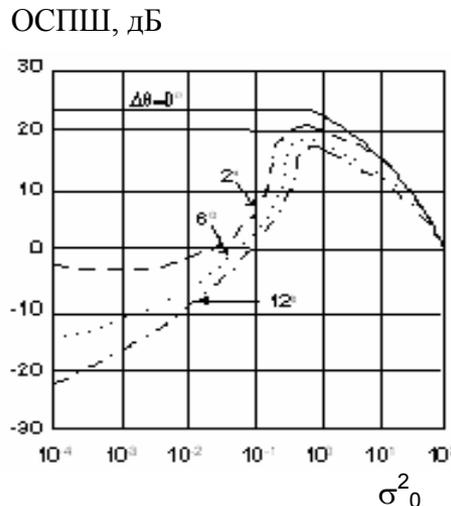


Рис. 2. Зависимости выходного ОСПШ от величины параметра σ_0^2

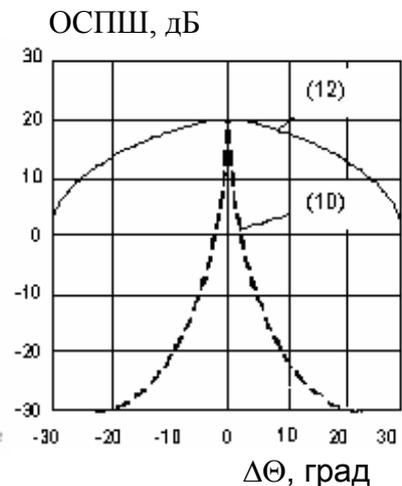


Рис. 3. Зависимости выходного ОСПШ от величины ошибки в задании направления прихода сигнала

Вывод

Основными направлениями развития теории АПОС являются модификация классических алгоритмов, способных достаточно эффективно функционировать в условиях обобщенной параметрической априорной неопределенности о свойствах помех, и создание алгоритмов, применимых в условиях частичной априорной неопределенности о пространственной структуре сигнала.

В настоящее время разрабатывается ряд подходов, направленных на модификацию оптимальных ВВК (1) - создание алгоритмов с пониженной чувствительностью к ошибкам в априорных данных, которые обычно называют робастными алгоритмами АПОС. Создание робастных алгоритмов – одно из перспективных направлений развития теории адаптивной АПОС.

Список литературы

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. Введение в теорию. — М.: Радио и связь, 1986. — 442 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). — М.: Наука, 1978. — 832 с.
3. Марчук Л.А., Прасько А.Д. Максимизация ОСПШ в задачах адаптивной пространственной фильтрации относительно широкополосных сигналов // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 1996. — Т.39. № 8. — С. 72 - 75.
4. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. — М.: Сов. радио, 1977. — 432 с.

Методы и алгоритмы обработки информации в модулярной арифметике

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

Анализ задачи и обзор литературных источников. Малоразрядность остатков в представлении чисел в модулярной арифметике (МА), например в системе остаточных классов (СОК), дает возможность широкого выбора вариантов системотехнических решений при реализации модульных операций.

Известно [1 – 3], что существует четыре принципа реализации арифметических операций в МА: сумматорный принцип (СП) (на базе малоразрядных двоичных сумматоров [1]); табличный принцип (ТП) (на основе использования ПЗУ [4]); прямой логический принцип реализации арифметических операций, основанный на описании модульных операций на уровне систем переключательных функций, посредством которых формируются значения двоичных разрядов результирующих вычетов (в качестве элементной базы для технической реализации данного принципа целесообразно использовать систолические и программируемые логические матрицы, а также ПЛИС [3]); принцип кольцевого сдвига (ПКС), основанный на использовании кольцевых регистров сдвига (КРС) [5 – 8].

Отсутствие межразрядных связей между двоичными разрядами операционного устройства (ОУ) системы обработки информации (СОИ) в процессе реализации модульных операций на основе ТП или ПКС является одной из главных и наиболее привлекательных особенностей модулярной арифметики. Если ТП и методы его реализации хорошо известны и довольно глубоко исследованы, то ПКС был предложен сравнительно недавно, поэтому для его широкого использования необходимо решить ряд задач, связанных с выбором рациональной структуры ОУ СОИ, что в свою очередь непосредственно связано с методами и алгоритмами обработки информации в МА на основе ПКС.

Цель статьи – рассмотрение практической возможности использования ПКС в МА при разработке и реализации методов и алгоритмов обработки информации в реальном времени.

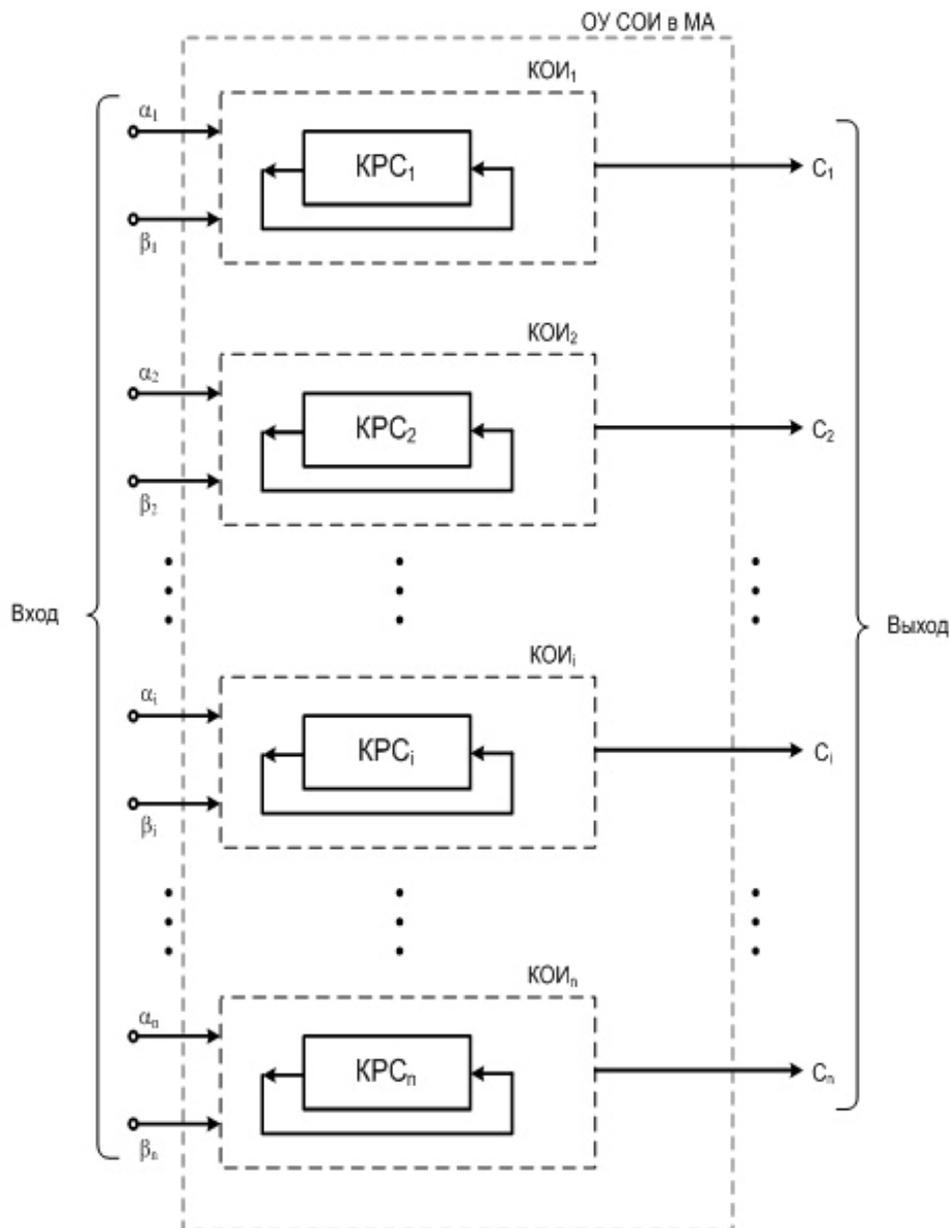
Основная часть. Согласно таблице Кэли для аддитивных операций (см. работу [2]) нужная строка таблицы модульного сложения (вычитания) может быть получена путем последовательного циклического сдвига элементов первой строки (столбца). Системотехнической основой для алгоритмов реализации методов арифметических операций в МА на основе ПКС являются кольцевые регистры сдвига. В этом случае структурная схема ОУ СОИ в МА представляет собой n (по числу оснований СОК) независимых и параллельно во времени функционирующих каналов обработки информации (КОИ) (рисунок).

В качестве примера рассмотрим реализацию ПКС для $m_i = 7$. В этом случае исходное состояние содержимого КРС для операции $(\alpha + \beta) \bmod 7$ соответствует первой строке таблицы Кэли, т.е.

$$000 - 001 - 010 - 011 - 100 - 101 - 110. \quad (1)$$

В общем случае максимальная длительность реализации модульной операции сложения - вычитания в условных временных тактах t равна $t = \lceil \log_2 m_i \rceil \cdot m_i$, где один разряд КРС состоит из $\lceil \log_2 m \rceil$ двоичных разрядов (метод двоичного позиционно-остаточного кодирования [6]). Очевидно, что с ростом величины основания (модуля) m_i СОК существенно уменьшается быстродействие реализации модульных операций в МА.

Существует возможность получения результата выполнения модульных операций, используя ПКС, на основе унитарного кодирования содержимого разрядов КРС (метод унитарного позиционно-остаточного кодирования [8]). При этом максимальная длительность выполнения модульной операции сложения - вычитания равна значению $t = m_i$, а исходное состояние (1) кольцевого регистра для $m_i=7$ можно представить в следующем виде:



Упрощенная структурная схема операционного устройства системы обработки информации в МА

$$0 - 0 - 0 - 1 - 0 - 1 - 1. \quad (2)$$

Рассмотрим алгоритм формирования исходного состояния кольцевого регистра сдвига для $m_i = 4$ [9]. При этом необходимо получить следующую совокупность остатков: 00, 01, 10, 11. Формирование исходного содержимого понятно из приведенного ниже алгоритма, справа от которого расположена соответствующая циркулянтная матрица состояний кольцевого регистра:

$$\begin{array}{r} 00 \\ 01 \\ 11 \\ \hline 0011 \end{array} \quad \begin{pmatrix} 0011 \\ 0110 \\ 1100 \\ 1001 \end{pmatrix}.$$

При $m_i = 4$ быстродействие выполнения операций модульного сложения-вычитания увеличивается в два раза. В этом случае исходное значение содержимого разрядов КРС имеет вид 0 0 1 1. Исходное состояние разрядов КРС для $m_i > 4$ будет определяться аналогично. Так, например, при $m_i = 7$ получим

$$\begin{array}{r} 000 \\ 001 \\ 010 \\ 011 \\ \hline 0001011 \end{array} \quad \begin{pmatrix} 0001011 \\ 0010110 \\ 0101100 \\ \dots \\ 1000101 \end{pmatrix}.$$

Быстродействие реализации арифметических операций ОУ СОИ при использовании метода унитарного позиционно-остаточного кодирования увеличивается в $\lceil \log_2 7 \rceil = 3$ раза. Рассмотрим известный в теории функций метод реализации арифметических операций в МА, основанный на построении нормальных периодических систем с равномерным распределением дробных долей. Пусть ρ и q – натуральные числа. Составим ρ -значное разложение чисел $0, 1, 2, \dots, q^\rho - 1$ в системе счисления с основанием q :

$$\begin{aligned} 0 &= 00 \dots 00; \\ 1 &= 00 \dots 01; \\ &\dots \end{aligned}$$

$$q^\rho - 1 = q-1q-1\dots q-1q-1. \quad (3)$$

Нормальной периодической системой $P_\rho(q)$ называется последовательность из $q^\rho + \rho - 1$ знаков вида

$$\delta_1 \delta_2 \delta_3 \dots \delta_{q^\rho + \rho - 1}, \quad (4)$$

где каждое δ_v - целое число из отрезка $[0, q-1]$, обладающее тем свойством, что совокупность ρ -значных чисел

$$\delta_1 \delta_2 \dots \delta_\rho, \delta_2 \delta_3 \dots \delta_{\rho+1}, \dots, \delta_{q^\rho} \delta_{q^\rho + 1} \dots \delta_{q^\rho + \rho + 1},$$

получающихся из соседних знаков последовательности (4), совпадает с совокупностью всех возможных ρ -значных чисел вида (3).

Рассмотрим при конкретных значениях $\rho=2$ и $q=2$ возможные двоичные разложения чисел 0, 1, 2, 3. Получим следующие значения

$$0=00, 1=01, 2=10, 3=11. \quad (5)$$

В этом случае нормальная периодическая система имеет вид $P_2(2)=11001$ и совокупность двухзначных чисел 11, 10, 00, 01, полученных из этой системы, совпадает с совокупностью двоичных чисел вида (5). Отметим, что при $q=2$ $\rho=r$.

Правило построения нормальной периодической системы для случая двоичной системы счисления следующее. Первые ρ двоичных чисел выбирают равными единице. Справа приписывают нуль и полученное ρ -значное двоичное число без первого левого двоичного знака сравнивают с исходным. После этого процесс приписывания нулей и сдвиг на один знак вправо продолжается. Сравнение полученного нового числа производится со всеми предыдущими до тех пор, пока ρ -значные числа впервые совпадают. Единицу приписывают справа только в том случае, когда добавление нуля приводит к уже встречавшемуся ρ -значному числу. В этом случае процесс приписывания заканчивается, далее происходит сдвиг на один знак с последующим сравнением. Тогда любой новый двоичный знак (ноль или единица) приводит к ρ -значному числу, которое уже встречалось. Приведенный алгоритм наиболее эффективно использовать при модулях $m=2^p$. В частности, при $m=2^3$ имеем

$$P_3(2)=1110001011. \quad (6)$$

При использовании алгоритма формирования исходного состояния КРС выигрыш в быстродействии численно равен значению ρ нормальной периодической системы $P_\rho(2)$, т.е. в данном случае – трем. Учитывая, что матрица исходных состояний кольцевого регистра является циркулянтном, последние два знака последовательности (6) можно удалить. В этом случае в окончательном варианте начальное содержимое разрядов КРС будет равно

$$1 - 1 - 1 - 0 - 0 - 0 - 1 - 0.$$

Другой метод повышения производительности выполнения модульных операций сложения - вычитания в МА, основанный на использовании ПКС, предполагает унитарное кодирование содержимого разрядов КРС [8]. В этом случае исходное содержимое разрядов КРС для произвольного модуля m МА можно представить в виде информационной структуры $P_{исх}^{(m)}$ вида (7), т.е. как унитарный m -разрядный код

$$P_{исх}^{(m)} = P(\alpha_j) \parallel P(\alpha_{j-1}) \parallel \dots \parallel P(1) \parallel P(0), \quad (7)$$

где \parallel – операция конкатенации (операция склеивания, или оператор последовательного присоединения символов); $P(\alpha_j)$ - двоичный разряд цифровой структуры (7), единичное состояние которого соответствует значению операнда α , представленного унитарным кодом $\alpha_j = 0, m - 1$. При этом исходное состояние КРС состоит из m -двоичных разрядов и первый операнд α , отображаемый унитарным кодом, заносится в α -й единичный разряд кольцевого регистра, переводя его в единичное состояние. Второй операнд β указывает на число сдвигов двоичных разрядов содержимого КРС, определяя время реализации

арифметических операций по модулю, т.е. $t = \beta$. В общем виде данный унитарный код, состоящий из совокупности строк (столбцов) единичной матрицы I , представляет собой нелинейный эквидистантный равновесный код вида

$$I = \begin{pmatrix} 100\dots 0 \\ 010\dots 0 \\ \dots \\ 000\dots 1 \end{pmatrix}.$$

Для оценки быстродействия алгоритма реализации модульных операций сложения - вычитания будем использовать данные таблицы Кэли, где содержатся величины времен сдвигов t_{ij} для каждой пары операндов α и β . При этом показателем для оценки времени реализации арифметических операций выбрано значение T_m , где

$$T_m = \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{i=0}^{m-1} t_{ij}.$$

Табл. 1 представлена модифицированная таблица Кэли для алгоритма, основанного на выборе исходного состояния КРС и реализации операции $(\alpha+\beta)\text{mod}7$, табл. 2 – соответственно таблица Кэли для типового варианта унитарного кодирования операндов и такой же модульной операции. В первом

случае при нечетном m_i имеем $T_m = 2\left(1 + \frac{m-1}{2}\right)\frac{m-1}{2} = \frac{m(m^2-1)}{2}$, при $m_i = 11$ –

$T_{11}=660$, а если m_i -четное, то

$$T_m = 2\left(1 + \frac{m}{2}\right)\frac{m^2}{2} - 4\left(1 + \frac{m}{2}\right)\frac{m}{2} = \frac{m}{2}(m^2 - 4).$$

Для второго алгоритма значение T_m составляет величину

$$T_m = \frac{0 + (m-1)}{2} m^2 = \frac{m^2}{2}(m-1),$$

т.е. если $m_i = 11$, то $T_{11} = 605$. В этом случае имеем выигрыш в быстродействии реализации модульных операций в МА порядка 10%.

Таблица 1

Модифицированная таблица Кэли

β/α	0	1	2	3	4	5	6
0	3	2	1	1	3	0	2
1	2	1	1	3	0	2	3
2	1	1	3	0	2	3	2
3	1	3	0	2	3	2	1
4	3	0	2	3	2	1	1
5	0	2	3	2	1	1	3
6	2	3	2	1	1	3	0

Таблица Кэли для варианта унитарного кодирования

β/α	0	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6

Для оценки быстродействия алгоритмов выполнения модульных операций методами, основанными на ПКС, будем использовать интегральный критерий R [9].

Под интегральным критерием R сравнительной оценки производительности выполнения арифметических модульных операций для ПКС условимся понимать отношение общего количества сдвигов разрядов КРС при выполнении данной операции (для каждой пары операндов), при определенном модуле m и типе операции к соответствующей величине T_m , т.е

$$R = \frac{m^2}{2} (m-1) / T_m. \quad (8)$$

В качестве примера рассмотрим двухуровневую структуру тракта обработки информации (ТОИ) СОИ, реализованного по ПКС. Она состоит из трех кольцевых регистров сдвига и преобразователя. Первый КРС реализует операцию $(\alpha_1 * \beta_1) \bmod m_1$, второй – $(\alpha_2 * \beta_2) \bmod m_2$ (m_1 и m_2 – составные подмодули модуля m , а $\alpha = (\alpha_1, \beta_1)$ и $\beta = (\alpha_2, \beta_2)$). В третьем КРС формируется результат операции по модулю m . При этом ее максимальная длительность

$$T = \frac{m}{m_1} + m_1.$$

Рассмотрим практические методы реализации модульных операций в МА, основанных на ПКС. Так, один из возможных эффективных методов основан на использовании закономерности распределения в поле матрицы результатов выполнения арифметических операций (табл. 3). Содержимое нижней половины строк табл. 3 можно получить путем переноса начала отсчета разрядов КРС. Заменив последовательность значений содержимого КРС 0, 1, 2, 3, 4, 5 на 3, 4, 5, 0, 1, 2, получим значения в верхних трех строках идентичные значениям нижних строк. Эта процедура позволяет выбирать в качестве исходного состояния разрядов КРС строку при $\beta = 0$ (для $\beta=5, 0, 1$) либо при $\beta = 3$ (для $\beta=2, 3, 4$), которая формируется путем коммутации выходов операнда α , представленного в унитарном коде, с соответствующими входами кольцевого регистра. Необходимые значения результата операции определяются путем сдвига содержимого КРС вправо или влево. Схематично получение необходимых значений строк для операций модульного сложения и вычитания можно представить в виде

$$5 \ 01234$$

$$\frac{1- \uparrow 1+}{1- \uparrow 1+}$$

$$(\alpha + \beta) \bmod 6$$

Стрелка указывает исходное содержимое определенного разряда КРС, а значения “1-“ и “1+” определяют количество тактов сдвига и их направление. Следовательно, для проведения операции модульного вычитания в схеме реализации операции модульного сложения достаточно изменить направление сдвига содержимого разрядов КРС.

Таблица 3

Матрица операции модульного сложения

$\beta \backslash \alpha$	0	1	2	3	4	5
5	5	0	1	2	3	4
0	0	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5	0
2	2	3	4	5	0	1
3	3	4	5	0	1	2
4	4	5	0	1	2	3

Общим случаем является вариант метода разбивки порядка содержимого КРС по модулю m на d интервалов с выбором середины оси. В зависимости от соотношения операндов α и β производится выбор средней точки на оси, а затем осуществляется сдвиг содержимого кольцевого регистра вправо или влево от оси. В этом случае максимальное количество сдвигов

$$T = \left\lceil \frac{m-d}{2d} \right\rceil. \quad (9)$$

Характерно, что при $d=1$ согласно (9) имеем вариант унитарного кодирования информации, а для $m=d$ получим характеристики, свойственные табличному методу реализации модульной операции. Исходя из временных требований к обработке информации ОУ СОИ можно найти оптимальное значение величины d на основании заданных требований к обработке информации. Для данного метода получим следующее значение искомого времени:

$$T_m = 2d \left(1 + \frac{m-d}{2} \right) \frac{m-d}{2d} \cdot \frac{m}{2d} = \left\lceil \frac{m}{4d} \right\rceil \cdot (m^2 - d^2),$$

т.е. если $m = 11$, то $R \approx 2,59$. Модифицированная матрица Кэли для $m=6$ представлена табл. 4.

Таблица 4

Модифицированная таблица Кэли для операции $(\alpha + \beta) \bmod 6$

$\beta \backslash \alpha$	0	1	2	3	4	5
5	1	0	1	1	0	1

Продолжение таблицы 4

0	0	1	1	0	1	1
1	1	1	0	1	1	0
2	1	0	1	1	0	1
3	0	1	1	0	1	1
4	1	1	0	1	1	0

Следующий алгоритм реализации арифметических операций предполагает использовать паузы между тактовыми импульсами при продвижении содержимого КРС в соответствии значению α первого операнда. При этом существенно уменьшается количество используемого оборудования ОУ СОИ, однако длительность бинарной операции будет равна $\max(\alpha, \beta)$, что отражено в табл. 5 [9].

Таблица 5

Исходное содержимое разрядов КРС для $(\alpha + \beta) \bmod 7$

$\beta \backslash \alpha$	0	1	2	3	4	5	6
0	0	1	2	3	4	5	6
1	1	1	2	3	4	5	6
2	2	2	2	3	4	5	6
3	3	3	3	3	4	5	6
4	4	4	4	4	4	5	6
5	5	5	5	5	5	5	6
6	6	6	6	6	6	6	6

Для определения значения T_m воспользуемся теорией конечных разностей. В табл. 6 приведена количественная связь между временем T_m и величиной модуля m_i для $m = \overline{1,7}$.

Таблица 6

Значения величин T_m и m_i

m_i	1	2	3	4	5	6	7
T_m	0	3	13	34	70	125	203

Рассмотрим первые разности в виде

$$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, \dots \quad (10)$$

последовательности $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4, \Delta T_5, \Delta T_6, \dots$, где $\Delta T_i = T_{i+1} - T_i$ ($i=1, 2, 3, \dots$). Аналогично определяются и последовательности высших разностей

$$\begin{aligned} &T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, \\ &\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4, \Delta T_5, \Delta T_6, \\ &\Delta^2 T_1, \Delta^2 T_2, \Delta^2 T_3, \Delta^2 T_4, \Delta^2 T_5, \\ &\Delta^3 T_1, \Delta^3 T_2, \Delta^3 T_3, \Delta^3 T_4, \dots \end{aligned}$$

Тогда для последовательности, соответствующей табл. 6, имеем

$$\begin{aligned} &0, 3, 13, 34, 70, 125, 203, \\ &3, 10, 21, 36, 55, 78, \\ &7, 11, 15, 19, 23, \\ &4, 4, 4, 4, \\ &0, 0, 0, \dots \end{aligned}$$

Следовательно, имеем разностное линейное однородное уравнение четвертого порядка $\Delta^4 T_m = 0$. Для его решения используем теорию возвратных последовательностей. Разностному уравнению соответствует возвратное уравнение четвертого порядка

$$T_{m+4} = 4 \cdot T_{m+3} - 6T_{m+2} + 4T_{m+1} - T_m, \quad (11)$$

решение которого определяется по формуле

$$T_m = B_0 + B_1(m-1) + B_2(m-1)^2 + B_3(m-1)^3. \quad (12)$$

Чтобы найти коэффициенты B_0, B_1, B_2 и B_3 , достаточно решить следующую систему алгебраических уравнений, образующих базис для (11):

$$\begin{cases} B_0 = T_1 = 0, \\ B_0 + B_1 + B_2 + B_3 = T_2 = 3, \\ B_0 + 2B_1 + 4B_2 + 8B_3 = T_4 = 13, \\ B_0 + 3B_1 + 9B_2 + 27B_3 = T_4 = 34. \end{cases}$$

Из данной системы находим требуемые коэффициенты и, подставляя их в формулу (12), получаем

$$T_m = \frac{m(m-1)(4m+1)}{6},$$

откуда для $m=11$ имеем $R \approx 0,73$, т.е. производительность обработки информации СОИ в МА несколько снижена по сравнению с методом унитарного позиционно-остаточного кодирования. Отметим, что существенно меньшими временными затратами на реализацию аддитивной операции отличается циркулянтный алгоритм, суть которого сводится к предварительному определению меньшего из операндов α и β и затем использованию его для изменения состояний разрядов КРС [8]. При этом если $\alpha < \beta$, то единица из нулевого разряда кольцевого регистра сдвигается вправо в $(\alpha - \beta)$ -й разряд. В противном случае производится сдвиг влево содержимого КРС в $(\beta - \alpha)$ -й разряд, что соответствует значениям табл. 7.

Таблица 7

Модифицированная таблица Кэли для $m_i=7$

$\beta \backslash \alpha$	0	1	2	3	4	5	6
0	0	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	2	3	4	5
2	2	1	0	1	2	3	4
3	3	2	1	0	1	2	3
4	4	3	2	1	0	1	2
5	5	4	3	2	1	0	1
6	6	5	4	3	2	1	0

Используя теорию конечных разностей, получаем соотношение

$$T_m = \frac{m(m^2 - 1)}{3} \quad (13)$$

при начальных условиях $B_0=0, B_1=2, B_2=8$ и $B_3=20$ и

$$R = \frac{3m}{2(m+1)}$$

при $m=11$ $R \approx 1,38$.

Существенно уменьшить аппаратные затраты без снижения быстродействия выполнения аддитивных операций позволяет алгоритм, использующий КРС. В этом случае инверсный выход последнего разряда КРС соединен с входом первого разряда, образуя замкнутое кольцо передачи информации (аналог счетчика Джонсона). При этом коэффициент счета увеличивается в два раза по сравнению с обычным кольцевым счетчиком при сохранении основных достоинств последнего, что позволяет (в отличие от СП) эффективно использовать большие по величине модули СОК. Код, в котором работает счетчик Джонсона, называют кодом Либау - Крейга. К его достоинству следует отнести то, что состояния 01 или 10 для двух соседних разрядов в течение одного цикла функционирования счетчика имеют место только один раз независимо от длины кодовой комбинации. Поэтому для технической реализации процесса преобразования кода необходимы лишь простейшие двухвходовые элементы. Второе достоинство счетчика Джонсона заключается в том, что в ходе счета только один триггер меняет свое состояние, и поэтому на выходах не возникают ложные пики напряжения, обусловленные задержками сигналов в разных разрядах, что, в свою очередь, повышает достоверность обработки информации.

Приведенный в работе [2] метод реализации модульных арифметических операций в МА, основанный на анализе четности величин входных операндов α , β , позволил создать ряд эффективных (с точки зрения быстродействия реализации арифметических операций) алгоритмов для его реализации.

Сокращение в ОУ СОИ диапазона обработки информации входных операндов до величины $(m_i-1)/2$ дало возможность существенно повысить быстродействие получения результата сложения (вычитания) вычетов по заданному модулю m_i . Количества сдвигов разрядов КРС для $(\alpha + \beta) \bmod 7$ даны в табл. 8.

Таблица 8

Таблица содержимого разрядов КРС для операции $(\alpha + \beta) \bmod 7$

$\alpha (\alpha')$ $\beta (\beta')$	0 (0)	1 (0)	2 (1)	3 (1)	4 (2)	5 (2)	6 (3)
0 (0)	0	0	0	0	0	0	0
1 (1)	1	1	1	1	1	1	1
2 (1)	1	1	1	1	1	1	1
3 (2)	2	2	2	2	2	2	2
4 (2)	2	2	2	2	2	2	2
5 (3)	3	3	3	3	3	3	3
6 (3)	3	3	3	3	3	3	3

Определяя значения $\alpha' = (\alpha - 1)/2$ и $\beta' = (\beta + 1)/2$ путем составления соответствующих таблиц количества сдвигов разрядов КРС, находим:

если m – нечетное число, то при реализации операции $(\alpha + \beta) \bmod m$

$$T_m = \frac{m}{4}(m^2 - 1),$$

а при $(\alpha - \beta) \bmod m$ $T_m = \frac{m}{4}(m - 1)^2$;

если m - четное число, то при реализации операции $(\alpha + \beta) \bmod m$

$$T_m = \frac{m^3}{4},$$

а при $(\alpha - \beta) \bmod m$ $T_m = \frac{m^2}{4}(m - 2)$.

При $m=11$ получим $R = 2 \frac{m^2}{m + 1} \approx 1,83$.

Следующий алгоритм основан на взаимосвязи результата реализуемой аддитивной операции с направлением сдвига кольцевого регистра [6]. Обозначим через $\Omega_+ = \beta$ положительный сдвиг вправо на β разрядов содержимого КРС. Результаты анализа взаимосвязи модульной операции и направления сдвига содержимого КРС представлены в табл. 9.

Таблица 9

Таблица значений направлений сдвига содержимого разрядов КРС

Тип операции	$0 \leq \beta \leq \frac{m-2}{2}$	$\frac{m}{2} \leq \beta \leq m-1$
+	$\Omega_+ = \beta$	$\Omega_- = m - \beta$
-	$\Omega_- = \beta$	$\Omega_+ = m - \beta$

Анализ данного алгоритма показывает, что его “скоростные” параметры соответствуют рассмотренному выше алгоритму. Аналогичные характеристики производительности реализации арифметических операций в МА реализует и алгоритм, использующий свойства симметрии арифметической таблицы, т.е. в этом случае учитываются значения γ_α (γ_β) индексов операндов, которые могут принимать значения, равные 0 или 1 [1].

В заключение рассмотрим циркулянтный алгоритм реализации арифметических операций в МА, суть которого состоит в последовательном вычитании единицы из операндов α и β . При этом если $\alpha > \beta$, то результат модульного вычитания получается непосредственно, а если $\alpha < \beta$, то производится выходное преобразование типа модульного преобразования $[m - (\alpha - \beta)] \bmod m$. Реализация операции модульного сложения $(\alpha + \beta) \bmod m =$ путем использования известного соотношения $(\alpha + \beta) \bmod m =$ $= [\alpha - (m - \beta)] \bmod m$, т.е. сводится к реализации операции модульного вычитания. Модифицированная таблица Кэли для количественной оценки сдвигов КРС в случае $m_i=7$ имеет вид, приведенный в табл. 10. Сравнивая ее с таблицей 7, отмечаем их идентичность, следовательно,

$$T_m = \frac{m(m^2 - 1)}{3}.$$

Таблица 10

Таблица содержимого разрядов КРС для операции $(\alpha + \beta) \bmod 7$

$\beta \backslash \alpha$	0	1	2	3	4	5	6
0	0	1	2	3	4	5	6
1	1	0	1	2	3	4	5
2	2	1	0	1	2	3	4
3	3	2	1	0	1	2	3
4	4	3	2	1	0	1	2
5	5	4	3	2	1	0	1
6	6	5	4	3	2	1	0

Выводы. В данной статье рассмотрены эффективные методы и алгоритмы реализации арифметических операций в МА, основанные на использовании ПКС. К практическому использованию предложены два метода реализации арифметических операций в МА, основанных на ПКС: метод двоичного позиционно-остаточного кодирования и метод унитарного позиционно-остаточного кодирования. Проведен анализ эффективности использования данных методов, который показал их практическую реализуемость. Данные методы обработки информации рекомендованы к использованию в системах обработки информации реального времени.

Список литературы

1. Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 444 с.
2. Краснобаев В.А. Методы повышения надежности специализированных ЭВМ систем и средств связи. – Х.: ХВУ, 1990. – 172 с.
3. Коляда А.А., Пак И.Т. Модулярные структуры конвейерной обработки цифровой информации. – Минск: Университетское, 1992. – 256 с.
4. Краснобаев В.А., Илюшко Я.В., Замула А.А. Универсальные алгоритмы сжатия табличных цифровых данных результатов выполнения арифметических операций в системе остаточных классов // Радиотехника. – 2005. – Вып. 141. – С. 217 – 225.
5. Краснобаев В.А. Принцип реализации арифметических операций в системе остаточных классов // АСУ и приборы автоматики. – 1988. – Вып. 86. – С. 82 – 85.
6. Долгов В.И., Краснобаев В.А., Кононова И.В. Метод и алгоритмы реализации арифметических операций в системе остаточных классов // Электронное моделирование. – 1989. – № 5. – С. 15 – 18.
7. Краснобаев В.А., Ирхин В.П. Алгоритм реализации операции модульного умножения в системе остаточных классов // Электронное моделирование. – 1993. – № 5. – С. 20 – 26.
8. Краснобаев В.А. Методы реализации модульных операций в системах цифровой обработки информации // Радиотехника. – 2001. – Вып. 119. – С. 130 – 134.
9. Ирхин В.П. Проектирование непозиционных специализированных процессоров. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1999. – 136 с.

Дослідження впливу еволюцій літального апарату на ефективність бортового пристрою адаптивної просторової обробки сигналів та завад

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Постановка проблеми й аналіз публікацій.

Як показує аналіз сигнально-завадової обстановки в районі застосування авіаційних радіосистем інформаційного обміну (АРСІО) військового призначення більшість радіолінії інформаційного обміну (ІО) буде подавлена навмисними або взаємними завадами [1, 5]. Тому підвищення завадозахищеності АРСІО в умовах дії завад є і буде однією з важливіших задач щодо існуючих і перспективних АРСІО [2, 3, 5]. Ефективним рішенням проблеми захисту АРСІО від навмисних завад є впровадження адаптивної просторової обробки сигналів (АПОС) [2, 3, 5, 6].

При реалізації АПОС на борту ЛА доводиться в якості антенних елементів (АЕ) використовувати реальні бортові антени (БА). В зв'язку з вимогою забезпечення надійного та безперебійного ведення ІО, при прогнозуємих кутах еволюцій ЛА, в якості БА, як правило, використовують слабоспрямовані вібраторні та щілині антени різних типів. Як відомо [7, 8], на спрямовані властивості таких антен здійснює сильний вплив корпус ЛА та його форма. При цьому діаграма спрямованості (ДС) БА набуває пелюсткового характеру, а глибина провалів може досягати 20-30 дБ [8]. Крім того, конструктивна обмеженість ЛА, як правило, не дозволяє розмістити суто лінійну або площинну антенну решітку, які досить широко досліджені в літературі [3, 4, 5]. Тому при реалізації АПОС в АРСІО необхідно враховувати, що просторова вибірка з електромагнітних полів (ЕМП) сигналів та завад, здійснюється не антенною решіткою, а реальною складною апертурою (СА) довільної форми. В даному контексті під СА слід розуміти апертуру, утворену кінцевим числом БА, які мають неоднакові ДС, довільну орієнтацію та координати положення в заданій системі координат. В зв'язку з цим викликає практичний інтерес дослідження впливу СА, що утворена з БА, на характеристики пристрою АПОС для АРСІО.

Мета статті — дослідження впливу характеристик спрямованості реальних БА на показники ефективності АПОС в умовах еволюцій ЛА.

Розглянемо довільну СА, яка утворена з N -БА та L джерел вузькосмугових сигналів виду:

$$s_1(t) = A_1(t)e^{j(\omega_0 t + \Omega_1(t))},$$

де $A_1(t)$ — закон зміни амплітуди сигналу від l -го джерела;

$\Omega_1(t)$ — закон зміни фази сигналу від l -го джерела;

ω_0 — несуча частота радіосигналу.

Тоді просторова вибірка ЕМП в довільний момент часу t в крапках розташування БА з координатами $\mathbf{r}_i, i = \overline{1, N}$ від l -го джерела (рис. 1) можна представити у вигляді вектора:

$$\mathbf{s}_1(t, \theta_1, \varphi_1) = s_1(t) \mathbf{V}_1(\theta_1, \varphi_1), \quad (1)$$

де $\mathbf{V}_1^T(\theta_1, \varphi_1) = [e^{j(\mathbf{k}_1, \mathbf{r}_1)}, e^{j(\mathbf{k}_1, \mathbf{r}_2)}, \dots, e^{j(\mathbf{k}_1, \mathbf{r}_N)}]$ — вектор фазових зрушень сигналу $s_1(t)$ в крапках з координатами, які визначаються векторами $\mathbf{r}_i, i = \overline{1, N}$;

$\mathbf{k}_1^T = \frac{2\pi}{\lambda} [\sin \theta_1 \cos \varphi_1, \sin \theta_1 \sin \varphi_1, \cos \theta_1]$ — волновий вектор для l -го джерела;

$(\mathbf{k}_1, \mathbf{r}_i)$ — скалярний добуток відповідних векторів.

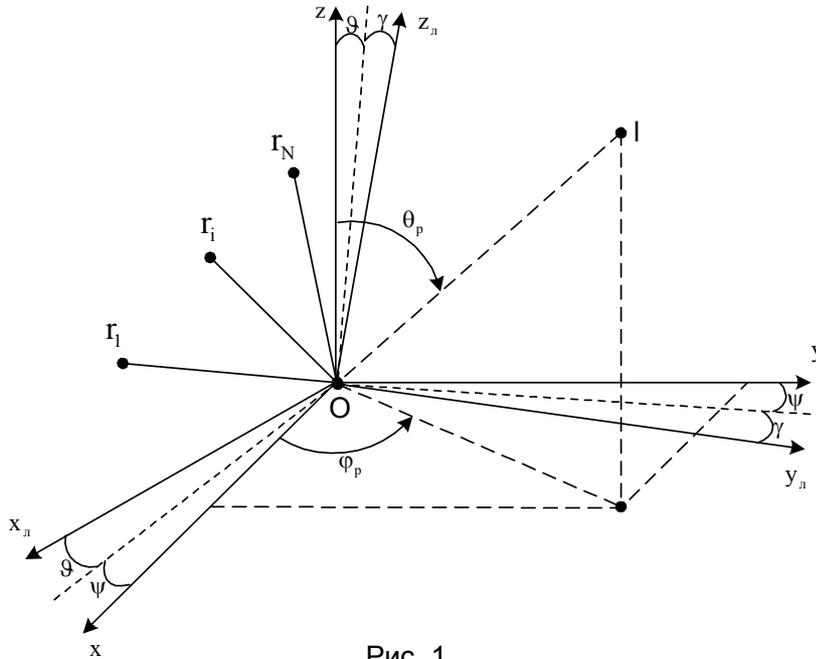


Рис. 1

Вираз (1) визначає вектор вхідного сигналу пристрою АПОС при довільному розташуванні АЕ для довільного напрямку приходу сигналу від l -го джерела в заданій системі координат Ox_{zl} .

При використанні реальних БА необхідно враховувати не тільки їх розміщення на ЛА відносно опорної точки (точка O в Ox_{zl}), а і орієнтацію та ДС. Оскільки, навіть при використанні однакових БА їх характеристики виявляються різними в зв'язку з складною конфігурацією та наявністю перевідбиття і

розсіювання електромагнітних хвиль на корпусі ЛА [7, 8].

Тоді, з урахуванням орієнтації та спрямованих властивостей БА, сукупний сигнал на виході СА (виході БА) для l -го джерела буде описуватися вектором:

$$s'_1(t, \theta_1, \varphi_1) = \mathbf{D}_1(\theta_1, \varphi_1) s_1(t, \theta_1, \varphi_1) = s_1(t) \mathbf{D}_1(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{V}_1(\theta_1, \varphi_1) = s_1(t) \mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1), \quad (2)$$

де $\mathbf{D}_1(\theta_1, \varphi_1) = \text{diag}[\mathbf{F}_1(-\mathbf{k}_1), \mathbf{F}_2(-\mathbf{k}_1), \dots, \mathbf{F}_N(-\mathbf{k}_1)]$;

$\mathbf{F}_i(-\mathbf{k}_1) = \dot{\mathbf{F}}_i(-\mathbf{k}_1)(\alpha_i(-\mathbf{k}_1), \beta_i)$;

$\dot{\mathbf{F}}_i(-\mathbf{k}_1)$ — комплексна ДС i -ої БА у напрямку l -го джерела;

$\alpha_i(-\mathbf{k}_1)$ — одиничний вектор поляризації i -ої БА;

$\beta_i(\mathbf{k}_1)$ — одиничний вектор поляризації поля l -го джерела;

$\mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1) = \mathbf{D}_1(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{V}_1(\theta_1, \varphi_1)$ — вектор амплітудно-фазових викривлень, що вносить СА для l -го джерела.

Крім того слід враховувати не тільки СА, а також і те, що ЛА уявляють собою високо рухомі об'єкти з великою швидкістю кутового обертання відносно центра мас. Кутова швидкість обертання ЛА може досягати сотні разів у секунду. В зв'язку з цим кутові координати l -го джерела набувають залежності від параметрів еволюцій ЛА, а саме — курсу, тангажу та крену. Тобто в умовах еволюцій ЛА:

$$\theta_1 = f(\psi, \vartheta, \gamma); \quad \varphi_1 = u(\psi, \vartheta, \gamma),$$

де ψ, ϑ, γ — кути курсу, тангажу та крену ЛА відповідно.

Тому потрібно постійно здійснювати розрахунок кутового положення джерел сигналів в літаковій зв'язаній системі координат $Ox_{zl}y_{zl}z_{zl}$ (рис. 1). Розглянемо ме-

тодику розрахунку кутового положення джерел сигналів з урахуванням еволюцій ЛА. Визначимо початкове положення І-го джерела в прямокутній ортодромічній системі координат $Oxyz$:

$$\begin{cases} x_p = \sin \theta_p \cos \varphi_p \\ y_p = \sin \theta_p \sin \varphi_p \\ z_p = \cos \theta_p \end{cases}$$

де x_p, y_p, z_p — початкові лінійні координати І-го джерела в системі координат $Oxyz$;

θ_p, φ_p — початкові кут місця та азимут І-го джерела.

В наступний момент часу положення ЛА в літаковій зв'язаній системі координат $Ox_{\text{л}}y_{\text{л}}z_{\text{л}}$ буде відрізнятися на кути ψ, ϑ, γ . Відповідно зміниться напрямок приходу сигналу від І-го джерела на АС, який можна визначити як:

$$\begin{bmatrix} x_{\text{л}}(\psi, \vartheta, \gamma) \\ y_{\text{л}}(\psi, \vartheta, \gamma) \\ z_{\text{л}}(\psi, \vartheta, \gamma) \end{bmatrix} = \mathbf{K}(\psi, \vartheta, \gamma) \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} \quad (3)$$

де $\mathbf{K}(\psi, \vartheta, \gamma)$ — матриця перетворення координат.

З (3) знайдемо поточне положення І-го джерела з урахуванням еволюцій ЛА:

$$\begin{cases} \theta_1(\psi, \vartheta, \gamma) = \arctg \frac{\sqrt{x_{\text{л}}^2(\psi, \vartheta, \gamma) + y_{\text{л}}^2(\psi, \vartheta, \gamma)}}{z_{\text{л}}(\psi, \vartheta, \gamma)} \\ \varphi_1(\psi, \vartheta, \gamma) = \arctg \frac{y_{\text{л}}(\psi, \vartheta, \gamma)}{x_{\text{л}}(\psi, \vartheta, \gamma)} \end{cases} \quad (4)$$

З урахуванням (4), сукупний сигнал на виході БА (2) набуває характеру залежності від еволюцій ЛА. Тому еволюції ЛА не можна не враховувати при синтезі пристроїв АПОС з використанням СА.

Враховуючи зазначене, введемо блочну матрицю амплітудно-фазових викривлень для L -джерел, які обумовлені використанням СА з урахуванням орієнтації і спрямованих властивостей БА та еволюціями ЛА, виду:

$$\mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) = [\mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1) : \mathbf{V}'_2(\theta_2, \varphi_2) : \dots : \mathbf{V}'_L(\theta_L, \varphi_L)]. \quad (5)$$

Крім того, розглянемо матрицю $\mathbf{\Lambda}$ та вектор \mathbf{G} , які визначаються, як:

$$\mathbf{\Lambda} = \text{diag}[P_1, P_2, \dots, P_1, \dots, P_L], \quad (6)$$

$$\mathbf{G}^T = [1, 1, \dots, 1], \quad (7)$$

де $P_1 = E\{s_1^2(t)\}$ — потужність сигналу І-го джерела в точці O (рис.1). Розмір вектора \mathbf{G} визначається кількістю діючих джерел.

Вираз для кореляційної матриці сигналів від L джерел, що спостерігаються на виході СА, враховуючи введені позначення та визначення (2) – (7), можна представити у вигляді:

$$\mathbf{R}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) = \mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) \mathbf{\Lambda} \mathbf{S}^T(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) + \mathbf{I}_n, \quad (8)$$

де $\mathbf{I}_n = \text{diag}[n_1, n_2, \dots, n_N]$ — матриця потужностей внутрішніх шумів прийому на виході СА.

Будемо вважати, що $n_i = n_0$ і $\mathbf{I}_n = n_0 \mathbf{I}$. Тоді (8) можна записати у виді:

$$\mathbf{R}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) = \mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) \mathbf{\Lambda} \mathbf{S}^T(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) + n_0 \mathbf{I}. \quad (9)$$

Враховуючи, що блочна матриця (5) є залежною від кутових координат джерел сигналів, а також від орієнтації та спрямованих властивостей БА витікає, що елементи кореляційної матриці (9), у випадку нестационарності сигнальної ситуації, обумовленої еволюціями ЛА, постійно змінюються.

Стосовно до задачі АПОС с виходів N БА у відповідності з критерієм мінімуму середньої квадратичної похибки (МСКП) вектор вагових коефіцієнтів буде визначатися відповідно до (6) і з урахуванням (9) як:

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_0(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) = \\ = -(\mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) \mathbf{\Lambda} \mathbf{S}^T(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) + n_0 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) \mathbf{\Lambda} \mathbf{G} \end{aligned} \quad (10)$$

Розглянемо ситуацію коли серед L джерел одне є джерелом корисного сигналу, а інші джерелами сигналів, що заважають. Для визначеності припустимо, що для джерела корисного сигналу $l=1$. Тоді, для знаходження оптимального значення вагових коефіцієнтів у відповідності з (10), вектор (7) має вид $\mathbf{G}^T = [1, 0, \dots, 0]$. Скориставшись лемою для обернення матриць до співвідношення (10) отримаємо вираз

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_0(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) = \\ = -n_0^{-1} \mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) (\mathbf{S}^T(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) \mathbf{I}^{-1} \mathbf{S}(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) n_0^{-1} + \mathbf{\Lambda}^{-1})^{-1} \mathbf{G} \end{aligned} \quad (11)$$

Вираз (11) з урахуванням представлень (1) – (7) визначає вектор оптимальних вагових коефіцієнтів у випадку апертури, утвореної вільним числом БА з вільними ДС та поляризаціями, орієнтаціями і місцями їх розміщення, а також з урахуванням еволюцій ЛА. Даний вираз дозволяє оцінити ефективність АПОС в АРСІО з врахуванням вказаних вище особливостей. Так, наприклад, для вихідного відношення сигнал/завада+шум (ВСЗШ):

$$Q(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L) = P_1 \mathbf{V}_1^T(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{R}_{nn}^{-1}(\theta_2, \varphi_2, \dots, \theta_L, \varphi_L) \mathbf{V}_1'(\theta_1, \varphi_1), \quad (12)$$

де $\mathbf{R}_{nn}(\theta_2, \varphi_2, \dots, \theta_L, \varphi_L)$ — кореляційна матриця виду (9), яка визначається тільки джерелами завад та шумами.

Для більшої наочності результатів розглянемо випадок СА з N БА, на яку діє ЕМП від двох джерел (джерела корисного сигналу ($l=1$) та завади ($l=2$)). В цьому випадку з точністю до постійного коефіцієнта оптимальний вектор вагових коефіцієнтів має вигляд:

$$\mathbf{w}_0(\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2) = \mathbf{V}_1'(\theta_1, \varphi_1) - \frac{P_2 \rho_{21}}{n_0 + P_2 \rho_{22}} \mathbf{V}_2'(\theta_2, \varphi_2), \quad (13)$$

де $\rho_{21} = \mathbf{V}_2^T(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{V}_1'(\theta_1, \varphi_1)$; $\rho_{22} = \mathbf{V}_2^T(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{V}_2'(\theta_2, \varphi_2)$. З урахуванням (2) для ρ_{21} , ρ_{22} справедливе визначення

$$\rho_{21} = \mathbf{V}_2^T(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{D}_2^T(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{D}_1(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{V}_1(\theta_1, \varphi_1), \quad (14)$$

$$\rho_{22} = \mathbf{V}_2^T(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{D}_2^T(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{D}_2(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{V}_2(\theta_2, \varphi_2). \quad (15)$$

Враховуючи представлення (2) величина ВСЗШ буде визначатися

$$Q(\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2) = P_1 \mathbf{V}_1^T(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{D}_1^T(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{R}_{nn}^{-1}(\theta_2, \varphi_2) \mathbf{D}_1(\theta_1, \varphi_1) \mathbf{V}_1(\theta_1, \varphi_1). \quad (16)$$

З виразу (16) слідує, що ВСЗШ залежить від амплітудно-фазових викривлень, що вносить СА, в напрямку прийому корисного сигналу з врахуванням поляризаційної різниці поля сигналу та поляризації БА. Для оцінки ефективності АПОС в АРСІО більш придатним слід вважати не визначення ВСЗШ, а визначення відносної помилки відтворення сигналу на виході пристрою АПОС, яка визначається виразом:

$$\xi_0 = \frac{E\{(s(t) - y(t))^2\}}{E\{s(t)^2\}}, \quad (17)$$

де $y(t) = \mathbf{x}^T(t)\mathbf{w}_0(\theta_1, \varphi_1, \dots, \theta_L, \varphi_L)$ — вихідний сигнал пристрою АПОС при сигналі на виході СА $\mathbf{x}(t) = \sum_i^L \mathbf{s}'_i(t, \theta_i, \varphi_i) + \sqrt{n_0}\mathbf{I}_0$;

$s(t)$ — корисний сигнал.

Врахувавши (13), а також і те, що в умовах дії навмисних завад $P_2 \gg n_0$ відносна помилка буде визначатися величиною

$$\xi_0 \cong (1 - (P_{11} - \frac{P_{21}P_{12}}{P_{22}}))^2. \quad (18)$$

З (18) враховуючі (14) та (15) витікає, що ефективність АПЧОС в даному випадку суттєво залежить від параметрів СА, напрямків приходу сигналу та завади, а також поляризації їх ЕМП.

Можна показати, що у випадку, який розглядається величина відносної помилки дорівнює

$$\xi_0 \cong (1 - |\mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1)|^2 \sin^2 \gamma_{12})^2, \quad (19)$$

де γ_{12} — визначає загальний кут між векторами $\mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1)$ та $\mathbf{V}'_2(\theta_2, \varphi_2)$, тобто кут між векторами амплітудно-фазових викривлень для корисного сигналу та завади, обумовлений СА в напрямках їх прийому.

З виразу (19) очевидно, що максимальна ефективність АПОС має місце при $|\mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1)| = 1$ та $\gamma_{12} = (2n+1)\frac{\pi}{2}$, $n = 1, 2, 3, \dots$. Ця умова означає ортогональність векторів амплітудно-фазових викривлень для сигналу та завади. Тому для підвищення ефективності АПОС на борту ЛА доцільно розміщати та орієнтувати антени таким чином щоб відмічена умова виконувалась для найбільш важливих секторів кутів приходу сигналів та завад. Співвідношення (18) та (19) дозволяють оцінювати ефективність АПОС в загальному випадку для вільних напрямків приходу сигналу та завад від L-джерел для різних типів СА в умовах еволюцій ЛА.

Для дослідження ефективності АПОС на борту ЛА, з урахуванням спрямованих властивостей БА, в системі комп'ютерної математики MathCad була створена математична модель пристрою АПОС. СА даного пристрою утворена з двох БА. У якості алгоритму визначення вагових коефіцієнтів досліджувався алгоритм адаптації, який мінімізував середній квадрат помилки відхилення вихідного сигналу від опорного [3, 6].

Рекурентне рівняння, яке визначає даний алгоритм має вигляд

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + 2\mu \varepsilon(k) \mathbf{x}^*(k), \quad (20)$$

де $\mathbf{w}(k+1)$, $\mathbf{w}(k)$ — вектори вагових коефіцієнтів на $(k+1)$ -му і (k) -му кроці адаптації відповідно;

μ — величина кроку адаптації;

$\varepsilon(k) = d(k) - y(k)$ — відхилення вихідного сигналу пристрою АПОС від опорного $d(k)$;

$\mathbf{x}(k) = s(k)\mathbf{V}'_1(\theta_1, \varphi_1)_1 + p(k)\mathbf{V}'_2(\theta_2, \varphi_2) + \mathbf{n}_0$ — значення вектора вихідних сигналів

СА у (k) -й момент часу, $s(k)$ — функція часу, що описує корисний сигнал,

$p(k)$ — функція часу, що описує заваду, \mathbf{n}_0 — вектор внутрішніх шумів.

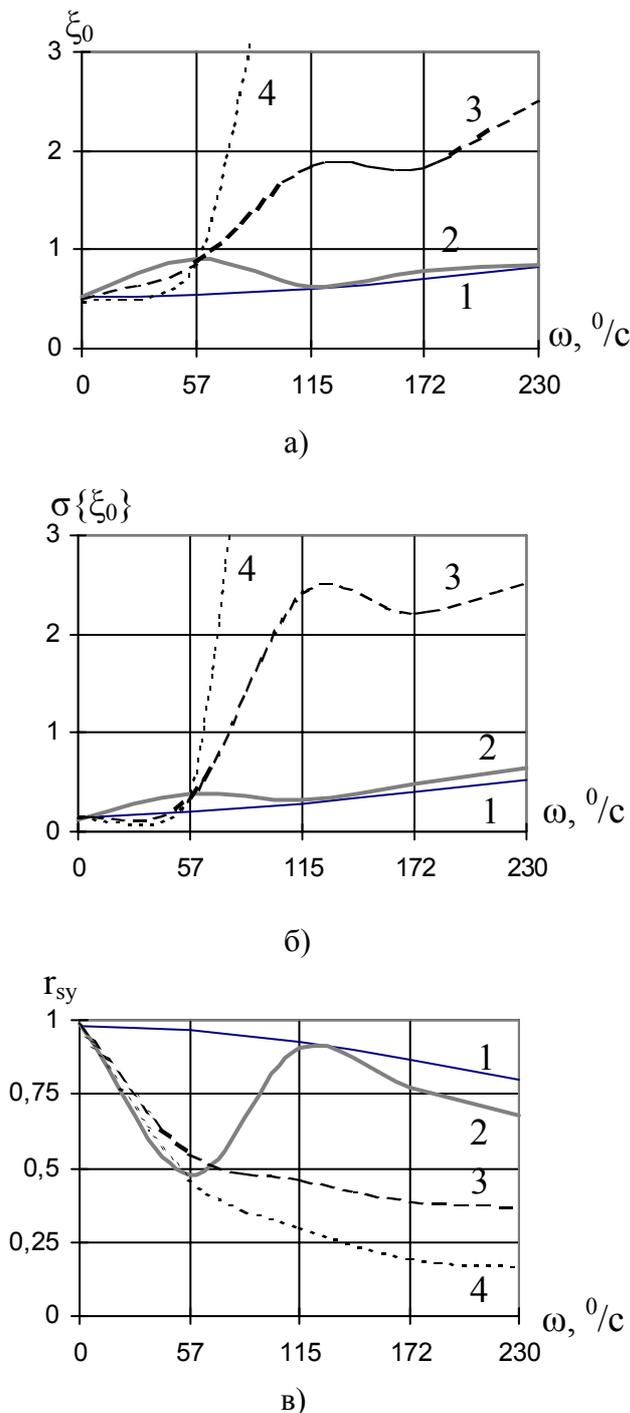


Рис. 2

ня вихідного сигналу ξ_0 представлена на рис. 2а; середньоквадратичне відхилення (СКВ) помилки від середнього – $\sigma\{\xi_0\}$ на рис. 2б; коефіцієнт кореляції між корисним сигналом та вихідним сигналом системи АПОС – рис. 2в. На всіх рисунках крива 1 відповідає ситуації ізотропних ДС БА, крива 2 – однаково ізрізаних ДС БА, криві 3 та 4 відповідають багатопелюстковим ДС БА при зміщенні одна відносно іншої на кут $0,012^{\circ}$ (крива 3) і на кут $0,023^{\circ}$ (крива 4).

Моделювання проводилось для випадків маневрування ЛА в площині курсу з різними кутовими швидкостями для трьох ситуацій. Перша ситуація визначається ізотропними ДС БА (випадок ідеальної апертури). Друга ситуація визначається випадком коли ДС БА мають однакову багатопелюсткову структуру с глибиною провалів 30 дБ та шириною $0,3^{\circ}$ (на рівні 0.5 по потужності максимального випромінювання). Третя ситуація визначається наявністю багатопелюсткової структури ДС, як і в другому випадку. Але при цьому ДС для БА були зміщенні відносно друг друга на величину $0,012^{\circ}$ і $0,023^{\circ}$.

В якості корисного сигналу використовувалось частотно-модульоване гармонійне коливання, яке досить широко застосовується в сучасних та перспективних АРСЮ. Напрямок приходу корисного сигналу визначався $\theta_s = 90^{\circ}$, $\varphi_s = 0^{\circ}$ (відповідно до рис. 1). В якості завади використовувалось гармонійне коливання з випадковою фазою. Напрямок приходу завади визначався кутами $\theta_n = 90^{\circ}$, $\varphi_n = 30^{\circ}$. Відношення сигнал-завада в розкритті СА склало — $\frac{P_s}{P_n} = -50$ дБ. В якості опорного сигналу взято не модульоване гармонійне коливання з частотою несучої корисного сигналу.

На рис. 2 представлені залежності показників ефективності АПОС від кутової швидкості еволюцій ЛА (відносна помилка відтворення

Як видно з рис. 2 вже при кутовій швидкості еволюцій ЛА рівній $57^\circ/\text{с}$ та ізрізаних ДС (криві 3 і 4) відносна помилка відтворення вихідного сигналу та її СКВ перевищують по рівню корисний сигнал. При цьому, чим більше кут зсуву між ДС БА тим більша виникає помилка в обробці корисного сигналу. Водночас, для ідеальної апертури навіть кутова швидкість в $230^\circ/\text{с}$ не призводить до збільшення ξ_0 вище одиниці, а коефіцієнт кореляції вихідного сигналу системи АПОС з корисним не стає нижчим за 0,8.

У разі однотипних ДС БА (крива 2) спостерігається незначне погіршення характеристик АПОС (при $\omega = 57^\circ/\text{с}$) обумовлене початковим положенням джерел сигналів (сигнал завади приходиться в провал ДС БА). Однак при збільшенні кутової швидкості збільшується середнє значення коливань рівнів сигналів обумовлене ізрізаністю ДС і показники ефективності АПОС близькі з показниками при ідеальних ДС.

Висновки

Отримані співвідношення дозволяють оцінювати вплив СА на визначення вектору оптимальних вагових коефіцієнтів пристрою АПОС та на показники його ефективності (вихідне ВСЗШ та відносну величину середнього квадрату помилки відтворення сигналу на виході). Показано, що СА може суттєво знижувати ефективність АПОС навіть в стаціонарних умовах.

Важливими характеристиками, які впливають на ефективність АПОС є форма ДС БА в напрямку приходу корисного сигналу, а також кут між векторами амплітудно-фазових викривлень сигналу та завади, обумовлений СА. Тому напрямом подальших досліджень може бути розробка алгоритмів стійких до можливих амплітудно-фазових викривлень сигналів та завад обумовлених СА за рахунок еволюцій ЛА.

Список літератури

1. Викулов О.В. и др. Современное состояние и перспективы развития авиационных средств РЭБ //Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. — 1998. — №12. — С. 3-22.
2. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / Под ред. А.И. Канащенкова и В.М. Меркулова. — М.: Радиотехника, 2003. — 416 с.
3. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Под ред. Ю.И. Лосева — М.: Радио и связь, 1988. — 208с.
4. Обработка сигналов в радиотехнических системах / Под ред. А.П. Лукошкина. — Л.: Издат-во ЛГУ, 1987. — 400 с.
5. Гостев В.И., Скрыпник Л.В., Мацелура А.Л. Пространственная обработка сигналов в СВЧ трактах радиосистем передачи. — К.: Радиоаматор, 1997. — 224 с.
6. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1986. — 448 с.
7. Шатраков Ю.Г., Рывкин М.И., Цыбаев Б.Г. Самолетные антенные системы. — М: Машиностроение, 1979. — 184 с.
8. Резников Г.Б. Самолетные антенны. — М: Сов. радио, 1962. — 456 с.

Визначення зміни показників енергетичного стану літака за записами бортових систем реєстрації параметрів польоту

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Вступ

Розвиток сучасних методів технічної діагностики складних технічних систем є сьогодні одним із основних та найбільш пріоритетних напрямків наукових досліджень. І це не випадково. Сам розвиток сучасної системи господарювання, коли на перший план ставиться економічна доцільність, висуває перед науковцями різних галузей завдання максимального продовження строків експлуатації складного, а отже надзвичайно дорогого технічного обладнання, систем та механізмів.

З аналогічною проблемою продовження строків експлуатації старіючого парку техніки стикнулася і вітчизняна авіація.

Вже понад десять років відсутня планова заміна авіаційної техніки на більш нові та технічно більш сучасні зразки, немає коштів на проведення якісного технічного обслуговування, практично відсутнє наукове та технічне супроводження процесу експлуатації, оскільки значна частина розробників та виробників авіаційної техніки залишилась за кордоном.

Україна залишилась практично сам на сам з проблемою забезпечення подальшої ефективної експлуатації авіаційної техніки, яка була вироблена:

- для цивільної авіації – середина 80^х років;
- військова авіація – середина 70^х, початок 80^х років.

Потрібно враховувати, що авіаційна техніка, в порівнянні з іншими типами складних технічних систем, які експлуатуються сьогодні на території України, несе в собі досить значну небезпеку використання як безпосередньо для життя та здоров'я людей, так і для навколишнього середовища. Тому питання безпеки льотної та наземної експлуатації тут стоять надзвичайно гостро.

Постановка задачі

Однією із складових безпечної та ефективної експлуатації авіаційної техніки є максимальне інформаційне забезпечення, яке досягається розробкою методів та алгоритмів діагностики, що базуються на нетрадиційному баченні проблеми, використанні сучасної обчислювальної техніки та новітнього програмного забезпечення.

Перспективним напрямком досліджень є розширення діагностичних можливостей авіаційної техніки завдяки використанню її інформаційних резервів. Тут має бути увазі можливість отримання додаткової інформації щодо технічного стану з використанням джерел для яких вказане завдання не є типовим. Саме такими джерелами інформації на борту літаків є бортові системи реєстрації польотних параметрів (БСРП).

В переважній більшості ми маємо справу з аварійно-експлуатаційними бортовими реєстраторами основними завданнями яких є: оцінка якості виконання польотного завдання, аналіз причин виникнення авіаційних подій і лише потім оцінка якості функціонування безпосередньо авіаційної техніки та технічна діагностика.

При планово-попереджувальній системі технічної експлуатації, при чіткому

витримуванні періодичності виконання її ключових елементів від бортових реєстраторів і не потребувалось іншого.

Сьогодні ж стан справ змінився. Авіація України, особливо військова, знаходиться в кризовій ситуації. Не якісне технічне обслуговування, низька інтенсивність польотів, відсутність наукового та технічного супроводження експлуатації із сторони виробників авіаційної техніки, погане матеріальне та фінансове забезпечення і т.д., все це фактично призвело до необхідності перегляду політики щодо існуючої системи технічної експлуатації. Висновок один – держава не може собі дозволити й надалі повністю забезпечувати функціонування планово-попереджувальної системи експлуатації. Це дорого та не рентабельно. Потрібно створити систему експлуатації (це стосується, в першу чергу, літаків та вертольотів 2-3 поколінь), яка б забезпечувала подальшу безпечну експлуатацію техніки навіть поза межами призначених термінів. Для цього потрібні нові, більш ефективні методи контролю технічного стану та діагностики його зміни в процесі експлуатації, ніж ми маємо сьогодні. В цьому плані використання будь-якої інформації є обґрунтованим та необхідним.

В зв'язку з вказаним, в роботі ставиться завдання розробити реальний інструмент для визначення таких показників енергетичного стану літака, а отже й загального технічного стану, як тяга силової установки (СУ) та лобовий опір планеру. При цьому, з метою здешевлення процесу визначення та його повної адаптації до умов експлуатації (умови авіаційних підприємств та авіаційних частин) були встановлені наступні обмеження.

1. Використання обмеженої кількості польотних параметрів штатних систем реєстрації польотних параметрів.

2. Відсутність потреби у виконанні спеціальних польотів та використання спеціального обладнання.

3. Відсутність потреби у спеціально підготовлених фахівцях.

4. Простота реалізації на авіаційних підприємствах чи у авіаційних частинах Повітряних Сил.

Кінцевим продуктом розрахунків повинні бути відомості про фактичні значення тяги силової установки (P) та лобового опору (C_x) об'єкту досліджень.

Льотно-технічні характеристики сучасних літаків змінюються в досить широкі межі. Для їхньої реалізації потрібне використання досить широкого діапазону зміни тяги СУ від максимальної (форсажної) до тяги на режимі малого газу.

З аналізу висотно-швидкісних і дросельних характеристик сучасних авіаційних двигунів відомо, що аналітичні залежності тяги від параметрів польоту з урахуванням впливу законів регулювання і різних умов зовнішнього середовища є надзвичайно складними, а їхній вигляд може істотно змінюватися в залежності від швидкості і висоти польоту.

Що ж стосується коефіцієнта лобового опору, то він теж є складною функцією числа M , кута атаки і висоти польоту літака.

Звідси випливає, що задача визначення тяги двигунів і коефіцієнта лобового опору надзвичайно складна і вимагає для свого рішення застосування нових підходів, накладення додаткових обмежень, уведення різних спрощень.

Дослідження в даному напрямку ведуться вже давно. В роботах [1-2] наведені деякі підходи та загальні розрахункові залежності, що використовуються для отримання польотних залежностей тяги та лобового опору. Вони більшою мірою стосуються дослідних зразків авіаційної техніки та базуються на проведенні повномасштабної програми льотних випробувань. Крім того, розрахунки за наведеними у вказаних роботах алгоритмами є досить складними й тому потребують певної

підготовки операторів.

Роботи з розробки методів визначення тяги СУ й аеродинамічних коефіцієнтів по записах бортових систем реєстрації проводилися у свій час у Центральному науково-дослідному інституті Міністерства оборони СРСР.

Так, у роботі [3] для визначення тягових і аеродинамічних характеристик використовувалися звичайні лінійні диференціальні рівняння динаміки польоту, коефіцієнти яких визначалися методом найменших квадратів. Однак через значну похибку вихідної інформації отримати прийнятну точність у широкому діапазоні висот і швидкостей авторам не вдалося. При цьому, польотна інформація, що отримувалась за допомогою бортових реєстраторів типу САРПП-12 (носії інформації фотоплівка), виявилася практично непридатною для вторинної обробки.

Слід також вказати на роботи [4-5], які стосуються оцінки впливу індивідуальних аеродинамічних особливостей на опір і витрати палива літаками. Однак використання БСРП для отримання вихідних даних тут досить обмежене. Висновки базуються переважно на аналізі великої кількості різноманітного статистичного матеріалу де доля бортових реєстраторів не значна.

Перелік можна продовжувати й далі. Однак обмежений об'єм даної роботи не дозволяє нам це зробити. Проте навіть аналіз приведеної літератури дає змогу зробити певні корисні висновки для подальшого формування алгоритму визначення таких енергетичних показників як тяга та коефіцієнт лобового опору літака.

Першим та мабуть самим важливим висновком є те, що існуючі сьогодні підходи не дають можливості забезпечити прийнятну точність визначення вказаних енергетичних показників літаків у всьому діапазоні висот і швидкостей польоту. Не врахування цієї особливості приводить до значної методичної похибки та отримання результатів, які практично повністю не придатні до подальшого використання.

Розробка алгоритму визначення показників зміни енергетичного стану літака

В роботі ми зупинились на дослідженні найбільш небезпечного з точки зору безпеки польотів етапу польоту літака, а саме, етапу зльоту від моменту знаходження літака на старті до моменту прибирання механізації під час набору висоти.

Попередньо вказаний етап, з метою мінімізації похибок визначення тяги та лобового опору, розбивався на дві ділянки:

- ділянка від моменту досягнення максимального значення повздовжнього перевантаження і до початку підняття передньої ноги – для визначення P ;
- ділянка від моменту кінця прибирання шасі і до моменту початку прибирання механізації – для визначення C_{xa} .

Таке розбиття витікає безпосередньо з аналізу сил, що діють на літак під час розбігу та набору висоти. Крім того, вказані ділянки мають надійні мітки, що спрощує їхнє виявлення в процесі обробки польотної інформації.

При формуванні математичної моделі використовувалось поняття узагальнюючого показника. В нашому випадку це тангенційне перевантаження, яке визначається відношенням суми зовнішніх сил, що діють на літак у польоті до його ваги. Для умов розбігу літака це відношення має вигляд:

$$n_{xa} = \frac{P \cos \alpha_p - X_a - F}{mg}, \quad (1)$$

де α_p – кут між векторами тяги і швидкості польоту літака;

X_a – сила лобового опору;

F – сила тертя, що діє на літак при його русу по злітно-посадочній смузі (ЗПС);
 m – злітна маса літака;
 $g = 9.81 \text{ м/с}^2$.

В цьому випадку рівняння повздовжнього руху літака буде мати вигляд:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} [P \cos \alpha_p - X_a - F] = g n_{xa}, \quad (2)$$

Записавши вирази для визначення сили лобового опору та тертя

$$X_a = C_{xa} \frac{\rho V^2}{2} S; F = \left(G - C_y^\alpha (\alpha - \alpha_0) \frac{\rho V^2}{2} S \right) f, \quad (3)$$

де ρ - густина повітря;

V – швидкість польоту літака;

S – площа крила;

C_y^α - похідна, що характеризує зміну коефіцієнта підйомної сили при зміні кута атаки літака;

α_0 - кут атаки літака при нульовій підйомній силі;

f - коефіцієнт тертя котіння коліс по ЗПС (знаходиться в межах 0,03...0,06 та залежить від покриття ЗПС [6-7]),

а також враховуючи той факт, що тяга СУ в обмеженому діапазоні швидкостей (розбіг та зліт літака) і незмінному положенні ручки управління двигуном може бути записана як:

$$P(t_i) = P_0 + \frac{dP}{dV} V(t_i), \quad (4)$$

отримаємо вираз для визначення n_{xa} в момент часу (t_i)

$$n_{xa}(t_i) = a_0 + a_1 V(t_i) + a_2 V^2(t_i). \quad (5)$$

У даному виразі коефіцієнти a_i відповідно рівні:

$$a_0 = \frac{P_0}{G} - f; a_1 = \frac{P^V}{G}; a_2 = \left(C_{ya} f - C_{xa} \right) \frac{\rho S}{2G}, \quad (6)$$

де P_0 - тяга СУ при нульовій швидкості польоту літака (початкова тяга СУ);

$P^V = dP/dV$ - похідна, що характеризує зміну тяги СУ при зміні швидкості польоту літака.

Коефіцієнти C_{ya}, C_{xa} є функцією кута атаки. Тому, у загальному випадку, коефіцієнт a_2 також є функцією кута атаки. В окремому випадку розбігу літака по ЗПС на трьох опорах кут атаки можна вважати постійним, тому $a_2 = \text{const}$.

Для визначення коефіцієнтів a_0, a_1 та a_2 використовувався класичний метод регресивного аналізу [8], який базується на вирішенні системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Треба відмітити, що вирішуючи рівняння (5) нам надійно вдається визначити характеристики СУ. Стосовно ж аеродинамічних характеристик планера, то їх визначення повинно вестись окремо від тягових характеристик з використанням додаткової та уточненої інформації про політ. При цьому використовується залежність, яка має вигляд:

$$C_{xa} = \frac{2}{\rho V^2 S} (P \cos \alpha_p - m g n_{xa}). \quad (7)$$

Високі вимоги до точності результатів оцінювання енергетичних показників (похибки визначення тяги та коефіцієнта лобового опору повинні знаходитись в межах зміни вказаних показників в процесі експлуатації), а також висока чутливість результатів розрахунків до якості вихідної польотної інформації змусили при формуванні розрахункового алгоритму (див. рисунок 1) велику увагу приділити підвищенню достовірності польотної інформації.

В розрахунковий алгоритм були введені відповідні модулі, які дозволили:

- практично повністю видалити аномальні виміри, що пов'язані із збоями в роботі апаратури, дефектами магнітної плівки, стрибками напруги тощо;
- в 1,5-2 рази зменшити величину випадкової складової похибок вимірювання польотної інформації;
- суттєво зменшити вплив систематичної складової на результати розрахунків.

Для апробації запропонованого підходу використовувалась база даних, яка вміщує відомості про польоти одного і того ж літака Ан-72 на протязі трьох років його експлуатації (понад 400 годин напрацювання СУ).

База даних вміщує: польотну інформацію, отриману при дешифруванні матеріалів бортової системи реєстрації ТЕСТЕР-УЗ; загальну інформацію про умови виконання польотів (злітна вага $G_{зл}$, атмосферний тиск p_n та температура t_n) та експлуатаційну інформацію (напрацювання двигунів $\tau_{нд}$ та наліт літака $\tau_{нл}$), яка отримана на основі аналізу польотних аркушів, оформлених для конкретних вильотів, формулярних даних, а також результатів експрес-аналізу.

В процесі виконання розрахунків отримані наступні залежності.

1. Залежність початкової тяги СУ літака (злітний режим) від напрацювання двигунів $P_0 = f(\tau_{нд})$ (див. рисунок 2).

2. На рисунку 3 суцільною лінією показана залежність, яка отримана шляхом апроксимації вихідної залежності $P_0 = f(\tau_{нд})$ поліномом першого ступеня.

3. Отримана чисельна залежність:

$$\bar{P}_0(\tau_{нд}) = 10866 - 0,4488 \tau_{нд}, \quad (8)$$

де \bar{P}_0 - оціночне значення початкової тяги.

Перший член правої частини залежності визначає оціночне значення початкової тяги СУ літака Ан-72 в початковий період його експлуатації (формулярне значення тяги).

Відповідно до технічної документації тяга P_0 двигуна Д-36 з урахуванням його установки на літак складає 5600 кгс [9]. В нашому випадку вона становить 5430 кгс. Розбіжність складає 3%.

На рисунку покажчиками виділений діапазон максимально можливої похибки оцінювання тяги силової установки P_0 , який визначений для величини довірчої імовірності $P_d = 95\%$. Величина стандартної похибки оцінювання початкової тяги СУ становить 2,5-3,0%.

З отриманої залежності видно, що протягом усього періоду, що аналізується напрацювання СУ відзначається стійка тенденція до зниження значень тяги P_0 . Так на момент початку досліджень втрата тяги СУ, згідно з розрахунками, становила приблизно 3,4% від її формулярних значень. За період же спостережень втрата тяги склала 1,6% ($\approx 0,4\%$ на 100 годин напрацювання).

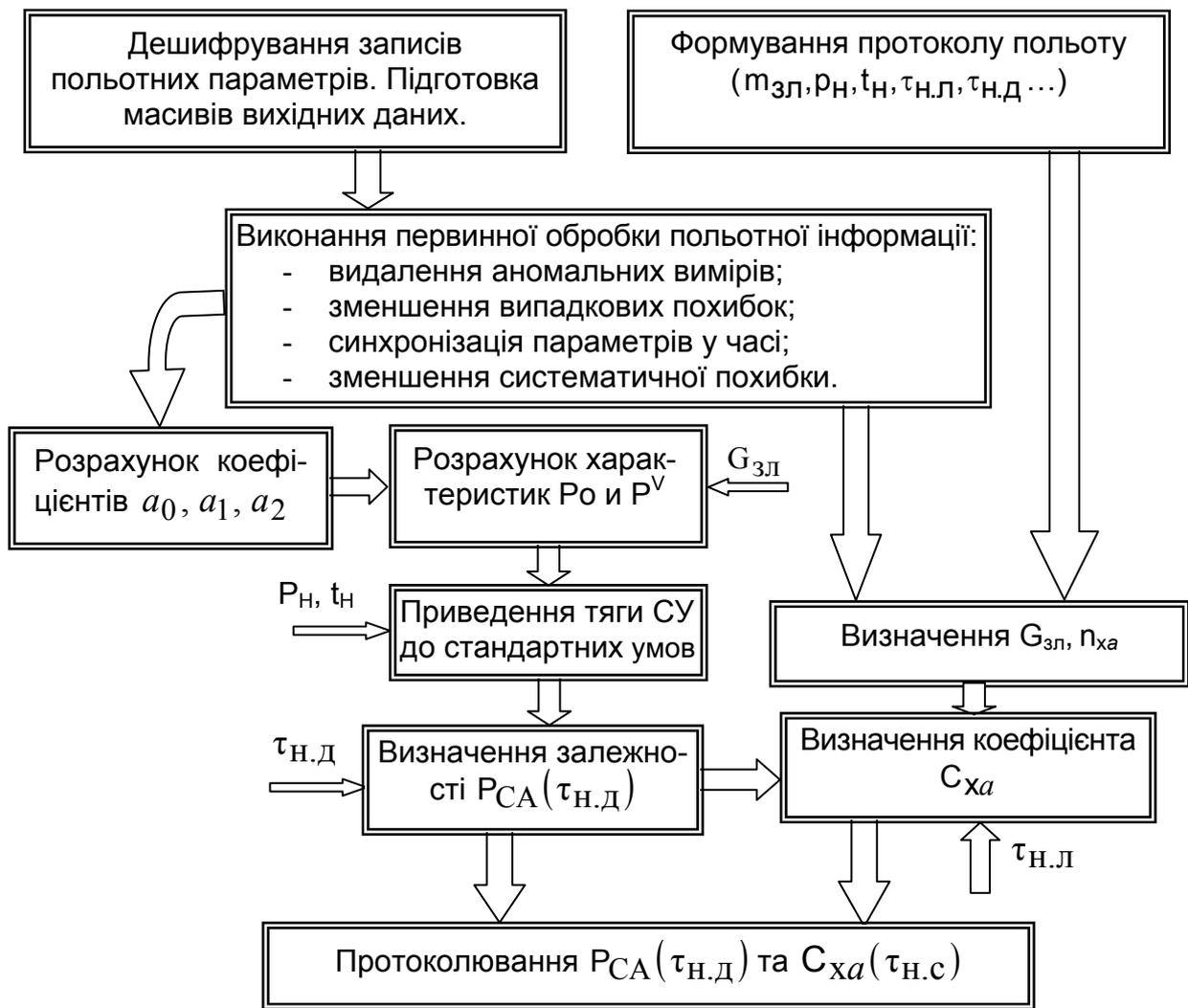


Рис.1. Загальна схема алгоритму визначення показників зміни енергетичного стану літака

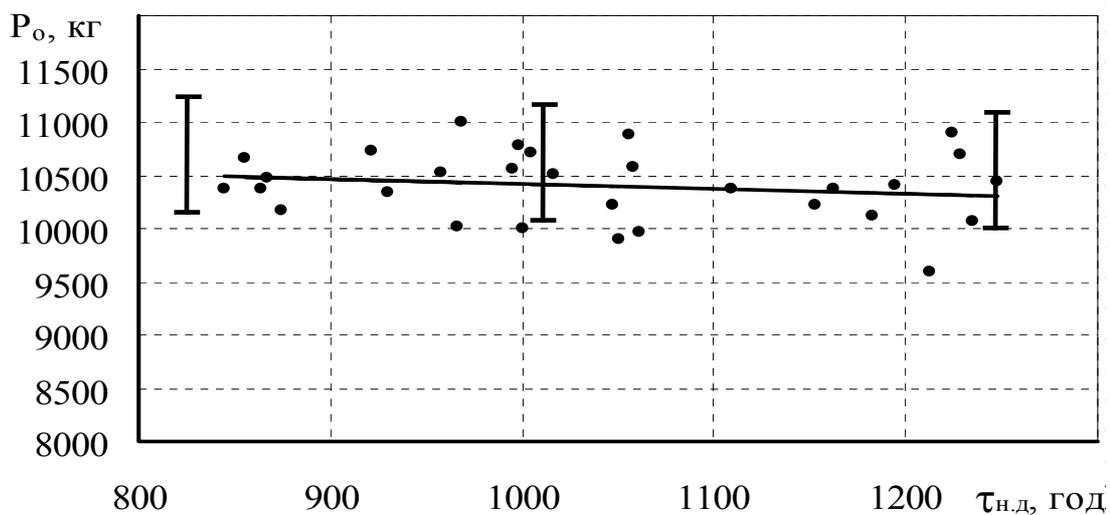


Рис.2. Залежність $P_0 = f(\tau_{H.D})$, що отримана для СУ літака Ан-72. Залежність коефіцієнту лобового опору планера літака від нальоту літака.

Фактично, використовуючи наведений вище алгоритм, нам вдалось отримати необхідні відомості та побудувати фрагменти польотної поляри ($C_{ya}(C_{xa})$) літака (див. рисунок 3).

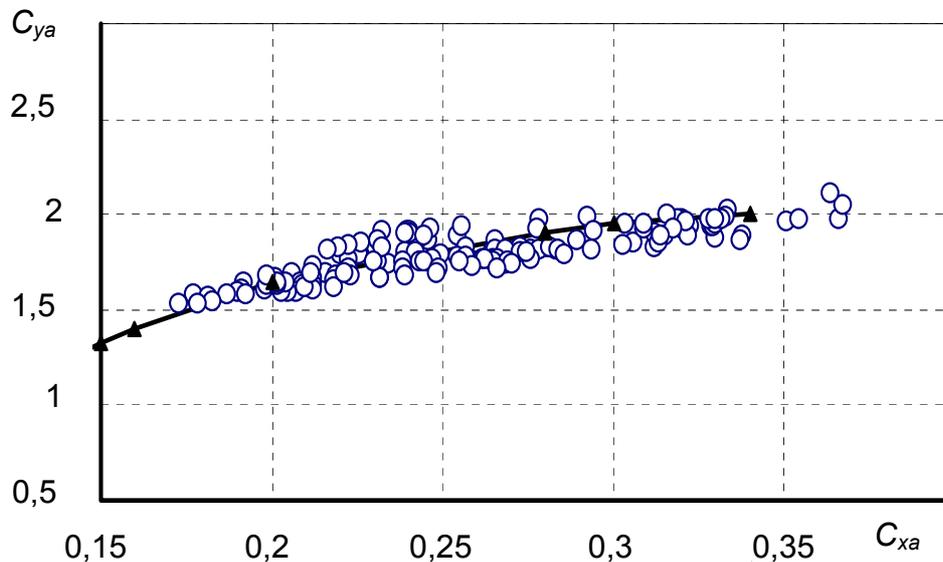


Рис.3. Приклад побудови польотної поляри літака АН-72

Виходячи з припущення про відсутність зміни в процесі експлуатації коефіцієнта індуктивного опору та коефіцієнта підйомної сили планера літака вдалось виявити ріст мінімального значення коефіцієнта підйомної сили (див. рисунок 4) в середньому на 0,3% кожні 100 годин нальоту літака.

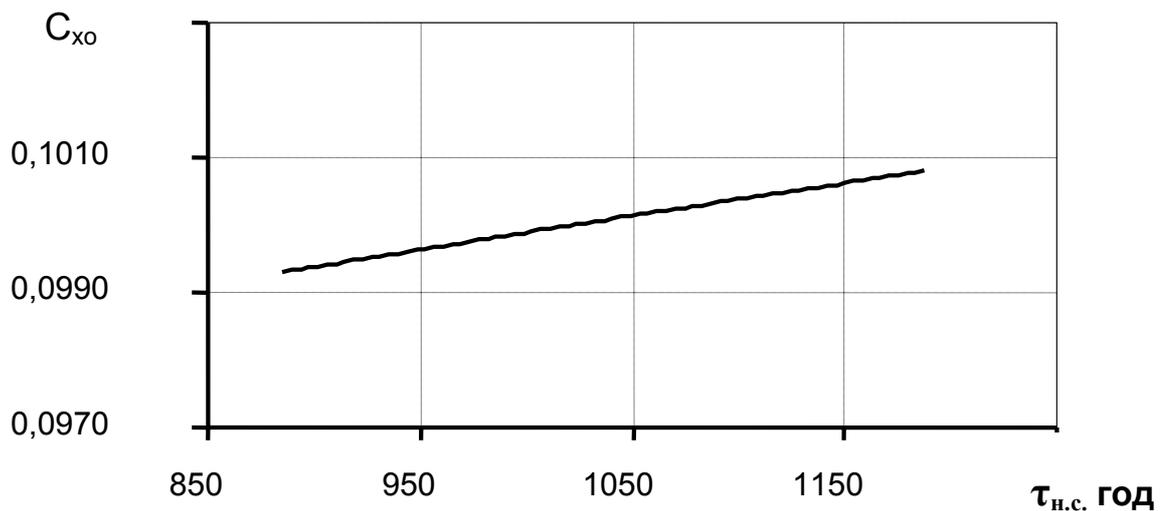


Рис.4. Залежність $C_{x0} = f(\tau_{н.с})$

При цьому стандартна похибка розрахунків не перевищує 5-8%.

Висновки

1. В роботі запропоновано підхід та розроблений алгоритм визначення зміни основних показників енергетичного стану літака, який базується на використанні інформації штатних бортових систем реєстрації параметрів польоту. В якості основних показників енергетичного стану визначені тяга СУ та коефіцієнт лобового опору планера літака.

2. Використовуючи певні обмеження та припущення вдалось розробити алгоритм, реалізація якого не потребує виконання спеціальних польотів (маневрів), використання спеціального обладнання та додаткового навчання інженерно-технічного складу. Розрахунковий алгоритм може бути реалізовано на ПЕОМ середнього рівня.

3. Значний вплив методичної похибки та похибок реєстрації і дешифрування польотних параметрів на кінцеві результати розрахунків призвело до необхідності приділити значну увагу методам підвищення достовірності польотної інформації, що реєструється сучасними бортовими системами та методам зменшення впливу методичної похибки.

4. Виконана апробація запропонованого підходу та отримані залежності зміни початкової тяги СУ та мінімального значення коефіцієнта підйомної сили в процесі експлуатації.

В силу обмеженості статистичного матеріалу, як по кількості проаналізованих польотів так і по тривалості спостереження, отримані результати не можуть розглядатись в якості кінцевих, проте аналіз отриманих залежностей свідчить про наявність значного відхилення вказаних показників від їх формулярних значень, що безперечно треба враховувати в процесі льотної експлуатації авіаційної техніки.

Література

1. Летные испытания самолетов / М.Г. Котик, А.В. Павлов, И.М. Пашковский и др. - М.: Машиностроение, 1965. - 379 с.
2. М.А. Тайц. Теоретические основы методов определения в полете летных характеристик самолетов. Применение теории подобия. - М.: Машиностроение, 1983. - 127 с.
3. В.К. Болонкин. Методы определения динамических параметров ЛА и характеристик его СУ по данным бортовых измерителей // Методы формирования ЛА и их систем: Сб. науч. тр. - М.: ЦНИИ-30, 1975. - С.35-42.
4. Е.П. Ударцев. Динамика пространственного сбалансированного движения самолета. - К.: КМУГА, 1989. - 116 с.
5. С.А. Ищенко. Оценка влияния индивидуальных особенностей воздушных судов на характеристики расхода топлива // Прикладная аэродинамика. Сборник научных трудов. - К.: КМУГА, 1997. - С.118-131.
6. И.В. Остославский, И.В. Стажева. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1969. - 499 с.
7. Конструкция летательных аппаратов / Под ред. К.Д. Туркина. - М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1972. - 533 с.
8. Мордэкэй Езекиэл и Карл А. Фокс. Методы анализа корреляций и регрессий. - М.: Статистика, 1966. - С.10-157
9. В.И. Клименко. Основные данные и характеристики двигателя Д-36.- М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1987. - 51 с.

Микроконтроллерное устройство управления каротажем в процессе бурения

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

Постановка проблемы. При разведке месторождений большинства полезных ископаемых одним из важнейших этапов является бурение разведочных скважин. На этапе разработки и эксплуатации месторождений нефти проводится бурение эксплуатационных скважин. При бурении возникают задачи изучения геологического разреза скважины: определение последовательности залегания горных пород – пластов, вскрытых скважиной, их литолого-петрофизической характеристики, наличия в них полезных ископаемых, глубины их залегания, способности пластов отдавать полезные ископаемые – коллекторские свойства породы [1]. Комплекс методов для решения таких задач основан на измерении различных физических и химических параметров горных пород и получил название «геофизические исследования скважин (ГИС)». Применительно к исследованию нефтяных скважин эти методы называют каротажем [2]. Анализ методов представлен в работе [3].

Анализ исследований и публикаций. Как показано в работах [1,2], необходимо построение устройств, выполняющих управление процессом бурения и обработку информации, полученной от комплекса каротажных датчиков. Представленные устройства [1] имеют два существенных недостатка, а именно: сложность реализации и недостаточно высокое быстродействие в обработке поступающих сигналов.

Цель статьи. Обоснование необходимости построения устройства, выполняющего обработку сигналов, поступающих от комплекса каротажных датчиков, и управление процессом бурения, которое удовлетворяет требованиям простоты реализации и высокому быстродействию.

Основной материал статьи. Предлагается устройство управления (УУ) (рис. 1), принципиальная схема которого представлена на рис. 2.

УУ предназначено для проведения каротажа в процессе бурения, решения задачи обработки сигналов, поступающих от комплекса измерительных датчиков, а также для использования в управлении процессом бурения. Имеется возможность изменения параметров обработки и управления вручную с помощью клавиатуры. Устройство основано на базе микроконтроллера фирмы Microchip и состоит из таких основных элементов: микроконтроллер (МК), устройство отображения информации (УОИ), устройство ввода (УВ), блок сопряжения с аналоговой частью (БСА), устройство сопряжения (УС).

Микроконтроллер – это ядро всего устройства (DD1 на рис. 2). МК выполняет задачи: управления всеми блоками, входящими в состав предложенного устройства; исполнения алгоритмов реализованной в нем программы; самодиагностики и диагностики как подключаемой к УУ внешней аппаратуры и комплекса датчиков, так и составных элементов УУ. БСА (DA2-DA4 на рис. 2) используется для сопряжения с МК аналоговой части схемы устройства, а именно каротажных зондов. УОИ (HG1-HG2 на рис. 2) применяется для отображения измеренных параметров, а также для визуализации процесса управления устройством вручную. УВ (SB1-SB4 на рис. 2) представляет собой

клавиатуру, с помощью которой можно выполнять изменение параметров системы и ручное управление. УС (DA1 на рис. 2) используется для связи с персональным компьютером. АВ и ЦВВ (рис. 2) представляют собой аналоговые и цифровые входы – выходы, позволяющие использовать устройство для управления процессом бурения, производить диагностику применяемого оборудования.

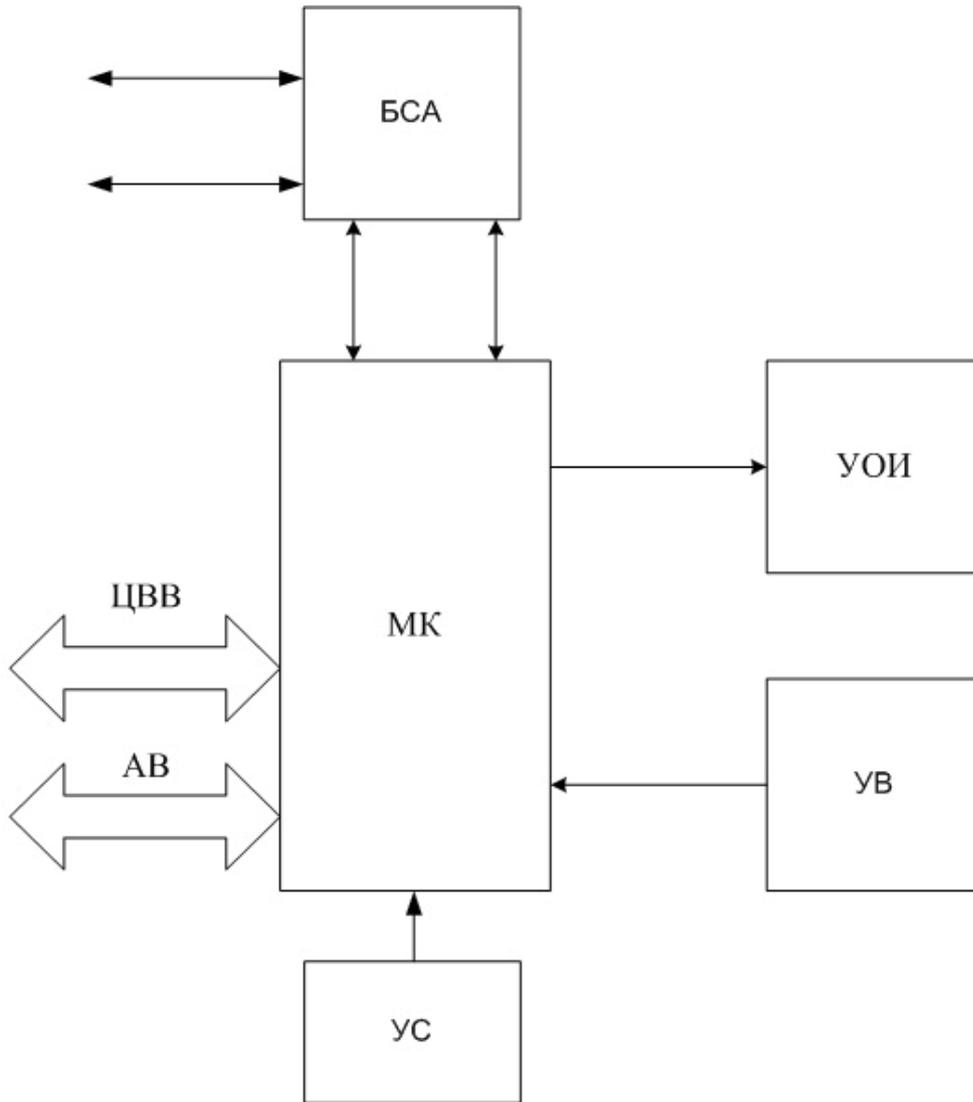


Рис. 1. Устройство управления

В качестве МК можно использовать PIC16F877A или PIC18F454, выпускаемые одним из лидеров в производстве микроконтроллеров – фирмой Microchip. В табл. 1 представлены краткие технические характеристики микроконтроллеров. Как видно из табл. 1, этих характеристик недостаточно для определения того, какой из МК и для каких задач лучше использовать в устройстве. Были проведены исследования представленного устройства с использованием в качестве ядра PIC16F877A и PIC18F454, результаты которых приведены в табл. 2. Устройство тестировалось с помощью специальных тестовых подпрограмм, обрабатывающих наиболее часто встречающиеся сложные алгоритмы.

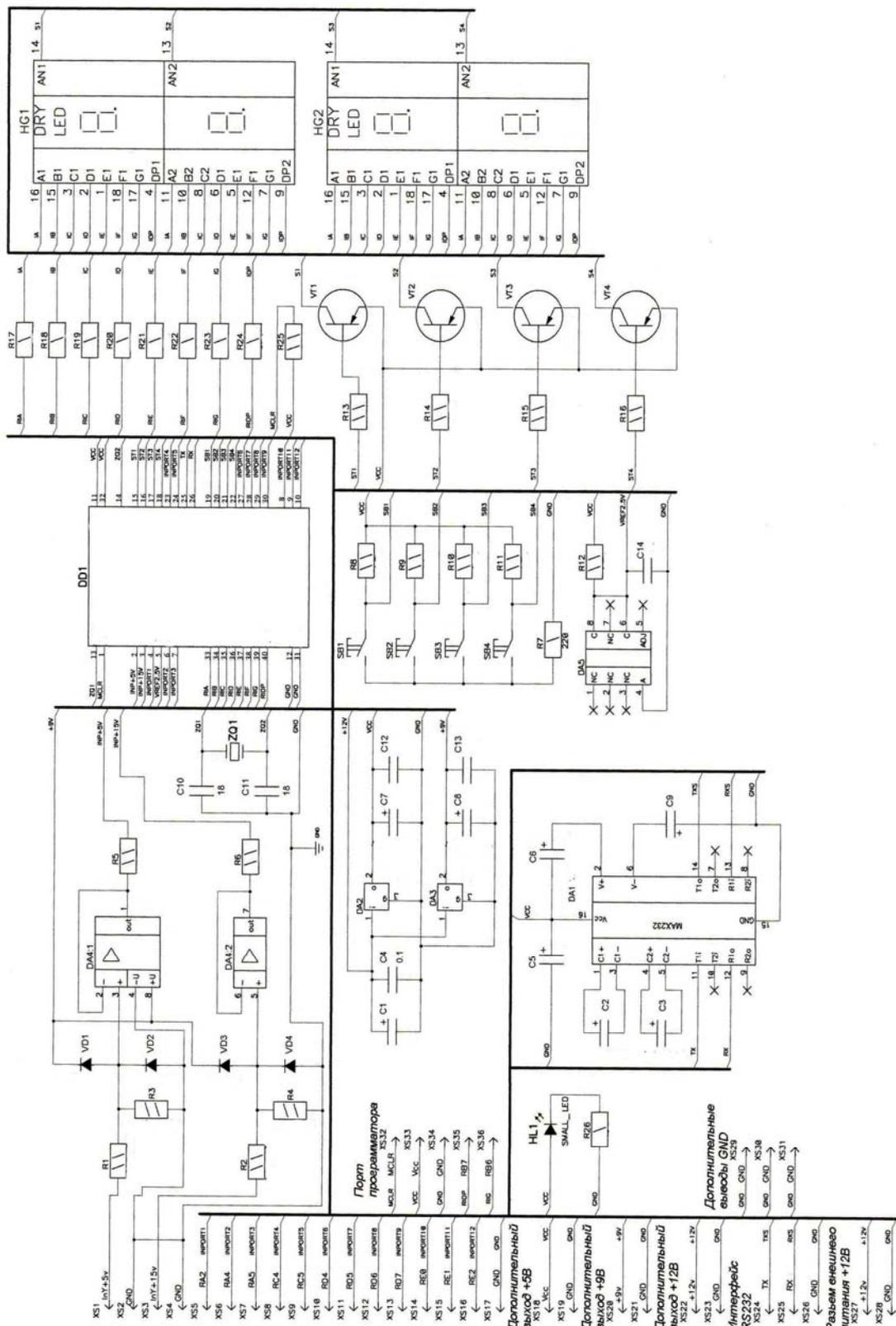


Рис. 2. Принципиальная схема устройства

Таблица 1. Характеристики микроконтроллеров

Характеристика МК	PIC16F877A	PIC18F452
Память программ, байт	14336	32768
Память данных, байт	368	1536
EEPROM память данных, байт	256	256
Максимальная тактовая частота, МГц	20	40
Диапазон напряжений, В	2,0 ... 5,5	2,0 ... 5,5
Разрядность команд, бит	14	16
Разрядность данных, бит	8	8
Количество таймеров/счетчиков	3	4
Модули сравнения/захвата/ШИМ	2	2
Разрядность АЦП	10	10
Последовательный синхронный порт MSSP	Да	Да
Последовательный синхронно-асинхронный приемопередатчик USART	Да	Да

Таблица 2. Размеры кодов и количество циклов, необходимых для выполнения подпрограмм

Подпрограмма	Единица измерения	PIC16F877A	PIC18F452
8-битная математика	байт	476	386
	циклов	424	318
8-битное переключение	байт	490	404
	циклов	151	109
16-битная математика	байт	676	598
	циклов	735	625
16-битная матрица	байт	988	846
	циклов	31020	27021
16-битное переключение	байт	668	572
	циклов	211	163
32-битная математика	байт	1070	960
	циклов	2092	1818
32-битное переключение	байт	802	692
	циклов	254	192
Операции с плавающей точкой	байт	1982	1778
	циклов	1712	1599
Фильтрация 16-го порядка	байт	2362	2146
	циклов	294751	248655
Умножение матриц	байт	1124	936
	циклов	39020	36190
Всего	байт	10638	9302
	циклов	370370	336543

На рис. 3,а представлена сравнительная диаграмма общего количества машинных циклов, необходимых для выполнения перечисленных в табл. 1 подпрограмм. Как видно на диаграмме, код, написанный под микроконтроллер

PIC18F454, выполняется за меньшее количество циклов, что означает более высокое быстродействие.

На рис. 3,б представлена сравнительная диаграмма общего размера кодов программ, выполняемых на УУ. Диаграмма показывает, что код, написанный под PIC18F454, занимает меньший объем.

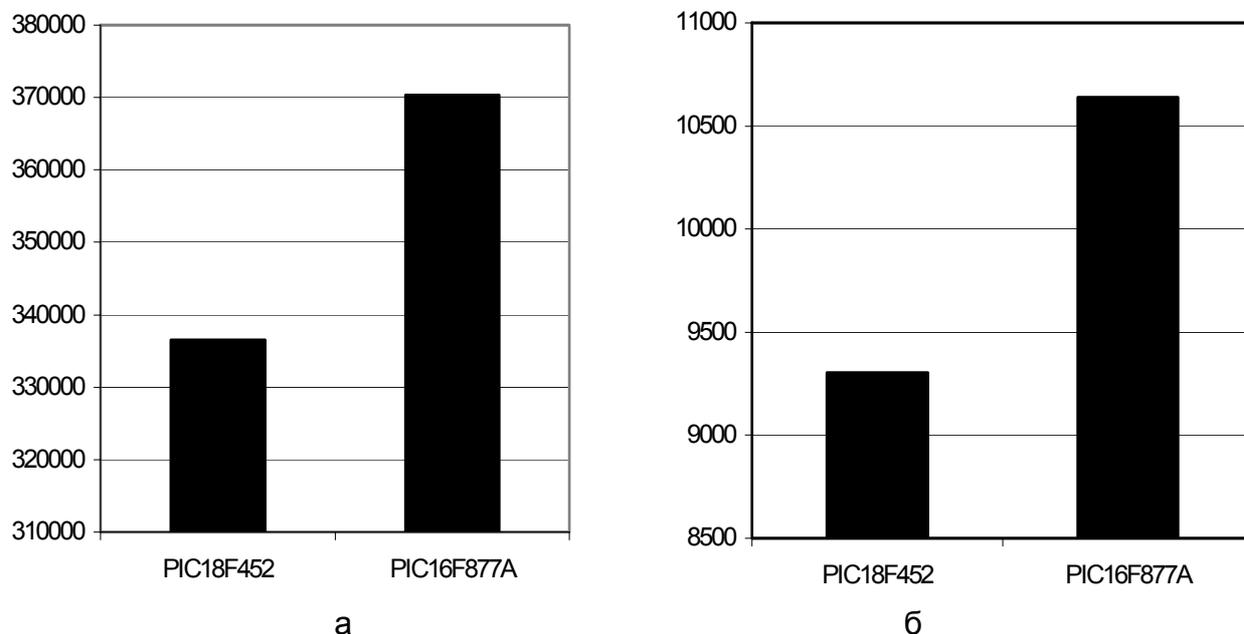


Рис. 3. Диаграммы сравнения микроконтроллеров: а – сравнительная диаграмма общего количества машинных циклов; б – сравнительная диаграмма общего размера кодов программ

Выводы. По результатам исследования можно сделать вывод, что если необходимо получить высокое быстродействие, то целесообразно применять микроконтроллер PIC18F454. Если требования к быстродействию невысоки, то целесообразнее использовать PIC16F877A, так как этот микроконтроллер отличается более низкой ценой. МК полностью сигнально совместимы, что позволяет легко производить замену в зависимости от решаемых устройством задач. С помощью разработанного устройства можно производить каротаж в процессе бурения и осуществлять изменение параметров бурения в зависимости от проходимого слоя породы.

Список литературы

1. Померанц Л.И., Белоконь Д.В., Козяр В.Ф. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин. – М.: Недра, 1985. – 271 с.
2. Геофизические методы исследования нефтяных и газовых скважин/ Л.И. Померанц., М.Т. Бондаренко, Ю.А. Гулин, В.Ф. Козяр – М.: Недра, 1985. – 376 с.
3. Кошевой Н.Д., Светличный А.В., Кунич В.А. Сравнительный анализ методов исследования пластов вскрытых при бурении нефтяных скважин// Сб. трудов Междунар. науч. техн. конф. “Наука и предпринимательство 2005”; Винница - Ялта 2005. – с. 234–237.

Помехоустойчивая процедура для разделения пространственно-временных компонент

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

Постановка проблемы. Оптимальные технологии выделения из наблюдаемых смесей сигналов от пространственно разнесенных источников «излучения», представляющие интерес в различных технических приложениях, являются предметом исследований в течение последних двух десятков лет [1,2].

Анализ известных достижений. Ограничения традиционных максимально правдоподобных алгоритмов восстановления каждой из одновременно наблюдаемых на входах системы датчиков (приемников) компонент (сигналов) хорошо известны практикам: концепция известной формы не всегда может быть обоснована.

Выделение нерешенной проблемы. «Слепое» разделение компонент и его отдельные модификации базируются на посылах «здравого смысла»: недостатки априорного знания о составляющих наблюдений «компенсируют» статистически сильным предположением о независимости первообразных [3]. Как следствие «здравого смысла»: матрицу преобразований исходных данных выбирают так, чтобы минимизировать функцию потерь, по возможности зависящую от кумулянтов четвертого порядка. Достоверность данных, сформированных такими технологиями, в каждой практической ситуации требует конкретных исследований, а квазиэффективность – доказательства.

Цель статьи. В настоящей работе применительно к задачам компонентного анализа для заданного диапазона неопределенности относительно формы (вида) видеосигналов при использовании основных посылок методологии максимального правдоподобия разработана вычислительная процедура для восстановления (разделения) из наблюдаемой смеси компонент, пространственно-временные параметры которых неизвестны.

Специфика задач диагностики связана с тем, что исследователь при анализе располагает, во-первых, некоторыми предварительными данными о характере видеосигналов: примерно известно множество, «ансамбль» их возможных видов. Во-вторых, область местоположений источников «стохастических» компонент ограничена геометрическим фактором и протяженностью интервала наблюдения.

Постановка задачи. С учетом указанной специфики в аналитической форме задачу восстановления при компонентном анализе формулируют так. Существует N независимых источников. В момент времени $k\Delta t$ ($k = \overline{1, K}$) на выходах M сенсоров регистрируют M -мерный вектор $U_k^T = U^T(k\Delta t) = [u_1(k\Delta t), u_2(k\Delta t), \dots, u_M(k\Delta t)]$. $u_m(k\Delta t)$ – амплитуда отсчета, зарегистрированного в k -й момент времени на выходе m -го приемника, $m = \overline{1, M}$, «Т» – знак транспонирования. Функциональная связь между вектором U_k и «фазовым» распределением $A = [A_1, A_2, \dots, A_N]$ «потенциалов»

источников, зарегистрированных сенсорами, определяется уравнением наблюдения:

$$U_k = A E_k + n_k. \quad (1)$$

Здесь $E_k = [E_1(k\Delta t), E_2(k\Delta t), \dots, E_N(k\Delta t)]^T$ – вектор отсчетов в момент времени $k\Delta t$ амплитуд независимых компонент $E_p(t)$ ($p = \overline{1, N}$), модуль $|\dot{G}(f)|$ спектра которых сосредоточен в полосе $2F$, $\Delta t = \frac{1}{2F}$. Элементы $\varphi_n^{(i)}$ ($i = \overline{1, M}$) вектора $\Lambda_n = [\varphi_n^{(1)}, \varphi_n^{(2)}, \dots, \varphi_n^{(M)}]^T$, норма $\|\Lambda_n\|$ которого равна 1, задаются как местоположением (x_n, y_n, z_n) в пространственной декартовой системе (X, Y, Z) n -го источника «излучения», так и координатами (x_m, y_m, z_m) приемных сенсоров, $\varphi_n^{(m)} = f(x_n, y_n, z_n, x_m, y_m, z_m)$ – известная функция координат датчиков и источников, $n = \overline{1, N}$, $m = \overline{1, M}$; $n_k^T = [n_1(k\Delta t), n_2(k\Delta t), \dots, n_M(k\Delta t)]$ – случайный гауссовский процесс с характеристиками

$$\begin{aligned} \langle n_k \rangle &= 0, \\ R &= \langle n_k n_t^T \rangle = \sigma_0^2 I_M \delta(k - t). \end{aligned} \quad (2)$$

$n_m(k\Delta t)$ – отсчет шума m -го сенсора, $\delta(\cdot)$ – символ Кронекера, I_M – единичная матрица размерности $M \times M$ из поля F , $I_M \in M_{M, M}(F)$, σ_0^2 – мощность помехи. Источники считаем неподвижными, а форму $E_p(t)$ ($p = \overline{1, N}$) компонент – фактором с заданной «априори» плотностью $\rho(E_K^N)$, $E_K^N = (E_1, E_2, \dots, E_K)$ из области Ω_I .

Как следствие модельных приближений: матрицу $R_N = \langle u_k u_k^T \rangle$ (размера $M \times M$) межсенсорных корреляций вектора u_k можно записать в виде:

$$R_N = A \Psi A^T + \sigma_0^2 I_M, \quad (3)$$

где $\Psi_N = \langle E_k^N (E_k^N)^T \rangle$, $\Psi_N \in M_{N, N}(F)$.

Требуется: разработать процедуру, которая позволяет по выборке $u^K = [u_1, u_2, \dots, u_K]$ выделить (восстановить) каждую компоненту $E_p(t)$ или ее дискретный эквивалент $E_p(k\Delta t)$, $p = \overline{1, N}$, $k = \overline{1, K}$, из наблюдаемого процесса.

Решение проблемы. Задача восстановления дискретного эквивалента E_K вектора $E(t) = (E_1(t), E_2(t), \dots, E_N(t))^T$, используя наблюдения u^K , в технической литературе формулируют как задачу нахождения «смешивающей» матрицы A , обеспечивающей на каждом k -ом этапе по заданному правилу оценивание E_K .

Для нахождения оценки \hat{A} детелизируем связь функции правдоподобия $W(U^K / A, R)$ с условной плотностью вероятности $W(U^K / A, R, E_K^N)$:

$$W(U^K / A, R) = \int_{\Omega_I} W(U^K / A, E_K^N, R) \rho(E_K^N) dE_K^N. \quad (4)$$

Здесь каждой точке множества Ω_I возможных E_K^N исходов случайного эксперимента ставится в соответствие конкретная реализация совокупности $\{E_k\}$ независимых случайных векторов E_k : при фиксированной A различными комбинациями $S_k = AE_k$ будут соответствовать различные точки пространства сигналов. Считая, что параметры матриц A (местоположение источников) и R постоянны в пределах интервала наблюдения $T = (K - I)\Delta t$, условная плотность $W(U^K / A, E_K, R)$ при фиксированной E_K^N запишется в традиционной форме

$$W(U^K / A, E_K, R) = (2\pi)^{-\frac{MK}{2}} |R|^{-\frac{K}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \sum_{k=1}^K (U_k - A E_k)^T R^{-1} (U_k - A E_k)\right\}. \quad (5)$$

Матрица R положительно определена, для ее детерминанта здесь использовано обозначение $|R|$. Без потери общности повествования при записи равенства (4) использовано понятие объемного интеграла по области Ω_I , отражающего факт последовательного интегрирования, кратность которого определена мерностью соответствующей плотности.

Очевидно, что норма $\|U_k - AE_k\|$ не изменится при ортогональном преобразовании вектора $v_k = U_k - AE_k$. Следовательно, если D ортогональная $(M \times M)$ матрица, и $DD^T = I_M$, то при заданной модели $R = \sigma_0^2 I_M$ невязка

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=1}^K (u_k - A E_k)^T R^{-1} (u_k - A E_k) \text{ будет равна}$$

$$\varepsilon^2 = \sum_{k=1}^K \{D v_k\}^T R^{-1} \{D v_k\}. \quad (6)$$

Последнее равенство при $K \gg I$ тривиально приводится к виду

$$\varepsilon^2 = K Sp\{R^{-1}[\Phi - Y]\}. \quad (7)$$

Здесь $Sp T$ – след матрицы T , $\Phi = DSD^+ = \text{diag}(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_M)$, $\Phi_i > 0$, $i = \overline{1, M}$;

$$S = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K u_k u_k^T; Y = DA S_N (DA)^T = \text{diag}(Y_1, Y_2, \dots, Y_M), Y_i > 0 \text{ если } i = \overline{1, N},$$

$$Y_i = 0 \text{ если } i = \overline{N+1, M}; S_N = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E_k E_k^T.$$

Представим $(\Phi - Y)$ в виде составной матрицы как:

$$\Phi - Y = \begin{bmatrix} (\Phi_N - Y_N) & 0_{N}^{M-N} \\ 0_{M-N}^N & v_{M-N} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

В равенстве (8): $(\Phi_N - Y_N) = \text{diag}(\Phi_1 - Y_2, \Phi_2 - Y_2, \dots, \Phi_N - Y_N)$, $\nu_{M-N} = \text{diag}(\Phi_{M-N+1}, \Phi_{M-N+2}, \dots, \Phi_M)$, нижний индекс у символа – размер соответствующей квадратной матрицы, O_m^n – нулевая $(m \times n)$ -размерная матрица.

Тогда невязка ε^2 может быть рассчитана из соотношения:

$$\varepsilon^2 = KSpR^{-1}(\Phi_N - Y_N) + KSpR_{M-N}^{-1}\nu_{M-N}. \quad (9)$$

$$R_N = \sigma_o^2 I_N, R_{M-N} = \sigma_o^2 I_{M-N}.$$

Последнее соотношение позволяет записать функцию правдоподобия $W(U^K / A, R, E_K)$ в виде произведения двух функций

$$W(U^K / A, R, E_K) = W(U^K / R_{M-N})W(U^K / A, R_N, E_K), \quad (10)$$

где

$$W(U^K / R_{M-N}) = 2\pi^{-\frac{K(M-N)}{2}} |R_{M-N}|^{-\frac{K}{2}} \exp\left\{-\frac{K}{2} SpR_{M-N}^{-1}\nu_{M-N}\right\}, \quad (11)$$

$$W(U^K / A, R_N, E_K) = 2\pi^{-\frac{KN}{2}} |R_N|^{-\frac{K}{2}} \exp\left\{-\frac{K}{2} SpR_N^{-1}(\Phi_N - Y_N)\right\}.$$

Первый сомножитель в (10) не зависит от формы $E_p(t)$ и местоположения источника. Во-вторых – величина $\frac{1}{N} SpR_N^{-1}(\Phi_N - Y_N)$ характеризует невязку между оценкой $\hat{\sigma}_0^2$ и ее истинным значением σ_0^2 . МП-оценки \hat{A} и \hat{R} , постоянных на интервале наблюдения A и R (обеспечивают максимум $W(U^K / A, R)$), являются корнями системы уравнений правдоподобия:

$$\frac{\partial W(U^K / A, R)}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial W(U^K / A, R)}{\partial R} = 0. \quad (12)$$

Решить их в явном виде не представляется возможным. Однако условие экстремума

$$\int_{\Omega_1} W(U^K / A, \hat{R}, E_K) p(E_K) dE_K = \max_{A, R} \quad (13)$$

может удовлетворяться, если область Ω_1 охватывает все точки пространства наблюдений, в которых $\exp\left\{-\frac{K}{2} SpR_N^{-1}(\Phi_N - Y_N)\right\}$ достигает максимального значения, равного $\exp\left\{-\frac{K}{2} SpI_N\right\}$. Это эквивалентно выполнению

$$(\Phi_N - Y_N) = \hat{\sigma}_0^2 I_N. \quad (14)$$

Из результатов работы [4] следует, что при $M \gg N$ МП-оценка $\hat{\sigma}_0^2$ может быть найдена из равенства $\hat{\sigma}_0^2 = \frac{1}{M-N} \sum_{i=M-N+1}^M \Phi_i$. Отсюда вытекает, что максимум

$W(U^K / \hat{A}, \hat{R}_N)$, где $\hat{R}_N \hat{=} \hat{=}^2 I_N$, достигается при $Z_i = (\Phi_i - Y_i) = \hat{\sigma}_i^2$, $i = \overline{1, N}$. Таким образом, «центрированное» собственное значение

$$\Phi_i^0 = \Phi_i - \hat{\sigma}_i^2 \quad (15)$$

является МП-оценкой для Y_i , $i = \overline{1, N}$.

Это, в свою очередь, означает, что вектор Z_i ($i = \overline{1, N}$), соответствующий i -му центрированному собственному числу Φ_i^0 матрицы наблюдений S является МП-оценкой i -го собственного вектора «сигнальной» компоненты $AS_N A$.

Известные свойства оценок максимального правдоподобия позволяют, во-первых, разложение Z_i по системе базовых векторов A_p записать в виде :

$$Z_i = \sum_{p=1}^N \beta_{ip} A_p + \xi_i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (16)$$

Здесь гауссовский случайный процесс ξ_i имеет статистические характеристики: $\langle \xi_i \rangle = 0$, $\langle \xi_i \xi_j^T \rangle = \sigma_\xi^2 I_M (i - j)$. Во-вторых, вычисление \hat{A} свести к оцениванию составляющих A_p ($p = \overline{1, N}$) по результатам измерения Z_i . А именно: исходные данные на этом этапе решения задачи задаются $F = (M \times N)$ -мерным вектором T :

$$T = \beta A + \xi, \quad (17)$$

где

$$T = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_N \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_N \end{bmatrix}, \quad \xi = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \vdots \\ \xi_N \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \|\beta_{11}\| & \|\beta_{12}\| & \vdots & \|\beta_{1N}\| \\ \|\beta_{21}\| & \|\beta_{22}\| & \vdots & \|\beta_{2N}\| \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \|\beta_{N1}\| & \|\beta_{N2}\| & \vdots & \|\beta_{NN}\| \end{bmatrix}, \quad (18)$$

$\|\beta_{ij}\| = \text{diag}(\beta_{ij}, \beta_{ij}, \dots, \beta_{ij})$ – диагональная вещественная матрица размера $M \times M$ ($i, j = \overline{1, M}$); $\langle \xi_i \rangle = 0$, $R_\xi = \langle \xi \xi^T \rangle = \sigma_\xi^2 I_F$. Оценки $\hat{\Lambda}_p$ составляющих A_p вектора A находим по методу максимального правдоподобия. Для этого запишем условную плотность вероятности $W(T / \beta, A, R_\xi)$ совокупности $\{Z_i\}$ относительно β, A, R_ξ так:

$$W_I(T / \beta, A, R_\xi) = 2\pi^{-\frac{1}{2}} |R_\xi|^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(T - \beta A)^T R_\xi^{-1} (T - \beta A)\right\}. \quad (19)$$

Для получения оценок $\hat{\beta}$ и $\hat{\Lambda}$ потребуем, чтобы

$$\frac{\partial \ln W_I(\dots)}{\partial \beta} = 0 \quad \frac{\partial \ln W_I(\dots)}{\partial A} = 0 \quad (20)$$

в точках истинных значений β и A . Подставив (19) в (20) приходим к выводу: точки максимума $W_I(\dots)$ по β и A необходимо искать среди корней невырожденной системы уравнений связи

$$T = \beta A. \quad (21)$$

Если элементы матрицы β известны лишь приближенно, то для отыскания нормального решения системы относительно A при большом N , ($N > 3$) используют итерационные методы с соответствующей регуляризацией. При этом получают ответ в виде предела $A = \lim_{j \rightarrow \infty} A^{(j)}$ последовательности $\{A^{(j)}\}$ j элементов линейного пространства

$$A^{(j+1)} = A^{(j)} - H_j(\beta A^{(j)} - T) \quad (22)$$

с начальным приближением $A^{(0)}$

$$A^{(0)} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_N \end{bmatrix} \quad (23)$$

и выбранным параметром H_j ($\{H_j\}$ – последовательность невырожденных матриц) [5]. В (22): $\varepsilon^{(j)} = (\beta A^{(j)} - T)$ – вектор невязки j -го цикла, $\Psi^j = A^j - A$ – ошибка между j -м приближением и точным решением. Требования $\gamma(T) = \max |\lambda_n(T)| < 1$ (λ_n – собственное число оператора шага $T = E - H_j \beta$, E – единичная матрица) выражают необходимые и достаточные условия сходимости последовательности (22). Таким образом, при выполнении достаточных условий решение системы (21) относительно A задаем как $A = \hat{A}^{j+1}$, а в качестве оценки \hat{A} используем набор уточненных Z_p^{j+1}

$$\hat{A}_{j+1} = [Z_1^{j+1}, Z_2^{j+1}, \dots, Z_N^{j+1}] \quad (24)$$

в итерационном цикле с начальным приближением \hat{A}_0

$$\hat{A}_0 = [Z_1, Z_2, \dots, Z_N]. \quad (25)$$

Для ряда технических приложений с учетом знания конкретного класса функций $\varphi_n^{(m)} = f(x_n, y_n, z_n, x_m, y_m, z_m)$ при практически достаточных мощностях видеосигналов удается найти инвариантное, относительно составляющих матрицы β , линейное преобразование $\mathcal{G} = DT$ вектора T , приводящее (в итерационном цикле) к несмещенному оцениванию параметров компонент A_n ($n = \overline{1, N}$) с показателями качества, близким к теоретически предельным [6]. Если этой возможности нет и исследователь не располагает хотя бы частичной априорной «определенностью» относительно числовых значений матрицы β , то в качестве оценки A следует принимать значение $A^{(0)}$.

Ограничиваясь классом линейных ортогональных операторов при априорной неопределенности относительно формы $E_p(t)$ для разделения компонент используем оптимально-инвариантную оценку \hat{E}_k вектора E_k в текущий момент дискретных наблюдений U_k [6]:

$$\hat{E}_k = (\hat{A}_{j+1}^T R^{-1} \hat{A}_{j+1})^{-1} \hat{A}_{j+1}^T R^{-1} U_k. \quad (26)$$

Как результат: на N выходах системы в «скользящем» времени по наблюдениям U_k может быть сформирована (по критерию среднего квадрата) линейная однородная инвариантная оценка \hat{E}_k вектора E_k , отражающая характер поведения $E(t)$ в отсчетных точках $k\Delta t$ интервала наблюдения T с начальным приближением

$$\hat{E}_k^0 = (\hat{A}_0^T R^{-1} \hat{A}_0)^{-1} \hat{A}_0^T R^{-1} U_k. \quad (27)$$

Степень квазиоптимальности разделения на $(j+1)$ -м шаге цикла определяется степенью выполнения равенства $\hat{A}_{j+1}^T A = I_N$. На эффективность процедуры оказывает влияние выбор числа K и M . Если K мало, то равенство (7) будет выполняться неточно. При $M = N$ (число сенсоров соизмеримо с числом компонент) отсутствует возможность точно оценить σ_0^2 . Кроме того, качество решений будет зависеть от степени априорной неопределенности в отношении элементов матрицы в системе (21).

Для подтверждения выводов теоретических исследований и оценки качества решений приводим один из результатов аттестации разработанной технологии разделения, полученный на примере обработки реальной электроэнцефалограммы (ЭЭГ). На рисунке 1 представлена исходная ЭЭГ пациента, зарегистрированная на 16-ти потенциальных сенсорах прибора. Номер временного отсчета исходной информации на выходе соответствующего сенсора указан на оси абсцисс. Числовое значение на оси ординат – величина мгновенной амплитуды процесса. На рисунке 2 – результат разделения, полученный с использованием синтезированной технологии при условии $\hat{\Lambda} = \Lambda^{(0)}$. Кривые, приведенные на рисунке 3, иллюстрируют (для сопоставления) возможности обработки ЭЭГ упомянутого пациента с помощью алгоритма ICA [7].

Здесь номер выделенной компоненты соответствует номеру «канала» (номеру сенсора), ее «координата» – местоположение на временной оси (ось абсцисс). На всех рисунках единые единицы измерения и масштаб, нумерация каналов: сверху вниз.

Выводы

Анализ результатов позволяет констатировать. Несмотря на то, что выделенные из наблюдений компоненты цитируемой технологией имеют различную оцифровку на рис. 2 и 3, их условное местоположение и форма практически одинаковы. Интенсивность видеосигналов отличается на 10 – 15 %, что в пределах ошибок полунатурного эксперимента.

Таким образом, синтезированная технология разделения реальных компонент отвечает критерию максимальной достоверности, работоспособности в условиях сильной априорной неопределенности, может быть использована в широком круге диагностической практики.

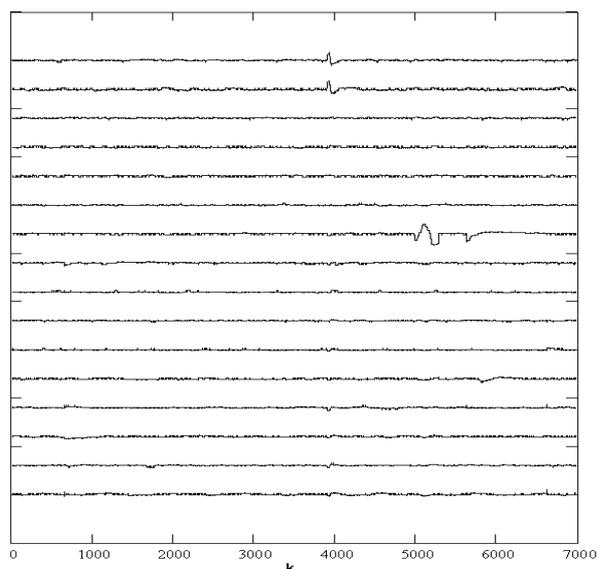


Рис. 1. Исходная ЭЭГ

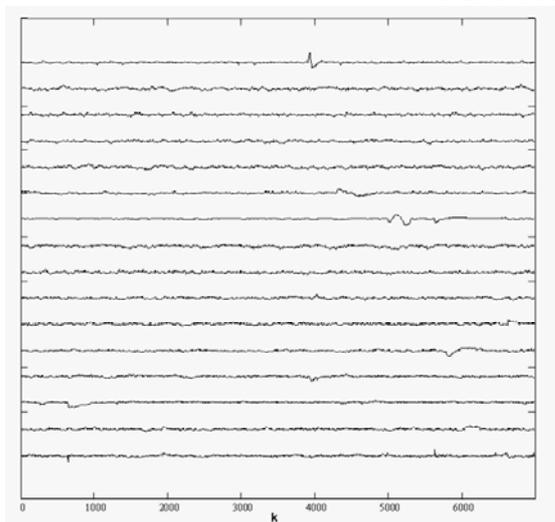


Рис.2. Результат выполнения алгоритма ICA

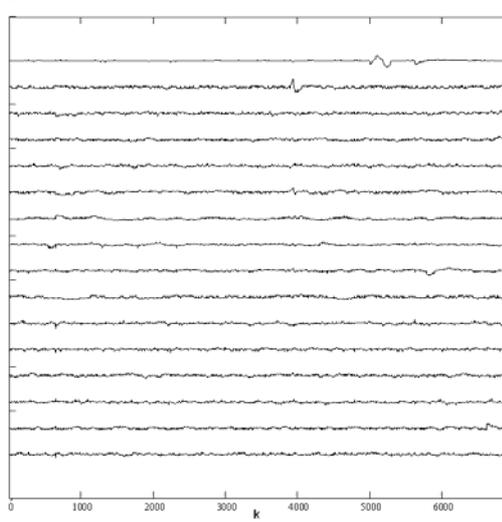


Рис.3. Результат выполнения предложенного алгоритма

Список литературы

1. Ефименко В. С., Харисов В. Н. Оптимальные алгоритмы разделения пространственно-разнесенных источников излучения // Радиотехника. - 1996. - №7. - С. 87-95.
2. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭТ и клиническая электроэнцефалография. - М.: Наука. - 2000. – 600 с.
3. J.-F. Cardoso. Source separation using higher order moments. In Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP'89), pages 2109-2112, Glasgow, UK, 1989.
4. Абрамов. А.Д. Нежальский Р.В. Экспериментальное исследование определителя числа одновременно наблюдаемых компонент с неизвестными параметрами // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. 2004. № 2 (6). С. 27-32.
5. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. _ М.: Наука, 1974.
6. Иванов Ю.П. Комплексная фильтрация и классификация сигналов. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1988. – 212 с.

Исследование процесса демонтажа авиационных мелкокалиберных боеприпасов

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

Введение

По условиям отделения от самолета все авиационные боеприпасы подразделяются на три большие группы:

- боеприпасы бомбардировочного вооружения;
- боеприпасы ракетного вооружения;
- боеприпасы артиллерийского вооружения.

Артиллерийское вооружение включает в себя авиационные пулеметы и пушки, установки для крепления оружия, приборы управления огнем, прицелы воздушной стрельбы, патроны со снарядами различного назначения, укомплектованными различными типами взрывателей [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.

Анализ исследований и публикаций

Достаточно долго проблема утилизации как мелкокалиберных авиационных боевых припасов, так и боеприпасов к другим системам вооружений решалась одним способом – путём их непосредственного уничтожения [3,4].

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 [5].

С выдвиганием на первое место экономических факторов стал 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.

Постановка задачи

Повышение требований к экологической безопасности технологических процессов утилизации, а также преобладание 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.

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) значительно облегчают изготовление патронов, в том числе и для стрелково-пушечного авиационного вооружения [6].

С целью устранения недостатков был разработан технологический процесс демонтажа унитарных патронов, предназначенный для применения на существующих роторных линиях.

Процесс включает в себя операции по демонтажу боеприпасов на составные элементы (гильза, снаряд, порох) и переработку составных элементов до безопасного состояния и получения материалов для последующего вторичного использования в промышленном производстве [7].

Методика проведения эксперимента по определению извлекающего усилия

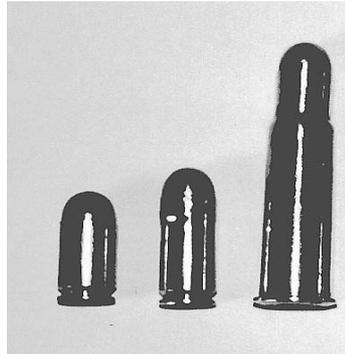
Каждый из методов исследования аэродинамических характеристик снарядов (патронов) обладает рядом преимуществ и недостатков по сравнению с другими методами при решении определённых задач. Поэтому выбор того или иного метода зависит от специфики поставленной проблемы и имеющегося в наличии оборудования для проведения экспериментов.

Таким образом, прежде чем принять окончательное решение о выборе метода исследования, необходимо проанализировать особенности изучаемого процесса и учесть их при проведении экспериментов.

При этом выбранный метод исследования должен обеспечивать такие условия проведения экспериментов, которые в наибольшей степени соответствуют реальным условиям протекания изучаемого процесса с целью получения о нём наиболее достоверной информации [8].

В качестве боеприпасов для проведения эксперимента были использованы стандартные образцы калибра 9, 5,45 и 7,62 мм. Внешний вид патронов

представлен на рисунке.



Внешний вид патронов 5,45, 9 и 7,62 мм

На экспериментальной установке производилось извлечение пули из гильзы, и при этом фиксировалась скорость «вылета» пули. Полученные значения скорости были использованы для расчёта значения усилия при извлечении пули из гильзы.

Изменение кинетической энергии снаряда (патрона) определяется как

$$\frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} = \int_{x_1}^{x_2} R \cos(\bar{R}, \bar{x}) dx + \int_{y_1}^{y_2} mg \cos(\bar{g}, \bar{y}) dy, \quad (1)$$

Где m - масса снаряда, кг;

V_1 - скорость снаряда в точке 1, м/с;

V_2 - скорость снаряда в точке 2, м/с;

x - расстояние от дульного среза до точки 1(2), м;

y - высота траектории, м;

R - сила лобового сопротивления, Н;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

$\cos(\bar{R}, \bar{x})$ - косинус угла между направлением действия силы лобового сопротивления и осью абсцисс, если траектория отлична от горизонтальной;

$\cos(\bar{g}, \bar{y})$ - косинус угла между направлением действия силы тяжести и осью ординат, если траектория отлична от горизонтальной.

С целью исключения влияния силы тяжести на исследуемом участке $\cos(\bar{R}, \bar{x}) = \cos(\bar{g}, \bar{y}) = \cos 180^\circ = -1$, и уравнение (1) можно записать в виде

$$\frac{m}{2}(V_1^2 - V_2^2) = \int_{x_1}^{x_2} R dx + mg(y_2 - y_1)$$

при $y_2 = y_1$, тогда

$$\frac{m}{2}(V_1^2 - V_2^2) = \int_{x_1}^{x_2} R dx = R_{cp} L, \quad (2)$$

где L - расстояние между точками 1, 2, м.

Средняя скорость на расстоянии L

$$V_{cp} = \frac{V_1 + V_2}{2}. \quad (3)$$

Определение скорости, при которой происходит полное извлечение пули из гильзы на заданном расстоянии, производилось при помощи измерительной системы (электронный хронограф). Прибор используется для измерения времени «пролёта» пули за фиксированное расстояние.

Заключение

Таким образом, описанная выше методика проведения эксперимента и представленное измерительное оборудование позволили определить значения скоростей при извлечении пули из гильзы. Основываясь на этой информации, при таких значениях скоростей были рассчитаны значения извлекающего усилия.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что в результате применения предложенного способа демонтажа патронов их элементы снаряжения получают незначительные деформации, устранение которых происходит после небольшой калибровки соответствующих участков их поверхности. После химической обработки они могут быть использованы в производстве изготовления патронов вторично.

Список литературы

1. Гладков Д.Н., Балуев В.М., Семенцов П.А. *Авиационное вооружение*. – М.: Воениздат, 1987. – 279 с.
2. Дорофеев А.Н., Морозов А.П., Саркисян Р.С. *Авиационные боеприпасы*. – М.: ВВИА, 1978. – 446 с.
3. Агокас Е.В. *Основы вооружения самолетов*. - М.: Оборонгиз, 1946. – 230 с.
4. Хогг Ян. *Боеприпасы: патроны, гранаты, артиллерийские снаряды, минометные мины: Пер. с англ.* – М.: Эксмо, 2001. – 144 с.
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. Малов А.Н. *Производство патронов стрелкового оружия*. – М.: Оборонгиз, 1947. – 416 с.
7. *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.
8. Алферов В.В. *Конструкция и расчет автоматического оружия*. – М.: Машиностроение, 1977. – 248 с.

Інтелектуальна підтримка прийняття рішень при виборі ріжучого інструменту

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Вступ

У підвищенні ступеня інтелектуалізації систем технологічної підготовки виробництва (ТПВ) важливе значення має використання досягнень штучного інтелекту. Інтелектуалізація заснована на використанні баз знань та інтелектуальній підтримці процесів прийняття рішень [1,2,3], уніфікації й формалізації процедур обробки знань, розробці й використанні інтелектуальних моделей прийняття рішень [2], організації безперервного накопичення знань. Нарощування ступеня автоматизації проектування досягається в результаті роботи із базою технологічних знань (БТЗ). Причиною використання експертних систем (ЕС) є низька ефективність традиційних методів автоматизації проектування, заснованих на застосуванні чітких математичних моделей при рішенні завдань концептуального проектування технологічних систем.

Ціль статті

При використанні продукційної моделі база конструкторсько-технологічних знань складається із множини конструкторсько-технологічних правил $\{RT\}$. У даній статті розглядається вибір ріжучого інструменту із використанням нечітких експертних правил, що дозволить розширити область пошуку прийнятних рішень, використовувати досвід технологів-експертів підприємства.

Вибір ріжучого інструменту з використанням нечітких експертних правил

У даній статті прийняття технічних рішень пропонується реалізувати за допомогою 2-х груп правил (нечітких і чітких експертних правил RT_1, RT_2, \dots, RT_n), формалізованих моделей основних методів проектування технологічних процесів у приладобудуванні, які утворюють банк технологічних даних і знань, працюють у комплексі із процедурами проектування в умовах реального виробництва. За допомогою чітких експертних правил проводиться вибір процедур розрахунку траєкторії переміщення ріжучого інструменту, процедур розрахунку геометрії ріжучої частини інструмента, процедур розрахунку режимів різання. Нечіткі експертні правила застосовуються для вибору ріжучого інструменту, вибору заготовки, вибору методів обробки поверхні [1]. Для подання правил скористаємося сутностями правило, посилка правила й наслідок правила [4]. Розглянемо, як формулюється просте нечітке експертне правило.

Нехай процес проектування, що моделюється, визначається сукупністю нечітких множин $X(U)=\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ і сукупністю нечітких множин $P(V)=\{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, при цьому

$$X_i = \{(x, \mu_{xi}(X))\}; Y_i = \{(y, \mu_{yi}(y))\},$$

де U і V – кінцеві вхідний і вихідний простори об'єкта моделювання.

Тоді просте нечітке експертне правило RT_i представляє собою твердження виду:

Якщо $X_i R \dots R X_k$ то $Y_i \dots R Y_s$,
де $Y = \{Y_j, \mu(Y_j)\}$ - нечітка множина можливих технологічних рішень (одне або декілька), $\mu(Y_j)$ – функція приналежності для j рішення, що приймає значення в деякій упорядкованій множині (на проміжку $[0,1]$). Y_i, \dots, Y_s - наслідки правила, X_i, \dots, X_k - посилки правила.

Якщо $RT = \{rt_i\}$ - система технологічних експертних правил, X, Y - множина вхідних і вихідних параметрів, ті справедливе висловлення:

$$X \xRightarrow{R} Y .$$

Вхідними даними є дані про деталь, вихідними даними є дані про технологічний процес виготовлення деталі.

Розглянемо приклад реалізації окремого комплексу функціональних задач для такої масштабної системи, на прикладі завдання вибору ріжучого інструменту (PI) з урахуванням вектора обмежень і значень функції приналежності.

Алгоритм вибору ріжучого інструменту

Вибір здійснюється з урахуванням вектора обмежень і значень функції приналежності за допомогою нечітких експертних правил у такий спосіб:

1. Вибір підкласу PI (залежно від переходу).
2. Вибір групи PI (залежно від підкласу).
3. Вибір підгрупи PI (залежно від групи).
4. Вибір виду PI (залежно від підгрупи).
5. Вибір ріжучого інструменту, доступного на підприємстві.

Вибір ріжучого інструменту здійснюється для конкретного переходу, тобто передбачається, що відомо код ключового слова для переходу (значення поля keyword таблиці regeh). Схема даних, що використовуються при виборі ріжучого інструменту, наведена на рис.1.

Дані про ріжучий інструмент підприємства зберігаються у двох типах таблиць:

1. Перший вид таблиць - таблиці із загальними даними про ріжучий інструмент. У цих таблицях зберігаються такі дані, як найменування ріжучого інструменту, держстандарт, марка матеріалу й ім'я файлу креслення.

2. Другий вид таблиць – таблиці з даними про конкретний ріжучий інструмент. Ці таблиці пов'язані з першим типом таблиць відношенням «багато до одного», тобто одному запису з таблиць першого типу може відповідати кілька записів з таблиць другого типу. Фактично це означає, що інструменту з одним найменуванням, маркою матеріалу, ДСТУ і файлом креслення може відповідати кілька ріжучих інструментів з різними параметрами (наприклад, геометричними розмірами). Для кожного доступного на підприємстві PI задане значення змінної Z (типу Boolean), що приймає значення 0 або 1 і означає наявність виробничих обмежень на використання даного PI в даний момент (1, якщо PI можна використовувати в цей момент, та 0 у протилежному випадку).

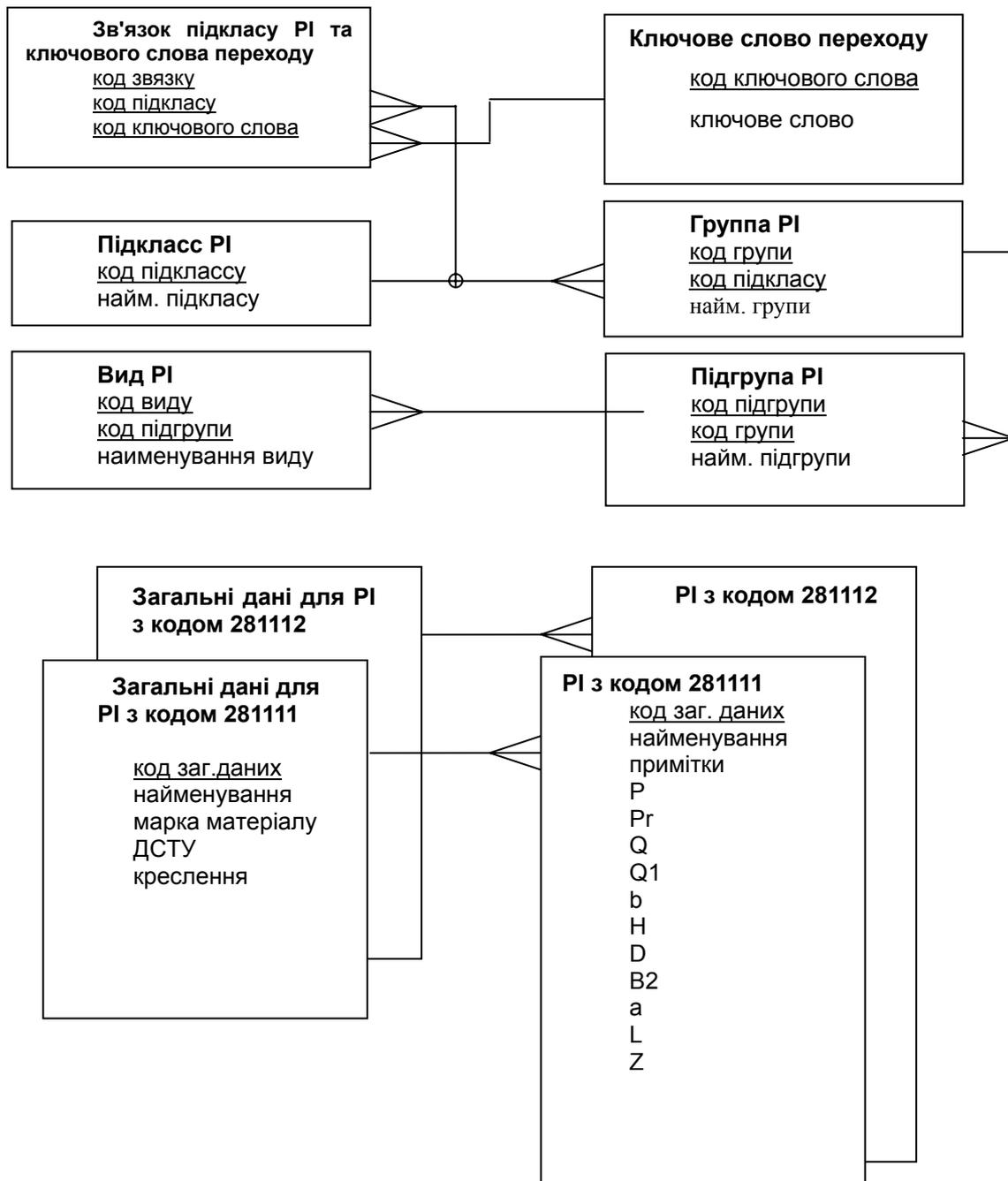


Рис.1. Схема даних, що використовуються при виборі ріжучого інструменту

Поділ таблиць на два види обумовлений тим, що на підприємстві можуть бути сотні й тисячі інструментів з однаковими загальними даними, але різними значеннями параметрів. Тому такий поділ виключає багаторазове дублювання загальних даних про інструмент і, відповідно, скорочує розмір бази даних [5]. Зв'язок між двома видами таблиць у загальному випадку представлена на рис.2.

При роботі в автоматичному режимі система сама робить вибір виду РІ за допомогою експертних правил за значенням функції приналежності (вибираючи 3 варіанти з найбільшим значенням μ і $Z \ll 0$) на кожному етапі, виводить на екран пропонувані види РІ для даного переходу з відповідними значеннями функції приналежності, переносить дані про обраний ріжучий інструмент у базу даних робочого техпроцесу. Вибір виробляється за допомогою нечітких експертних правил.

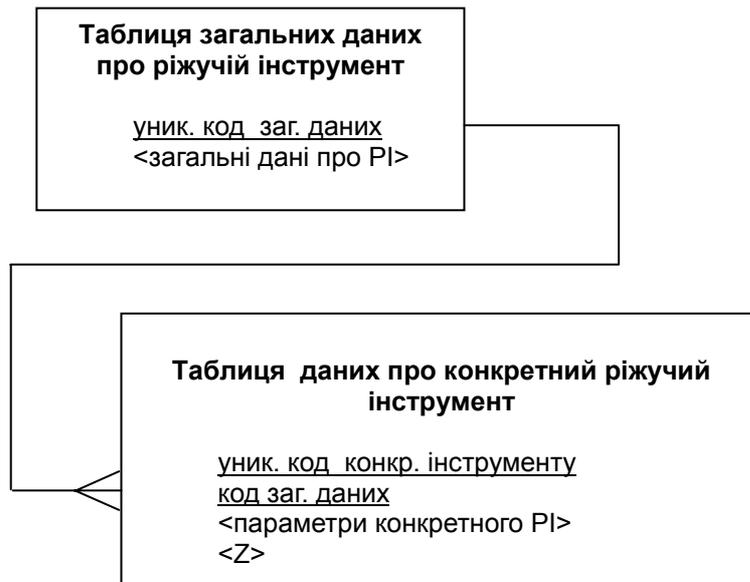


Рис.2. Схема зв'язків між таблицями даних про PI

Нечіткі експертні правила для вибору PI

Просте нечітке експертне правило вибору ріжучого інструменту представляє собою твердження виду:

$\forall q(i) (\exists sq(ij) R \exists sq(ik) \dots) R \forall q(l) (\exists sq(ls) R \exists sq(ln) \dots) \Rightarrow \forall STR(i) \exists STR(im)$,

де $STR = \{STR(j), \mu\}$ - нечітка безліч можливих технологічних рішень вибору PI, $\mu(STR(j))$ - функція приналежності для j рішення, що приймає значення на проміжку $[0,1]$.

Вибір здійснюється з урахуванням вектора обмежень і значень функції приналежності за допомогою нечітких експертних правил згідно алгоритму, наведеному вище.

Вибір ріжучого інструменту здійснюється для конкретного переходу, тобто передбачається, що відомо код ключового слова для переходу (наприклад, ключовому слову «шліфувати» відповідає код 33 – відповідно до додатку 3 з держстандарт 3.1702-79) (значення поля **kodkeyword** таблиці **pereh**). Приклад правила вибору підкласу ріжучого інструменту залежно від переходу:

Правило RT12.

Якщо:

<код переходу>< **kodkeyword** > **mo:**

<підклас ріжучого інструменту>{різці/ $\mu=0,72$; (фрези, свердла, зенкери, зенковки й розгортки) / $\mu=0,02$;(зубонарізний, різьбонарізний (крім різців та фрез) і протяжний) / $\mu=0,12$;(шліфувальні, правлячі, доводочні, полірувальні, ручний, комплекти) / $\mu=0,12$ }.

Для початку розглянемо, як проводиться вибір ріжучого інструменту в діалоговому режимі для виконання відрізної операції. Система за допомогою запитів звертається до відповідних таблиць бази даних і виводить всі дані, що задовольняють умовам запиту, на екран з урахуванням значень **Z**. Технолог з урахуванням конструктивних особливостей деталі приладу, вимог до параметрів оброблюваної поверхні робить поетапно вибір PI.

Уведемо наступні пояснення:

вибір PI починається з вибору підкласу PI, наприклад:
 281000 - різці;
 282000 - Фрези, свердла, зенкери, зенковки, розгортки.
 Кожному підкласу PI відповідає заданий набір груп PI, наприклад підкласу 281000 «різці» відповідають наступні групи PI:
 281100 - прохідні підрізні;
 281200 - відрізні, прорізні, канавкові, профільні й т.д.
 Кожній групі PI відповідає набір підгруп PI, наприклад групі 281100 «різці прохідні, підрізні» відповідають наступні підгрупи:
 281110 прохідні прямі прямокутного перетину;
 281120 прохідні прямі круглого перетину і т.д.
 Кожній підгрупі PI відповідає набір видів PI, наприклад підгрупі 281110 «різці прохідні прямі прямокутного перетину» відповідають наступні види PI:
 281111 з напаяною ріжучою частиною;
 281112 з механічно закріпленою пластиною й т.д.
 Вибір ріжучого інструменту здійснюється для конкретного переходу, тобто передбачається, що відомо код ключового слова для переходу. Користувач вибирає перехід, для якого він хоче вибрати PI (позначивши відповідний прапорець) і натискає кнопку «PI»:

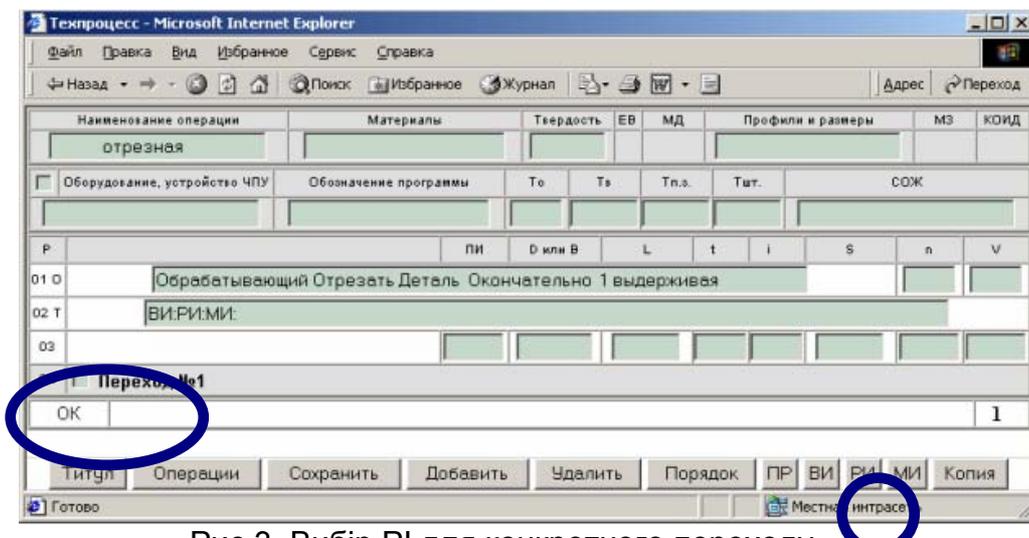


Рис.3. Вибір PI для конкретного переходу.

1. Залежно від ключового слова система вибирає відповідний підклас (або підкласи) PI з таблиці зв'язків підкласів і ключових слів переходу **subclasses_keyword**; відповідні найменування підкласів (**naimsubclass**) вибираються з таблиці підкласів **subclasses**. Якщо підкласів декілька, то система видає їхні найменування на екран і технолог повинен вибрати відповідний підклас – у результаті система одержує код обраного підкласу ріжучого інструменту (значення поля **kodsubclass**). Якщо підклас один, то система відразу переходить до кроку 2. Список для вибору підкласів виводиться наступним SQL-запитом:

SELECT kodsubclass, naimsubclass, (subclass FROM subclasses WHERE kodsubclass IN (SELECT kodsubclasssk FROM subclasses_keyword WHERE kodkeywordsk=<код ключового слова переходу>)

2. По коду підкласу система вибирає з таблиці груп всі групи з кодом підкласу, обраного на кроці 1. Якщо група всього одна, то відразу здійснюється

перехід на крок 3. Якщо груп декілька, то вони виводяться на екран і технолог вибирає потрібну групу. Список груп PI виводиться наступним SQL-запитом:

SELECT unikkodgroup, naimgroup FROM groups WHERE kodsubclasssg=<обраний на кроці 1 код підкласу PI>

У результаті вибору система одержує код обраної групи PI (**unikkodgroup**).

3. По коду групи система вибирає з таблиці підгруп PI всі записи з кодом групи, отриманим на кроці 2. Якщо підгрупа всього одна, то відразу здійснюється перехід на крок 4. Якщо підгруп декілька, то вони виводяться на екран зі значеннями **Z** і технолог вибирає потрібну підгрупу.

Список підгруп виводиться наступним запитом:

SELECT unikkodsubgroup, naimsubgroup FROM subgroups WHERE kodgroupsg=<обраний на кроці 2 код групи PI>

У результаті вибору система одержує код підгрупи PI (**unikkodsubgroup**).

4. По коду підгрупи система вибирає з таблиці видів всі записи з кодом підгрупи, отриманим на кроці 3. Якщо вид усього один, то список не виводиться й просто запам'ятовується код виду PI (**unikkodview**). Якщо видів декілька, то вони виводяться на екран зі значеннями **Z** і визначається необхідний вид. Запит на вивід видів PI має такий вигляд:

SELECT unikkodview, naimview, (view FROM views WHERE kodsubgroupv=<обраний на кроці 3 код підгрупи PI>

У результаті виконання кроків 1-4 система одержує код ріжучого інструменту:
28<код підкласу><код підгрупи><код групи><код виду>.

Висновки:

1. Використання нечітких експертних правил дозволило розширити область пошуку припустимих технічних рішень при виборі ріжучого інструменту, урахувати динаміку зміни техніко-економічних розумів виробничого середовища шляхом введення вектора виробничих обмежень, використовувати знання досвідчених експертів-технологів. У перспективі важливим є розробка методів практичного заповнення нечітких правил бази конструкторсько-технологічних знань для вибору ріжучого інструменту в умовах дрібносерійного виробництва деталей приладів.

2. Математичний апарат нечіткої логіки є одним з можливих шляхів формалізації завдань проектування ТП виробництва. Нечітка модель процесу проектування дозволяє зробити процес проектування більш гнучким, урахувати реальний стан виробничої бази на даний момент, широко використовувати виробничий досвід.

Список літератури:

1. Глоба Л.С., Лапа М.В. Технологии, методы и алгоритмы построения корпоративных систем конструкторско-технологической подготовки производства //Открытые информационные и компьютерные технологии: Сб. науч. тр. Вып. №10. - Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т.- 2001. - С.65-75.
2. Лапа М.В. Оптимизация и принятие решений при гибком проектировании технологических процессов. // Зб. наук. пр. науково-технічної конференції „Приладобудування 2004: стан і перспективи”.- Київ: НТУУ”КПІ”.-2004.-С.76.
3. Теория выбора и принятия решений: Учеб. пособие / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов.- М.: Наука, 1982.-328с.
4. Люгер Д. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: Пер. с англ.- М. :Издательский дом «Вильямс», 2003.-864 с.
5. Коннолли Т., Бегг К., Страчан А. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение: Пер. с англ.- М: Издательский дом «Вильямс», 2000.- 1120 с.

Метод многоуровневого изотопного кодирования изображений

Национальный авиационный университет,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

1. Введение

Основной функцией телекоммуникационных систем (ТС) является обеспечение доведение требуемых видов достоверной информации в заданные временные сроки. В тоже время резкий рост объемов видеоданных и требований к их достоверности с одной стороны и ограниченные пропускные способности каналов связей информационных систем с большим количеством транзитивных узлов с другой стороны приводят к увеличению времени доведения данных [1 - 3]. Анализ различных видов задержек, возникающих в ТС выявил, что их основное количество вызвано большими объемами передаваемых видеоданных. Для сокращения времени передачи данных в ТС используются различные методы сжатия видеоданных [1 - 3]. Основные недостатки существующих методов сжатия заключаются в том, что они в основном исключают психо-визуальную и статистическую избыточность, учитывают характеристики для локальных фрагментов изображений и требуют большое количество операций на обработку. Отсюда следует недостаточные степени сжатия изображений и большие задержки на этапе кодирования и декодирования. Следовательно, направление разработки методов сжатия, обладающих возможностью повысить степень компактного представления данных и снизить время на их обработку является актуальным.

2. Анализ известных методов

Одно из направлений устранения недостатков известных методов состоит в организации сжатия видеоданных на основе устранения структурной избыточности [4]. При этом выявление закономерностей должно проводиться по нескольким локальным фрагментам изображений, а обработку требуется проводить над целочисленными данными. Данным требованиям соответствуют методы полиадического кодирования. Однако, основной их недостаток связан с учетом закономерностей только для локальных фрагментов изображений.

Поэтому **цель статьи** состоит в разработке метода сжатия изображений на основе учета пространственных закономерностей в изображении.

3. Разработка дифференциального изотопного кодирования уровней всплесков видеоданных

Для снижения количества разрядов, затрачиваемых на представление кодов-номеров дифференциальных полиадических чисел и на представление служебной информации обработка должна состоять из следующих основных этапов.

На первом этапе определяется полигон оснований двумерного полиадического числа $\Psi_{\xi\eta}$, для каждого $(\xi;\eta)$ -го массива изображения

$$\Psi_{\xi\eta} = \{\psi_{ij\xi\eta}\}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n},$$

где ξ - индекс массива изображения по горизонтали, принимающий значения от 1 до $\frac{Z_{стр}}{m}$;

η - индекс массива изображения по вертикали, принимающий значения от 1 до $\frac{Z_{стб}}{n}$;

$\psi_{ij\xi\eta}$ - основание ij - го элемента изображения, принадлежащего $(\xi;\eta)$ -му массиву;

$$\psi_{ij\xi\eta} = \min(\lambda_{i\xi\eta}, \chi_{j\xi\eta}); \quad \lambda_{i\xi\eta} = \max_{1 \leq j \leq n} \{a_{ij\xi\eta}\} + 1; \quad \chi_{j\xi\eta} = \max_{1 \leq i \leq m} \{a_{ij\xi\eta}\} + 1; \quad (1)$$

$\lambda_{i\xi\eta}, \chi_{j\xi\eta}$ - соответственно максимальное значение в i -й строке и j -м столбце $(\xi;\eta)$ -го массива изображения;

$a_{ij\xi\eta}$ - ij - й элемент изображения, принадлежащий $(\xi;\eta)$ -му массиву;

$Z_{стр}; Z_{стб}$ - соответственно количество строк и столбцов в изображении.

Система выражений (11) вычисляется для каждого массива изображения, количество v которых равно

$$v = \frac{Z_{стр} \times Z_{стб}}{m n}$$

На втором этапе на основе полученных полигонов оснований строятся изофотные уровни для всего изображения. Для этого вычисляются верхние и нижние уровни каждого полигона оснований

$$\psi(\max)_{\xi\eta} = \max_{1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n} (\psi_{ij\xi\eta}); \quad \psi(\min)_{\xi\eta} = \min_{1 \leq i \leq m; 1 \leq j \leq n} (\psi_{ij\xi\eta}); \quad (2)$$

$$\xi = \overline{1, Z_{стр}/m}; \quad \eta = \overline{1, Z_{стб}/n}$$

Информация о значениях $\psi(\max)_{\xi\eta}$ и $\psi(\min)_{\xi\eta}$ используется для определения пороговых уровней h_u изотопных линий рельефа изображения. Значения величин h_u принимают значения в интервале от 0 до $\psi(\max)$:

$$\psi(\max) = \max_{\substack{1 \leq \xi \leq 1, Z_{стр}/m \\ 1 \leq \eta \leq 1, Z_{стб}/n}} (\psi(\max)_{\xi\eta}). \quad (3)$$

Величины h_u находятся по следующей схеме:

Шаг 1. Максимальное значение порогового уровня вычисляется по формуле (2).

Шаг 2. Последующие значения пороговых уровней h_u вычисляются путем выбора максимального значения из всех оставшихся величин $\psi(\max)_{\xi\eta}$ и $\psi(\min)_{\xi\eta}$.

После обработки $2v$ величин $\psi(\max)_{\xi\eta}$ и $\psi(\min)_{\xi\eta}$ процесс разбиения рельефа изображения на изотопные уровни завершается. Сформированный

из величин h_u монотонно-убывающий ряд используется как значения верхних и нижних оснований изотопных структур.

Третий этап связан с проведением дифференциального полиадического кодирования элементов изображений, принадлежащих различным изофотным уровням. Кодирование проводится, начиная с верхнего изофотного уровня $u=\max$ и заканчивается нижним $u=1$. Для верхнего изофотного уровня код-номер формируется для элементов $a_{ij\xi\eta}$ удовлетворяющих неравенству

$$- \text{ если } h_{\max} \leq \psi_{ij\xi\eta} \leq h_{\max-1}, \text{ то } a_{ij\xi\eta} \in \Omega_{\max}, \text{ где } h_{\max-1} \leq h_{\max}. \quad (4)$$

Для u -го уровня обрабатывается множество Ω_u элементов удовлетворяющих неравенству

$$- \text{ если } h_u \leq \psi_{ij\xi\eta} \leq h_{u-1}, \text{ то } a_{ij\xi\eta} \in \Omega_u, \text{ где } h_{u-1} \leq h_u \quad (5)$$

После определение элементов изображений $a_{ij\xi\eta}$, принадлежащих заданному изофотному уровню осуществляется понижение их динамического диапазона на величину равную нижнему основанию верхнего порогового уровня обрабатываемой изотопной структуры. Например для верхнего и u -го изофотных уровней понижение динамического диапазона задается выражениями:

$$q_{\max,\beta} = a_{ij\xi\eta} - h_{\max-1}; \quad d_{\max,\beta} = \psi_{ij\xi\eta} - h_{\max-1} \quad (6)$$

$$q_{u,\beta} = a_{ij\xi\eta} - h_{u-1}; \quad d_{u,\beta} = \psi_{ij\xi\eta} - h_{u-1}, \quad (7)$$

где $q_{\max,\beta}$, $q_{u,\beta}$ - соответственно β -й элемент дифференциального полиадического числа, принадлежащего максимальному и u -му уровням изофотной структуры изображения;

$d_{\max,\beta}$, $d_{u,\beta}$ - основание β -го элемента дифференциального полиадического числа, принадлежащего максимальному и u -му уровням изофотной структуры изображения.

Выражения (6) и (7) переводят элементы изображений из абсолютного в дифференциальное полиадическое пространство. При этом верхним и нижним уровнем дифференциального полиадического пространства выступают соответственно верхнее и нижнее основания соответствующего изофотного уровня.

Для избежания переполнения машинного слова и обеспечения присвоения кода-номера для как можно большего количества элементов дифференциального полиадического числа необходимо организовать процесс его формирования для произвольного количества высот рельефа (от одной высоты до сразу всех высот изображения). При этом требуется для единой системы оснований дифференциального полиадического числа и заданного направления обхода элементов изофотных уровней (в направлении строк или в направлении столбцов) проводить рекуррентную обработку. В этом случае элементы, принадлежащие одному дифференциальному полиадическому числу, могут находиться в разных блоках изображения. Поэтому для организации формирования кода-номера отобраным элементам изображения необходимо ввести единую индексацию в пределах обрабатываемой последовательности. Введем переменные β_ℓ и μ_ℓ - соответственно текущее и максимальное количество элементов в ℓ -ом дифференциальном полиадическом числе. С учетом введенных обозначений, а также с учетом изофотной обработки переиндексация формулируется в виде тождества

$$q_{u,\beta_\ell} = q_{u,\beta}, \quad 1 \leq \beta_\ell \leq \eta_\ell, \quad (8)$$

где q_{u,β_ℓ} - β -й элемент ℓ -го дифференциального полиадического числа, принадлежащего u -му изофотному уровню изображения.

Определение индексов дифференциального полиадического числа через индексы элементов исходного изображения зависит от направления обработки. В качестве направления обработки предлагается выбрать по-столбцовое направление. Для такого варианта переход на обработку элементов соседней строки проводится только после завершения просмотра всех элементов в текущем столбце.

Рекуррентная схема формирования кода-номера для дифференциального полиадического числа, элементы которого могут находиться в различных частях изображения, с учетом ограничений на изофотные уровни задается следующими выражениями.

Код-номер $N(1)_{u\ell}$ для первого элемента ℓ -го дифференциального полиадического числа, принадлежащего u -му изофотному уровню изображения, равен

$$N(\beta)_{u\ell} = q_{u,1\ell}. \quad (9)$$

Значения кода-номера $N(\beta)_{u\ell}$ для ℓ -го дифференциального полиадического числа длиной β элементов находится по рекуррентному выражению на основе кода-номера $N(\beta-1)_{u\ell}$ для дифференциального полиадического числа длиной $(\beta-1)$ элементов и значения добавляемого элемента q_{u,β_ℓ} :

$$N(\beta)_{u\ell} = N(\beta-1)_{u\ell} d_{u,\beta_\ell} + q_{u,\beta_\ell}, \quad (10)$$

Выражение (10) позволяет вычислить код-номер для дифференциального полиадического числа, состоящего из произвольного количества элементов заданного изофотного уровня. Схема нумерации дифференциальных полиадических чисел, принадлежащих различным изофотным уровням изображения, приведена на рис. 1.

Выборка очередного элемента изображения $a_{ij\xi\eta}$ для формирования кода-номера дифференциальному полиадическому числу из β элементов проводится по выражению

$$\beta_\ell = m Z_{\text{стр}} (\eta-1) + m n (\xi-1) + m (j-1) + i - \sum_{\varsigma=1}^{\ell-1} \mu_\varsigma, \quad (11)$$

где $\sum_{\varsigma=1}^{\ell-1} \mu_\varsigma$ - сумма элементов во всех предыдущих дифференциальных полиадических числах;

$m Z_{\text{стр}} (\eta-1)$ - полное количество блоков изображения, предшествующих обрабатываемому $\xi\eta$ -му блоку (рис. 2);

$m n (\xi-1)$ - количество блоков изображения в η -м столбце;

$m (j-1)$ - количество столбцов в $\xi\eta$ -м блоке изображения, предшествующих

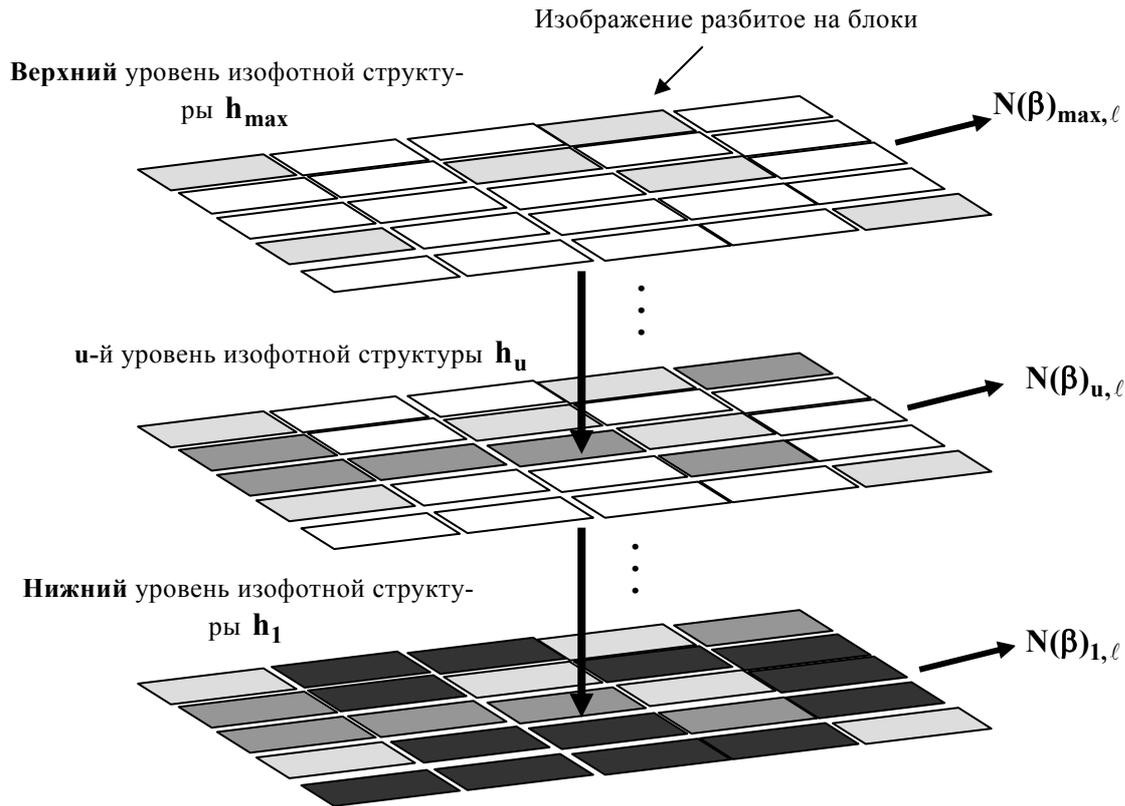


Рис. 1. Схема формирования кодов-номеров для разных изофотных уровней:

- элементы изображений, принадлежащие верхнему изофотному уровню Ω_{\max}
- элементы изображений, принадлежащие u -му изофотному уровню Ω_u
- элементы изображений, принадлежащие нижнему изофотному уровню Ω_1

j -му столбцу; i - количество элементов в j -м столбце, предшествующих ij -му элементу изображения;

Поскольку на очередном шаге рекуррентной обработки за счет добавления очередной высоты рельефа значение кода-номера увеличивается, то может произойти переполнение машинного слова. Поэтому условием выполнения очередного β -го шага вычисления кода-номера является выполнение неравенства

$$V(\beta)_{u\ell} \leq 2^M, \quad (12)$$

где M - длина машинного слова;

$$V(\beta)_{u\ell} = \prod_{\zeta=1}^{\beta} d_{u, \zeta \ell}. \quad (13)$$

Правило (12) получено на основе того, что выполняется неравенство

$$V(\beta)_{u\ell} > N(\beta)_{u\ell}.$$

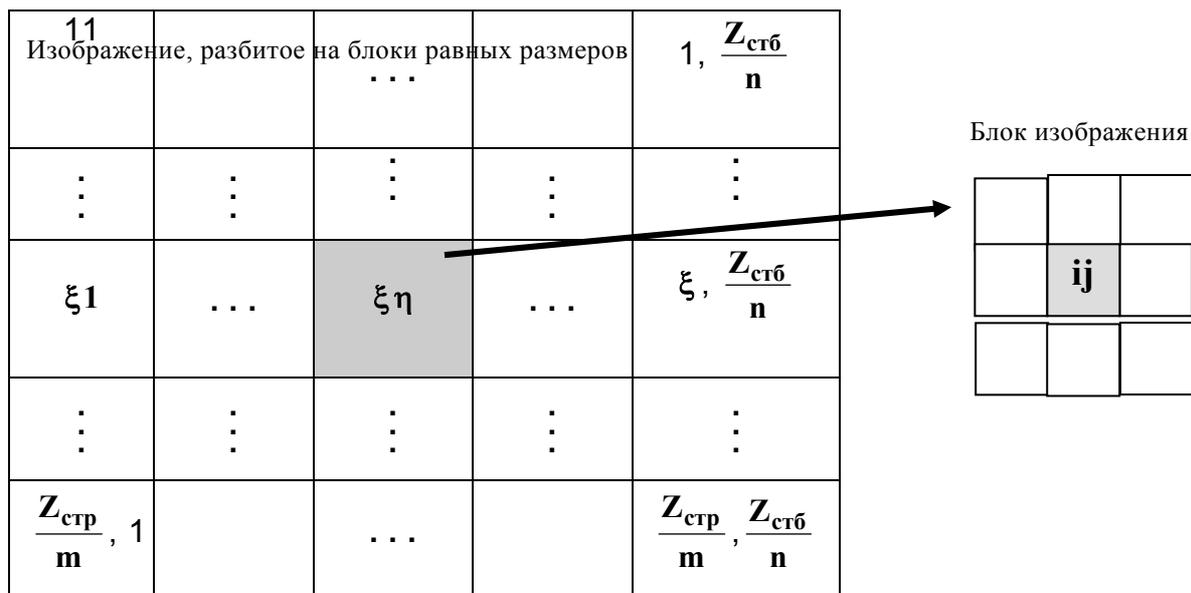


Рис. 2. Схема пересчета блочных координат элементов изображений в линейные координаты элементов дифференциальных полиадических чисел

Тогда из выполнения неравенства (22) следует, что значение пирамидального кода на β -м шаге не превысит длины машинного слова, т.е.

$$N(\beta)_{u\ell} \leq 2^M.$$

В виду того, что для проверки условия (12) используются основания d_{u,β_ℓ} , то при восстановлении исходных высот рельефа по коду-номеру отдельных изофотных уровней дополнительной информации не требуется.

Завершение процесса формирования кода-номера для текущего изофотного уровня осуществляется после обработки всех элементов изображений, из которых он состоит.

Определение кодов-номеров для очередных изофотных уровней изображения организуется по аналогии с выражениями (1) - (11). Граф-схема метода дифференциального полиадического кодирования изофотных уровней изображений приведена на рис. 3.

По окончании обработки текущего блока изображения рекуррентное формирование изофотного кода не завершается, так как осуществляется переход на обработку элементов текущего изофотного уровня, расположенных в очередном блоке изображения. При этом, если выполняются условия $V(\beta)_{u\ell} \leq 2^M$ и $V(\beta)_{u\ell} \times V(\beta)_{u+1,\ell} \leq 2^M$, то изофотный код формируется для двух кодов двух изофотных уровней

$$N(\beta)_{u,u+1}^{(2)} = N(\beta)_{u\ell} \times V(\beta)_{u+1,\ell} + N(\beta)_{u+1,\ell}, \quad (14)$$

где $N(\beta)_{u,u+1}^{(2)}$ - изофотный код, полученный для двух кодов двух изофотных уровней;

$N(\beta)_{u\ell}, N(\beta)_{u+1,\ell}$ - изофотные коды соответственно для u -го и $(u + 1)$ -го изофотных уровней.

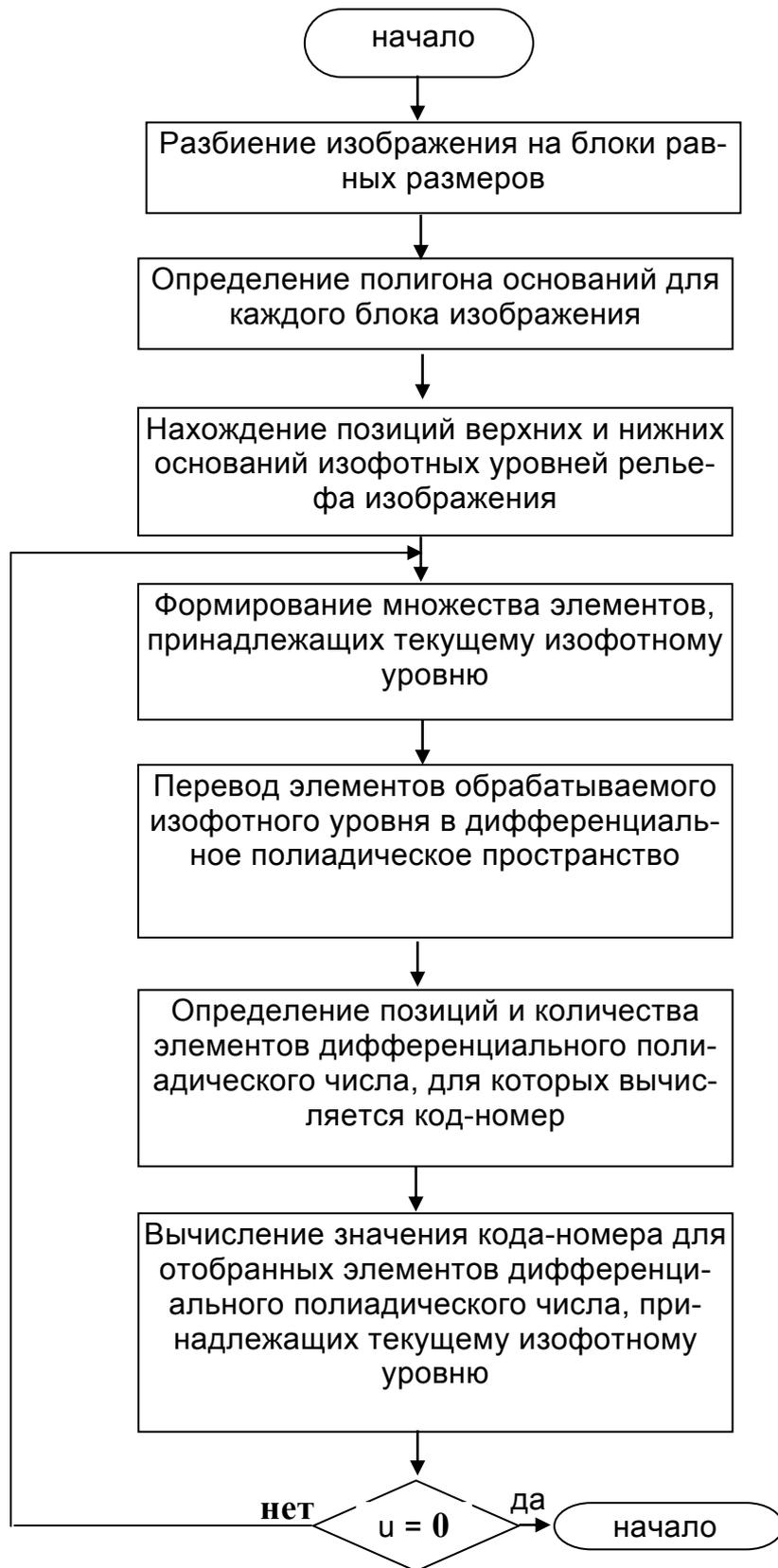


Рис. 3. Граф-схема дифференциального полиадического кодирования изофотных уровней изображения

В общем случае, если выполняется условие

$$\prod_{u=1}^U V(\beta)_{u\ell} \leq 2^M,$$

то пирамидальный код $N(\beta)^{(U)}$ образуется для U изофотных уровней изображения:

$$N(\beta)^{(U)} = N(\beta)^{(U-1)} \times V(\beta)^{(U)} + N(\beta)^{(U)} \quad (16)$$

или

$$N(\beta)^{(U)} = \sum_{u=1}^U N(\beta)_{u\ell} \times \prod_{\varsigma=u+1}^U N(\beta)_{\varsigma\ell}. \quad (17)$$

Из анализа выражений (16) и (17) следует, что можно организовать параллельное и конвейерное нахождение смежных изофотных кодов. Для этого представим формулы (16) и (17) в виде

$$\begin{aligned} N(\beta)^{(U)} = & \left(N(\beta)_{1,\ell} \times V(\beta)_{2,\ell} + N(\beta)_{2,\ell} \right) \times \prod_{\varsigma=3}^U V(\beta)_{\varsigma\ell} + \\ & + \left(N(\beta)_{3,\ell} \times V(\beta)_{4,\ell} + N(\beta)_{4,\ell} \right) \times \prod_{\varsigma=5}^U V(\beta)_{\varsigma\ell} + \\ & + \dots + \left(N(\beta)_{U-1,\ell} \times V(\beta)_{U\ell} + N(\beta)_{U\ell} \right). \end{aligned} \quad (18)$$

Обозначим в формуле (18) выражения, стоящие в скобках соответственно как отдельные разряды изофотного кода $N(\beta)_{1,2}$, $N(\beta)_{3,4}$, ..., $N(\beta)_{U-1,U}$. Тогда схема параллельного (конвейерного) вычисления изофотных кодов выглядит следующим образом:

1. Для всех U изофотных уровней вычисляются накопленные произведения $V(\beta)_{u,\ell}$ оснований ψ_{ij} и значение изофотного кода (нижний слой) $N(\beta)_{u,\ell}$ (выражение (13)).

2. Определяются значения всех разрядов $N(\beta)_{u-1,u}$ изофотного кода (второй слой).

3. После образования второго слоя выражение (18) примет вид

$$\begin{aligned} N(\beta)^{(U)} = & \left(N(\beta)_{1,2} \times \prod_{\varsigma=3}^4 V(\beta)_{\varsigma,\ell} + N(\beta)_{3,4} \right) \times \prod_{\varsigma=5}^U N(\beta)_{\varsigma,\ell} + \\ & + \left(N(\beta)_{5,6} \times \prod_{\varsigma=7}^8 V(\beta)_{\varsigma,\ell} + N(\beta)_{7,8} \right) \times \prod_{\varsigma=9}^U N(\beta)_{\varsigma,\ell} + \dots + N(\beta)_{U-1,U}. \end{aligned}$$

На этом этапе выражения в скобках рассматриваются как разряды изофотного кода для третьего слоя рельефа изображения.

4. В общем случае, если U кратное степени 2 , то для полного формирования межизофотного кода потребуется $\log_2 U$ итераций. Под итерацией по-

нимается вычисление разрядов межизотопного кода для текущего слоя рельефа.

Таким образом, разработан метод изотопного дифференциального полиадического кодирования. Данный метод позволяет заменить рельеф изображения набором кодов изотопных структур. При этом предложенная схема формирования межизотопных кодов позволяет организовывать параллельную и конвейерную обработку.

Выводы

1. Разработано дифференциальное полиадическое кодирование изотопных уровней рельефа изображения. Данное кодирование основано на:

- нахождении верхних и нижних изотопных уровней рельефа изображений на основе максимальных и минимальных значений по всем блокам изображения;

- переводе элементов изображений каждого изотопного уровня в дифференциальное полиадическое пространство за счет уменьшения их динамического диапазона на значение нижней изолинии;

- осуществлении дифференциального полиадического кодирования для каждого изотопного уровня, элементы которого расположены в разных частях изображения.

Дополнительное сжатие изображений достигается за счет снижения динамического диапазона элементов в каждом изотопном уровне и уменьшения количества допустимых комбинаций в результате дополнительных ограничений на их элементы. Кроме того, разработанное кодирование обеспечивает увеличение степени сжатия относительного по-блокового дифференциального кодирования за счет снижения количества разрядов, затрачиваемых на представления информации о минимальных динамических уровнях каждого блока изображения.

2. Разработано межизотопное кодирование изображений, основанное на формировании кода-номера для нескольких изотопных уровней. Это обеспечивает дополнительное повышение степени сжатия за счет увеличения количества элементов изображения, для которых вычисляется один код. Для сокращения времени обработки разработана параллельная и конвейерная схемы проведения межизотопного кодирования.

Список литературы

1. Зубарев Ю.В., Дворкович В.П. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. □ М.: Международный центр научной и технической информации, 1997. □ 212 с.
2. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Бондарев В.Н, Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. □ Харьков: Конус, 2001. □ 398 с.
4. Королев А.В., Баранник В.В. Метод сокращения избыточности изображений // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №2. – С. 85- 88.

Использование адаптивных моделей экспоненциального сглаживания в задачах прогнозирования экономических показателей предприятий

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

Актуальность. При использовании традиционных подходов и методов для прогнозирования важнейших экономических показателей на макро-, мезо- и микроуровнях часто выдвигается гипотеза о том, что основные тенденции и факторы, выявленные на предыстории, сохранятся и для периода упреждения (на прогнозируемом периоде). Таким образом, процесс экстраполяции выявленных закономерностей, тенденций базируется на предположении об инерционности анализируемых экономических систем.

Постановка задачи. В последнее время в процессе коренных социально-экономических преобразований подвижность этих систем возрастает. Наблюдаются существенные изменения в развитии промышленного комплекса, возрастает быстрота реакции на конъюнктуру внешнего и внутреннего рынков, на правительственные решения, на новые социально-экономические условия.

Очевидны структурные сдвиги по многим важнейшим показателям экономического развития. Даже наиболее инерционные макроэкономические характеристики становятся более подвижными. В связи с этим для прогнозирования таких сложных процессов требуется гибкий и современный статистический инструментарий.

Обзор литературы. В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений исследования и прогнозирования одномерных временных рядов считаются адаптивные методы [1].

Применительно к прогнозированию процесс адаптации состоит в следующем.

При обработке временных рядов, как правило, наиболее ценной бывает информация последнего периода, так как необходимо знать, как будет развиваться тенденция, существующая в данный момент, а не тенденция, сложившаяся в среднем на всем рассматриваемом периоде. Адаптивные методы позволяют учесть различную информационную ценность уровней временного ряда, степень «устаревания» данных.

Прогнозирование методом экстраполяции на основе кривых роста в какой-то мере тоже содержит элемент адаптации с получением «свежих» фактических данных: параметры кривых пересчитываются заново. Поступление новых данных может привести и к замене выбранной ранее кривой на другую модель. Однако степень адаптации в данном случае весьма незначительна, кроме того, она падает с ростом длины временного ряда, так как при этом уменьшается весомость каждой новой точки. В адаптивных методах различную ценность уровней, в зависимости от их возраста, можно учесть с помощью системы весов, придаваемых этим уровням.

Важнейшее достоинство адаптивных методов – построение самокорректирующихся моделей, способных учитывать результат прогноза, сделанного на предыдущем шаге. Пусть модель находится в некотором

состоянии, для которого определены текущие значения ее коэффициентов. На основе этой модели делается прогноз. При поступлении фактического значения оценивается ошибка прогнозного значения (разница между этим значением и полученным по модели). Ошибка прогнозирования через обратную связь поступает в модель и учитывается в ней в соответствии с принятой процедурой перехода из одного состояния в другое. В результате вырабатываются компенсирующие изменения, состоящие в корректировании параметров в целях большего согласования поведения модели с динамикой ряда. Затем рассчитывается прогнозная оценка на следующий момент времени, и весь процесс повторяется вновь.

Таким образом, адаптация осуществляется итеративно с получением каждой новой фактической точки ряда. Модель постоянно «впитывает» новую информацию, приспосабливается к ней и поэтому отражает тенденцию развития, существующую в данный момент. На рис. 1 приведена общая схема построения адаптивных моделей прогнозирования.

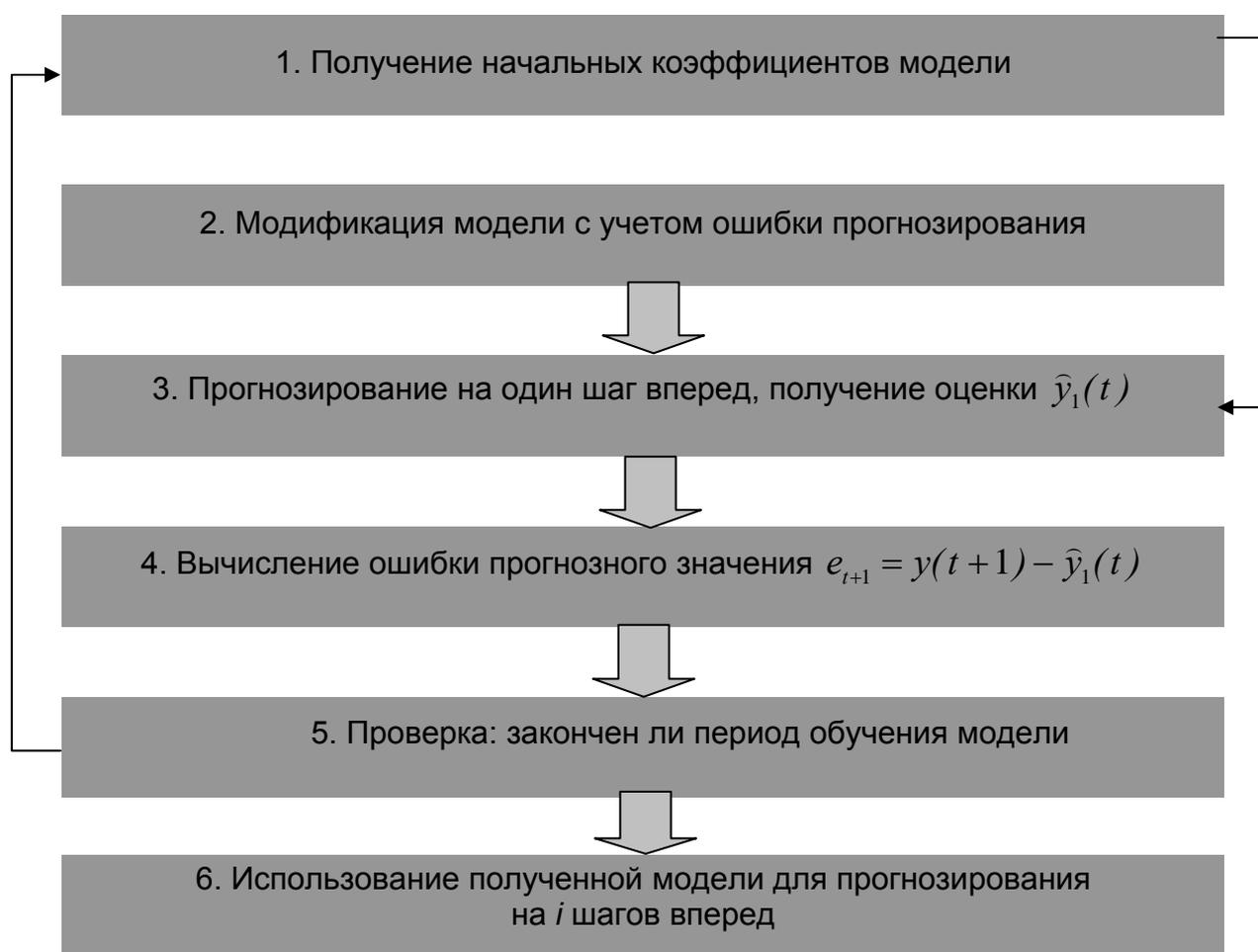


Рис. 1. Схема построения адаптивных моделей прогнозирования

Быстроту реакции модели на изменения в динамике процесса характеризует так называемый параметр адаптации. Параметр адаптации должен быть выбран таким образом, чтобы обеспечивалось адекватное отображение тенденции при одновременной фильтрации случайных отклонений. Значение

параметра адаптации может быть определено на основе эмпирических данных, выведено аналитическим способом или получено на основе метода проб [2].

В качестве критерия оптимальности при выборе параметра адаптации обычно принимают критерий минимума среднего квадрата ошибок прогнозирования.

Таким образом, адаптивными называют методы прогнозирования, позволяющие строить самонастраивающиеся экономико-математические модели, которые способны оперативно реагировать на изменение условий путем учета результата прогнозирования на предыдущих шагах и различной информационной ценности уровней ряда.

Адаптивные методы особенно удачно используются при краткосрочном прогнозировании. У истоков адаптивных методов лежит модель экспоненциального сглаживания.

Метод решения. Экспоненциальное сглаживание - это наиболее популярный адаптивный метод прогнозирования многих временных рядов.

Независимо друг от друга Р. Броун и Ч. Холт открыли экспоненциальное сглаживание для процессов с постоянным трендом, линейным трендом и для рядов с сезонной составляющей [3].

Особенность метода экспоненциального сглаживания состоит в том, что в процедуре выравнивания каждого наблюдения используются только значения предыдущих уровней ряда динамики, взятых с определенным весом. Вес каждого наблюдения уменьшается по мере его отдаления от момента, для которого определяется сглаженное значение. Сглаженное значение уровня ряда F_t на момент t определяется по формуле

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1-\alpha)^i A_{t-(i+1)},$$

где F_t – прогноз; α - вес или константа сглаживания ($0 < \alpha < 1$); $A_{t-(i+1)}$ - текущие продажи минувшего периода.

Модификации модели экспоненциального сглаживания приведены на рис. 2.

Среди проблем применения экспоненциального сглаживания в литературе отмечаются следующие: обоснованный (оптимальный) выбор константы сглаживания α , константы сезонного сглаживания β , начальной ошибки прогноза F_0 . В конечном счете речь идет о желании максимально приблизить прогнозные значения исследуемого процесса к его реальным значениям, задаваемым временными сериями.

Вместе с тем остаются неформализованными ответы на следующие вопросы: в каких случаях следует применять ту или иную модель экспоненциального сглаживания; возможно ли, пусть чисто теоритически, выбором константы сглаживания обеспечить абсолютно точный прогноз.

Таким образом, речь идет о структурном синтезе прогнозной модели – следует ли включать в нее тренд, сезонную составляющую (аддитивную или мультипликативную) и т.д., и о параметрическом синтезе – обоснованном выборе настраиваемых параметров выбранной модели, суть которого сводится к решению оптимизационной задачи для выбранного критерия качества прогноза.

Классическое решение задачи структурного синтеза модели состоит в обеспечении принципа достаточности – достижение поставленной цели минимальными средствами, имея в виду максимально допустимую простоту

Экспоненциальное среднее					
$F_t = \alpha A_{t-1} + \sum_{i=1}^{t-2} \alpha(1-\alpha)^i A_{t-(i+1)}, \quad F_t - \text{прогноз},$ <p>α – вес или константа сглаживания ($0 < \alpha < 1$), $A_{t-(i+1)}$ – текущие значения прошлого периода</p>					
С сезонным сглаживанием			Без сезонного сглаживания		
Аддитивная модель: $\text{Прогноз}_t = S_t + I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1-\alpha)e_t$			S_t – экспоненциально сглаженное значение ряда в момент t ; I_{t-p} – сглаженный сезонный фактор в момент t минус p (p – длина сезона); $0 < \delta < 1$ (если δ равен нулю, то сезонная составляющая на следующем цикле та же, что и на предыдущем; если δ равен 1, то сезонная составляющая «максимально» меняется на каждом шаге из-за соответствующей ошибки)		
Мультипликативная модель: $\text{Прогноз}_t = S_t I_{t-p}$ $I_t = I_{t-p} + \delta(1-\alpha)e_t / S_t$					
С трендом		Без тренда		С трендом	
$S_t = \alpha A_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1});$ $T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1};$ $F_{t+1} = S_t + T_t$				S_t – начальный прогноз в период t ; T_t – тренд в период t ; F_{t+1} – прогноз на период $t+1$ с учетом тренда, β – сглаживающая постоянная для тренда	
Линейный тренд	Экспоненциальный тренд			Линейный тренд	Экспоненциальный тренд
Линейный рост					
$\tilde{y}_\tau(t) = \tilde{a}_{1,t} + \tilde{a}_{2,t}\tau; \tilde{a}_{1,t} \text{ и } \tilde{a}_{2,t} - \text{текущие оценки коэффициентов; } \tau - \text{время упреждения прогноза; } e_t = y_t - \tilde{y}_1(t-1) - \text{ошибка прогноза; } a_{1,t} - \text{варьируемый во времени средний уровень ряда; } \tilde{a}_{1,t} = S_t; 0 < \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 < 1$					
Модель Ч. Хольта	$\tilde{a}_{1,t} = \alpha_1 y_t + (1-\alpha_1)(\tilde{a}_{1,t-1} + \tilde{a}_{2,t-1})$ $\tilde{a}_{2,t} = \alpha_2(\tilde{a}_{1,t} - \tilde{a}_{1,t-1}) + (1-\alpha_2)\tilde{a}_{2,t-1}$		Модель Дж. Бокса и Г. Дженкинса	$\tilde{a}_{1,t} = \alpha_1 y_t + (1-\alpha_1)(\tilde{a}_{1,t-1} + \tilde{a}_{2,t-1}) + \alpha_3(e_t - e_{t-1})$ $\tilde{a}_{2,t} = \alpha_2(\tilde{a}_{1,t} - \tilde{a}_{1,t-1}) + (1-\alpha_2)\tilde{a}_{2,t-1}$	
	Модель Р. Брауна	$\tilde{a}_{1,t} = \alpha_1 y_t + (1-\alpha_1)(\tilde{a}_{1,t-1} + \tilde{a}_{2,t-1}) + \alpha_3(e_t - e_{t-1})$ $\tilde{a}_{2,t} = \alpha_2(\tilde{a}_{1,t} - \tilde{a}_{1,t-1}) + (1-\alpha_2)\tilde{a}_{2,t-1}$			

Рис. 2. Модификации модели экспоненциального сглаживания

Модель экспоненциального сглаживания	Рекомендации к применению	Индикаторы применения	Индикаторы подгонки
Экспоненциальное среднее	Основные факторы и тенденции прошлого периода сохраняются на период прогноза	Инерционность экономических процессов	1. Стандартная ошибка прогноза (standard error of forecast): $S_E = \sqrt{\frac{\sum (A_i - F_i)^2}{N - 1}}$
Экспоненциальное сглаживание с трендом	Расхождения кривой прогноза и кривой действительных значений	Среди ретроспективных коэффициентов сглаживания отсутствуют вещественные значения	где S_E – средняя ошибка прогнозирования; A_i – фактический спрос в период i ; F_i – прогноз на период i ; N – размер временного ряда.
Сезонное сглаживание для моделей без тренда	Наличие сезонных колебаний	Для ретроспективных коэффициентов сглаживания не выполняется условие $0 < \alpha < 1$	2. Средняя ошибка (СО). 3. Средняя абсолютная ошибка (CAO).
Сезонное сглаживание для моделей с линейным или экспоненциальным трендом	Наличие сезонных колебаний с общей тенденцией к уменьшению (увеличению) значений ряда	Для ретроспективных коэффициентов сглаживания не выполняется условие $0,1 < \alpha < 0,3$	4. Сумма квадратов ошибок (SSE) , среднеквадратическая ошибка. 5. Относительная ошибка (ОО): $OO_t = 100 \times (X_t - F_t) / X_t$,
Модели линейного роста	Для прогнозирования временного ряда, имеющего ярко выраженную линейную тенденцию	Для ретроспективных коэффициентов сглаживания не выполняется условие $\alpha \approx 2/(m+1)$, где m – число уровней, входящих в интервал сглаживания	где X_t - наблюдаемое значение в момент времени t ; F_t - прогноз (сглаженное значение). 6. Средняя относительная ошибка (COO). 7. Средняя абсолютная относительная ошибка (CAOO).
Модель Ч. Хольта			
Модель Р. Брауна			
Модель Дж. Бокса и Г. Дженкинса			

Рис. 3. Обобщенные рекомендации по применению модификаций моделей экспоненциального сглаживания

модели, а следовательно, и минимальное число настраиваемых параметров. Переход на следующую ступень сложности в этом случае связан с тем, что при имеющейся модели ни одно из возможных сочетаний параметров настройки не позволяет получить необходимого результата, в данном случае – абсолютной точности прогноза.

Для модели простого экспоненциального сглаживания это означает, что полиномиальное уравнение для текущего прогнозного значения

$$F_t = \alpha A_{t-1} + \alpha(1-\alpha)A_{t-2} + \alpha(1-\alpha)^2 A_{t-3} + \alpha(1-\alpha)^3 A_{t-4} + \dots + \alpha(1-\alpha)^n A_{t-n}, \quad (1)$$

записанное относительно ретроспективных значений исследуемой функции и неизвестных коэффициентов экспоненциального сглаживания, взятых на рассматриваемом шаге

$$A_t = \alpha_t A_{t-1} + \alpha_t(1-\alpha_t)A_{t-2} + \alpha_t(1-\alpha_t)^2 A_{t-3} + \alpha_t(1-\alpha_t)^3 A_{t-4} + \dots + \alpha_t(1-\alpha_t)^n A_{t-n}, \quad (2)$$

имеет среди своих корней вещественные значения α_t . Последнее следует рассматривать как необходимое условие корректного выбора математической модели прогноза. Достаточным же условием по-видимому, является выполнение ограничений $0 < \alpha_t < 1$, что связано со сбалансированным сочетанием ранних и поздних значений прогнозируемой функции и укладывается в гипотезу инерционности экономических процессов, являющуюся исходным посылом применения экспоненциального сглаживания.

Обобщенные рекомендации по применению модификаций моделей экспоненциального сглаживания с учетом результатов, полученных в работе [4], представлены на рис. 3.

Заключение. Метод экспоненциального сглаживания позволяет оценить параметры модели, которая описывает тенденцию, сформированную в конце базисного периода. Он не просто экстраполирует действующие зависимости в будущее, а приспосабливается, адаптируется к условиям, которые изменяются во времени.

В числе преимуществ метода необходимо отметить его точность, которая повышается с увеличением числа уровней динамического ряда. Его преимущества состоят также в том, что он не требует большой информационной базы и предполагает ее интенсивный анализ с точки зрения информационной ценности разных членов временной последовательности. Модели, которые описывают динамику показателя, имеют простое математическое формулирование, а адаптивная эволюция параметров разрешает отразить неоднородность и текучесть свойств временного ряда.

Список литературы

1. Экономико-математические методы и прикладные модели / Под ред. В.В. Федосеева. М.: – ЮНИТИ, 1999.
2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. – М.: Статистика, 1979.
3. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977.
4. Вартамян В. М., Кононенко А.В. Метод определения константы сглаживания в прогнозной модели продаж// Вестник НТУ «ХПИ». Темат. вып. «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Х.: НТУ «ХПИ».- 2005.- № 41. – С. 67 - 70.

Разработка и исследование метода решения задачи формирования перспективного ряда продукции на основе максимизации прибыли

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Одной из сложных задач, возникающих при формировании стратегии развития производственно-экономических систем, является задача определения наиболее выгодных для выпуска типов перспективной продукции. Можно утверждать, что от качества ее решения в значительной степени зависит эффективность формируемой стратегии развития системы.

Традиционно задачи оптимизации типов продукции решались исходя из критерия минимизации затрат на всех этапах жизненного цикла продукции.

В работе [1] рассматриваются модели оптимизации типоразмерных рядов продукции в различных постановках. Также предлагается алгоритм решения задач данного типа, в основе которого лежит метод ветвей и границ. Приведенные в данной работе модели не учитывают алгоритмические формы целевой функции и ограничений, что является важным для более адекватного отражения моделью свойств исследуемого объекта.

В работе [2] предложены несколько вариантов стохастических моделей оптимизации типоразмерных рядов продукции. При использовании данного подхода возможно осуществить поиск только локального экстремума многоэкстремальной целевой функции. В рассматриваемых моделях учитываются затраты на адаптацию изделий у потребителей.

В работе [3] предложены модели оптимизации динамических типоразмерных рядов изделий в однокритериальной постановке, в которых наряду с ограничениями, задаваемыми в аналитической форме, также используются ограничения в виде алгоритмов и имитационных моделей. Разработаны алгоритмы точного решения этих задач.

В работе [4] разработаны математическая модель и метод решения немарковской задачи многокритериальной оптимизации динамических типоразмерных рядов изделий. Модель задачи направлена на минимизацию затрат на всех стадиях жизненного цикла продукции и учитывает предпочтения потребителей, включает ограничения, содержащие как аналитические выражения, так и алгоритмы или имитационные модели. В основу метода решения задачи положены минимаксный подход и идея неявного перебора.

В работе [5] рассмотрена модель динамической задачи оптимизации типажа с нечетко заданными ограничениями, а также предложен метод ее решения.

Для обеспечения достаточной степени адекватности в задачах математического программирования с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями предлагается применение оптимизационно-имитационного подхода [6].

При решении задач оптимизации перспективных типов продукции с точки зрения коммерческих предприятий, функционирующих в условиях рыночной

экономики, более адекватным является использование целевой функции как прибыли от реализации ряда продукции потребителям [7].

Целью данной работы является разработка математической модели и метода задачи максимизации прибыли при планировании перспективного ряда продукции, где ограничения могут быть выражены как аналитическими, так и алгоритмическими и имитационными моделями.

Предположим, что с помощью продукции типа i , $i = \overline{1, m}$ можно обслужить заявку j , $j = \overline{1, n}$. Необходимое для обслуживания заявки j количество единиц продукции обозначим p_{ij} . Длительность периода планирования перспективного ряда продукции принимается равной T .

Модель динамической задачи оптимизации перспективного ряда продукции с точки зрения максимизации прибыли в течение периода T имеет вид:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \left[C_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right) \right] \times \left(\sum_{j \in \{j: |j| \chi = t\}} p_{ij} x_{ij} \right) \alpha_t - \sum_{i=1}^m \left[w_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right) \right] \alpha_{t_i} - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \left[v_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} + p_{i, \text{пред}} \right) \right] \times \left(\sum_{j \in \{j: |j| \chi = t\}} p_{ij} x_{ij} \right) \alpha_t - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m z_{ij} \alpha_{t_j} x_{ij} \rightarrow \max_{x_{ij}} \quad (1)$$

$$S_t = S_{t-1} \alpha_t / \alpha_{t-1} + K_t \alpha_t - \sum_{i \in \{i: t_i = t\}} w_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right) \alpha_{t_i}, \quad S_t \geq 0, t = \overline{1, T}; \quad (2)$$

$$b_t^{(h)} = \varphi(b_{t-1}^{(h)}, x_{ij}), i = \overline{1, m}, j \in \{j: |j| \chi = t\},$$

$$d_t^{(h)} = \sum_{j \in \{j: |j| \chi = t\}} p_{hj} x_{hj}, \quad b_t^{(h)} \geq d_t^{(h)}; \quad (3)$$

$$\alpha_t^{(q)} = f(\alpha_{t-1}^{(q)}, x_{ij}), i = \overline{1, m}, j \in \{j: |j| \chi = t\},$$

$$\alpha_t^{(q)} = \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} e_t^{(q)} \quad \forall q \in Q, t = \overline{1, T}; \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, j \in U \quad (5)$$

Под заявкой понимается спрос, который может быть удовлетворен в результате поставки продукции того или иного типа. При этом предполагаем, что для каждой заявки известно количество продукции p_{ij} , необходимое для удовлетворения спроса, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. Длительность периода планирования перспективного ряда продукции принимается равной T .

Функция $C_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right)$ выражает цену продукции зависящую от объема выпуска. Функция $w_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right)$ учитывает затраты на все виды подготовки производства, которым относят научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, технологическую подготовку производства и т.д. Функция

$v_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right)$ учитывает затраты на производство единицы продукции i -го типа в зависимости от объема выпуска.

z_{ij} - затраты на транспортировку, наладку и возможную доводку продукции i -го типа при обслуживании заявки j .

Для учета изменения цен в течение жизненного цикла вводится величина дисконта α_t .

Φ - множество типов продукции, производство которых подготовлено на предыстории.

$$t_i = \min_{j=1, n} T_j, \text{ если } i \notin \Phi; T_j = \{t_j : t_j = \lfloor j / \chi \rfloor, x_{ij} = 1, j = \overline{1, n}\};$$

T_j - количество лет жизненного цикла продукции i -го типа.

$a_k = (1 + E_H)^{t_p - k}$, E_H - норматив приведения разновременных затрат, t_p - расчетный год, $a_{t_i} = 0$ при $i \in \Phi$

$p_{i, \text{пред}}$ - количество продукции i -го типа, выпущенной на предыстории;

S_0 - средства на проведение подготовки производства всех видов продукции, имеющиеся перед началом планового периода;

$b_t^{(h)}$ - значение производственной мощности предприятия по h -му типу продукции в t -м году;

$a_t^{(q)}$ - параметр, оцениваемый с помощью аналитической функции, алгоритма или имитационной модели, $e_t^{(q)}$ - требование к параметру в t -м году.

Если продукция не может быть использована для обслуживания заявки j , то полагаем $p_{ij} = 0$, $z_{ij} = 0$.

Данная задача относится к динамическим задачам дискретной оптимизации с булевыми переменными, содержащим алгоритмическую целевую функцию и ограничения, включающие как аналитические выражения, так и алгоритмы или имитационные модели. При решении задач дискретного программирования применяются методы перебора. Применение полного перебора вариантов для решения подобных задач задач дискретного программирования не целесообразно, а чаще невозможно по временным затратам. Метод неявного перебора обеспечивает выделение и последующим исключением из дальнейшего рассмотрения заведомо неперспективных подмножеств решений, что помогает значительно сократить время поиска решения задачи. Ниже приведен разработанный метод решения рассматриваемой задачи.

1. Находим верхнюю границу для прибыли при обслуживании заявок с $(j+1)$ -й по n , $j = \overline{1, n}$. Для этого вычислим верхние границы для прибыли при обслуживании каждой j -й заявки, $j = \overline{2, n}$. $\Pi_j^{\max} = \max_i \{ [C_i(1) - v_i(\infty)] p_{ij} \}_{i=1}^m$

Найдем верхнюю границу прибыли для продолжений частичных решений, содержащих j координат, $j = \overline{1, n-1}$.

$$\Delta \Pi_j = \sum_{k=j+1}^n \Pi_k^{\max} \alpha_{\lfloor k / \chi \rfloor}$$

При $j = n$, $\Delta\Pi_j = 0$. Полагаем $D_0 = 0, V_0 := 0, W_0 := 0, Z_0 := 0$. При $x_{jk}^0 := 1$ присваиваем $y_j := k \quad \forall j = \overline{\chi(1-g)+1, 0}$, где y_j - координата вектора текущих решений и решений принятых на предыстории,

$$Y = (y_{\chi(1-g)+1}, y_{\chi(1-g)+2}, \dots, y_0, y_1, \dots, y_n)^T$$

Задаем значение рекорда для целевой функции $\Pi_{record} = -\infty$. Начинаем с первой заявки, поэтому полагаем $j=1$.

2. Пробуем не назначать на обслуживание j -й заявки изделий. Для этого принимаем координату вектора текущих решений равной $y_j = i = 0$.

3. Если $j \in U$, полагаем $i:=i+1$ и переходим к шагу 4. Если $j \notin U$ и $i=0$, переходим к шагу 5.

4. Проверяем выполнение ограничений.

4.1 Если $p_{ij} = 0$, то полагаем $y_j = 0, x_{ij} = 0$ и переходим к шагу 8.

4.2 Полагаем $y_j = i, x_{ij} = 1$. Проверяем выполнение ограничений (2). Если $j < n$, то осуществляем проверку для года $]j/\chi[= t$. При этом принимаем

$w_i \left(\sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \right) = w_i(p_i)$, если изделие i -го типа еще не проектировалось. Если $j=n$, то

осуществляем проверку для $t = \overline{1, T}$ при вычислении затрат по формулам ограничений (2). Если хотя бы одно из них не выполняется, полагаем $y_j = 0, x_{ij} = 0$ и переходим к шагу 8.

4.3 Проверяем с помощью алгоритма производственной мощности или с помощью имитационной модели выполнение ограничений (3) в году t . Если хотя бы одно из них не выполняется, полагаем $y_j = 0, x_{ij} = 0$ и переходим к шагу 8.

4.4 Проверяем выполнение алгоритмических ограничений (4) в году t . Если хотя бы одно из них не выполняется, полагаем $y_j = 0, x_{ij} = 0$ и переходим к шагу 8.

5. Определяем целесообразность принятого решения.

5.1 Рассчитываем значения затрат Z_j, V_j, W_j и дохода D_j .

5.2 Определяем $\Pi_j = D_j - W_j - V_j - Z_j$ и находим значения верхней границы для прибыли $\bar{\Pi} = \Pi_j + \Delta\Pi_j$.

5.3 При $\bar{\Pi} \leq \Pi_{record}$ обслуживание заявки j i -м типом продукции не дает решения лучшего, чем рекордное, тогда полагаем $y_j = 0, x_{ij} = 0$.

Переходим к шагу 8.

6. Если $j < n$, рассматриваем следующую заявку. Увеличиваем $j:=j+1$ и возвращаемся к шагу 2.

7. Запоминаем значение рекорда целевой функции $\Pi_{record} := \bar{\Pi}$ и соответствующее ему $R(j) = y_j \quad \forall j = \overline{1, n}$

8. Если $i < t$, рассматриваем следующий тип изделий. Устанавливаем $i:=i+1$ и возвращаемся к шагу 4.

9. При $j > 1$ рассматриваем предыдущую заявку. Устанавливаем $j:=j-1$. Принимаем $i=y_j$ и возвращаемся к шагу 8.

Если $j=1$, тогда при $\Pi_{record} > -\infty$ решение найдено, иначе задача не имеет решения.

Доказательство правильности расчета верхней границы для ожидаемой прибыли: Выбираем верхнюю границу для прибыли при обслуживании j -й заявки. При этом, при обслуживании каждым i -м изделием данной заявки, мы выбираем максимально возможное значение дохода и минимально возможное значение затрат. Взаимное влияние назначений изделий на обслуживание заявок не может дать значения прибыли большего найденной верхней границы. Это объясняется тем, что цена изделия в любом количестве экземпляров не может быть большей, чем при выпуске изделия в единичном количестве. Затраты на производство изделия в любом количестве экземпляров не могут быть меньше чем при выпуске в максимально возможном количестве.

Проведено численное исследование метода. Решение задачи размерности 60×15 прямым перебором при условии рассмотрения одного варианта за 10^{-9} с заняло бы $1,17 \cdot 10^{54}$ лет. Приведенные данные численного исследования подтверждают высокую эффективность разработанного метода при решении больших задач, с точки зрения практической применимости. Результаты приведены в следующей таблице.

Таблица 1

Результаты численного исследования разработанного метода

Среднее время решения задачи, с	Размерность задачи			Количество решенных вариантов
	n	m	nхm	
2	10	6	60	5
4	20	6	120	5
9	30	6	180	5
17	40	6	240	5
32	50	6	300	5
48	60	6	360	5
4	10	10	100	5
6	20	10	200	5
15	30	10	300	5
29	40	10	400	5
56	50	10	500	5
116	60	10	600	5
4	10	15	150	5
9	20	15	300	5
23	30	15	450	5
46	40	15	600	5
105	50	15	750	5
237	60	15	900	5

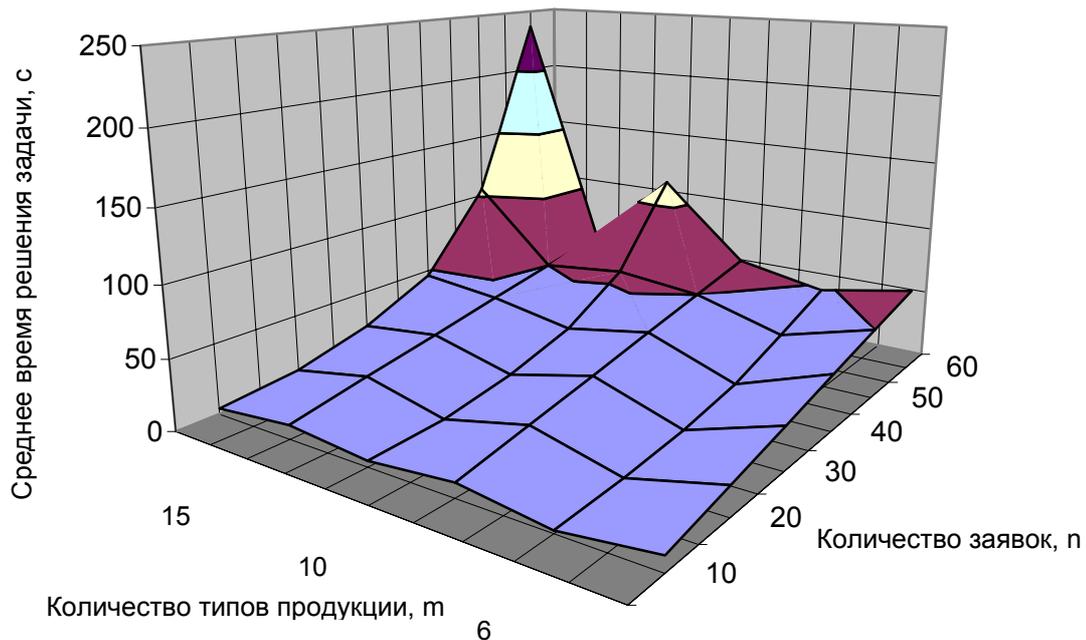


Рис.1. График зависимости времени решения задачи от ее размерности

В работе был проведен обзор основных подходов к решению задачи оптимизации типоразмерных рядов продукции, предложены модель и метод решения задачи максимизации прибыли при планировании производства перспективного ряда продукции, а также проведено численное исследование разработанного метода. В дальнейших работах будет описана информационная технология решения данной задачи.

Список литературы

1. Береснев В.Л., Гимади Э.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск: Наука, 1978.-334 с.
2. Антипенко В.С., Кац Г.Б., Петрушов В.А. Модели и методы оптимизации параметрических рядов. М: Машиностроение, 1990.-176 с.
3. Кононенко И.В. Оптимизация динамического типоразмерного ряда оборудования. Вестник НТУ «ХПИ», 1990.-№10 – с.48-51.
4. Кононенко И.В., Роговой А.И. Векторная оптимизация динамического типоразмерного ряда продукции. Кибернетика и системный анализ, 2000.-№2. – с.157-163.
5. Кононенко И.В., Деревянченко Б.И. Оптимизация типажа продукции, предназначенной для последовательного обслуживания заявок, при нечеткой исходной информации. Вестник НТУ «ХПИ», 1999.-№73 – с.84-88.
6. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Филиппов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход). – М.: Наука, 1985. – 174 с.
7. Кононенко И.В., Протасов И.В. Максимизация прибыли при формировании типажа перспективной продукции. Вестник НТУ «ХПИ», 2005.

Рецензія
на науково-методичний посібник Д.В. Ланде, В.М. Фурашева,
О.М. Григор`єва “Програмно-апаратний комплекс
інформаційної підтримки прийняття рішень”

Науково-методичний посібник, який подано на рецензію, є науково-методологічною та науково-навчальною працею у галузі інформатизації процесів підготовки та прийняття рішень як органами державного управління, так і суб`єктами господарювання. Ця тематика сьогодні є дуже актуальною з огляду на дискусію, що розгортається у світі, стосовно переходу до побудови постіндустріального інформаційного суспільства, тому робота заслуговує серйозної уваги.

Дана робота здійснена у відповідності до Плану робіт Науково-дослідного центру правової інформатики Академії правових наук України на 2006 рік.

Основною метою даного посібника як дослідження є визначення можливості, надання методології та здійснення практичної її реалізації у напрямку комплексного застосування засобів інформатизації як важливого інструментарію інформаційного забезпечення підготовки та прийняття рішень на базі інформації з мережі Інтернет з урахуванням досягнення необхідного рівня їх об`єктивності, демократичності і прозорості.

Дана робота демонструє системний науково-методологічний підхід до вирішення питань становлення інструментальних засобів, необхідних для побудови інформаційного суспільства в Україні, а також комплексний підхід до реалізації запропонованих рішень. Реалізаційні підходи щодо застосування методів системної інформатизації у процесах інформаційного забезпечення підготовки та прийняття рішень органічно враховують реалії сучасного соціально-політичного та економічного життя країни. У роботі наведено чітке обґрунтування науково-методологічного підходу до застосування засобів системної інформатизації здійснення інформаційного забезпечення прийняття рішень як однієї з ланок побудови електронного інформаційного суспільства в Україні.

Необхідно відмітити високий рівень комплексності розглядання питань та їх опрацювання.

Вважаю, що даний науково-методичний посібник буде корисним для фахівців у галузі інформаційних технологій та законотворчості і може бути рекомендований до публікації.

**Директор Науково-дослідного центру правової
інформатики Академії правових наук України,
академік Академії правових наук,
доктор економічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України**

М. ШВЕЦЬ

Рефераты

УДК 629.735:658.51.4

О технологическом контроле при первичном формообразовании в современном машиностроении. П. О. Науменко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. Вып. 30. – С. 5-9.

Рассмотрено решение проблемы замыкания переноса форм и размеров от аналитического эталона к детали как доказательства соответствия размеров реальной поверхности общего вида номинальным, заданным аналитическим эталоном. Показано, что использование оборудования с ЧПУ позволяет использовать его как координатно-измерительную машину.

Ил. 4. Библиогр.: 11 назв.

Розглянуто вирішення проблеми замикання переносу форм і розмірів від аналітичного еталона до деталі як доказу відповідності розмірів реальної поверхні загального вигляду номінальним, заданим аналітичним еталонем. Показано, що використання обладнання з ЧПК дозволяє використовувати його як координатно-вимірвальну машину.

Іл. 4. Бібліогр.: 11 назв

УДК 629.7.01

Метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM / А. Г. Гребеников, А. З. Двейрин, Ю. Н. Геремес, А. М. Гуменный // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 10-30.

Разработан метод интегрированного проектирования и компьютерного моделирования фюзеляжа гражданского самолета с помощью интегрированных систем CAD/CAM/CAE/PLM. Метод был апробирован при создании мастер-геометрии и аналитических эталонов элементов конструкции фюзеляжа гражданского самолета. Этот метод является основой для создания методик разработки конструкторско-технологической документации элементов и сборных узлов самолёта с учётом действующих авиационных правил.

Ил. 18. Библиогр.: 11 назв.

Розроблено метод інтегрованого проектування та комп'ютерного моделювання фюзеляжу цивільного літака за допомогою інтегрованих систем CAD/CAM/CAE/PLM. Метод було апробовано при створенні майстер-геометрії та аналітичних еталонів елементів конструкції фюзеляжу цивільного літака. Цей метод є основою для побудови методики розроблення конструкторсько-технологічної документації елементів і збірних вузлів літака згідно з діючими авіаційними правилами.

Іл. 18. Бібліогр.: 11 назв.

УДК 331.001:62:331

Технические средства обучения человека-оператора техногенного объекта как предмет изучения эргономики. Е. Н. Бут // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 31-35.

Рассмотрены задачи приспособления человека-оператора к техногенному объекту в эргономике и смежных с ней науках, таких, как педагогика, инженерная психология и проектирование техногенных объектов, с точки зрения на эргономику как науку, изучающую условия труда человека и, как следствие, разрабатывающую научные основы подготовки человека к труду на техногенных объектах.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

Розглянуто задачі пристосування людини-оператора до техногенного об'єкта в ергономіці та суміжних з нею науках, таких як педагогіка, інженерна психологія та проектування техногенних об'єктів з точки зору на ергономіку як науку, що вивчає умови праці людини і, як наслідок, розробляє наукові основи підготовки людини до праці на техногенних об'єктах.

Іл. 1. Бібліогр.: 4 назви

УДК 629.735.33

Влияние случайных факторов на проектные параметры тонкостенных элементов конструкции / Л. А. Малашенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. Вып. 30. – С. 36-41.

Проведено исследование влияния неизбежных технологических допусков толщины элементов конструкции, изменчивости механических свойств их материала и эксплуатационных нагрузок летательных аппаратов на надежность, несущую способность и проектные параметры тонкостенных стержней, пластин, оболочек.

Іл. 3. Библиогр.: 5 назв.

Проведено дослідження впливу немінучих технологічних допусків товщини елементів конструкції, мінливості механічних властивостей їх матеріалу і експлуатаційних навантажень літальних апаратів на надійність, несучу здатність та проектні параметри тонкостінних стрижнів, пластин, оболонок.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв

УДК 629.7.01

Оценка влияния корреляции случайных параметров на вероятность потери устойчивости ракеты-носителя / В.Г. Сухоребрий, М.И. Никифорова // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 42-49.

Проведена проектная оценка вероятности устойчивости ракет-носителей с учетом корреляции параметров критериальной функции. Показано, что учет корреляционных связей позволяет получить значение вероятности потери устойчивости системы более близкое к точному результату, и дает оценку «в запас».

Іл. 3. Табл. 6. Библиогр.: 4 назв.

Проведено проектну оцінку ймовірності стійкості ракет-носіїв з урахуванням кореляції параметрів критериальної функції. Показано, що врахування кореляційних зв'язків дозволяє одержати значення ймовірності втрати стійкості системи, більш близьке до точного результату, і дає оцінку «у запас».

Іл. 3. Табл. 6. Бібліогр.: 4 назви

УДК 681.324

Нечеткий дедуктивный вывод в системе квантов знаний для поддержки принятия решений при планировании учебного процесса / И. Б. Сироджа, С. В. Россоха // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 50-55.

Представлен механизм нечеткого логического вывода как оператор дедуктивного вывода на основе РАЗ-модели представления знаний для поддержки принятия решений. Введены вспомогательные терминальные кванты $\phi_{k_0, \theta}$, $\phi_{k_1, \bar{\theta}}$ для реализации процессов фазификации и дефазификации. Предложена формула расчета коэффициента уверенности дедуктивного вывода. Практическое значение работы состоит в том, что разработанные модели нечеткого дедуктивного вывода на основе РАЗ-модели представления знаний и манипулирования ими представляют собой методологическую основу для создания знаниеориентированных систем поддержки принятия решений целевого назначения.

Библиогр.: 5 назв.

Подано механізм нечіткого логічного виводу як оператор дедуктивного виводу на основі РАКЗ-моделі подання знань для підтримки прийняття рішень. Уведено допоміжні термінальні кванти знань $\phi_{k_0, \theta}, \phi_{k_1, \bar{\theta}}$ для реалізації процесів фазифікації та дефазифікації. Запропоновано формулу розрахунку коефіцієнта упевненості дедуктивного виводу. Практичне значення роботи полягає у тому, що розроблені моделі нечіткого дедуктивного виводу на основі РАКЗ-моделі подання знань та маніпулювання ними являє собою методологічну основу для створення знання-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень цільового призначення.

Бібліогр.: 5 назв

УДК 004. 89

Модель обучения нечеткой базы квантов знаний для поддержки принятия решений в условиях ф-неопределенности / И. Б. Сироджа, И. Е. Россоха // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. Вып. 30. – С. 56-61.

Рассмотрен подход к созданию нечеткой базы квантов знаний для поддержки принятия решений при управлении учебным процессом вуза. Предложен новый вид формализации знаний в виде нечетких квантовых структур, основанный на методах инженерии квантов знаний. Представлена модель обучения нечеткой базы квантов знаний как операторная модель индуктивного вывода имплицативных и функциональных закономерностей.

Библиогр.: 5 назв.

Розглянуто підхід до створення нечіткої бази квантів знань для підтримки прийняття рішень при управлінні навчальним процесом вузу. Запропоновано новий вид формалізації знань у вигляді нечітких квантових структур, що базуються на методах інженерії квантів знань. Подано модель навчання нечіткої бази квантів знань як операторну модель індуктивного виводу імплікативних і функціональних закономірностей.

Бібліогр.: 5 назв

УДК 629.735.33.018.7.016

Компьютерная поддержка процесса определения летно-технических характеристик самолета. Часть 2 / А. Н. Нарожный // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 62-72.

В продолжение темы о рациональной организации процесса определения летно-технических характеристик транспортного самолета сообщаются результаты вычислительных экспериментов, основанных на математическом моделировании идеальных летных испытаний. Для полетной конфигурации гипотетического самолета приводятся качественное сравнение и количественные оценки восстановления основных характеристик в зависимости от количества плановых точек, в которых “осуществлялись” эксперименты.

Ил. 8. Библиогр.: 3 назв.

Для продовження теми про раціональну організацію процесу визначення льотно-технічних характеристик транспортного літака доповідаються результати обчислювальних експериментів, які базуються на математичному моделюванні ідеальних льотних випробувань. Для польотної конфігурації гіпотетичного літака наводяться якісне порівняння і кількісна оцінка відновлення основних характеристик залежно від кількості планових точок, в яких “виконувались” експерименти.

Іл. 8. Бібліогр.: 3 назви

УДК 681.3

Питання побудови та використання багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації / Д.В. Ланде, В.М. Фурашев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 73-79.

Представлен подход к решению задачи по построению многокритериальной модели определения источников информации. Описана методика построения многокритериальной модели определения источников информации в среде информационно-поисковой системы InfoStream на примере реализации конкретной задачи для аналитиков Национального центра по вопросам евроатлантической интеграции Украины.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

Наведено підхід до вирішення завдання щодо побудови багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації. Описано методику побудови багатокритеріальної моделі вибору джерел інформації в середовищі інформаційно-пошукової системи InfoStream на прикладі реалізації конкретного завдання для аналітиків Національного центру з питань євроатлантичної інтеграції України.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв

УДК 620.178.16.:629.735.33

Сопротивление усталости полосы с отверстием из титанового сплава ВТ6 в условиях фреттинг-коррозии / А. Г. Гребеников, В. Н. Клименко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 80-89.

Исследовано влияние радиального натяга и осевой затяжки на усталостную долговечность полосы с отверстием из титанового сплава ВТ6. Получены уравнения кривых усталости полосы при различных вариантах установки болта в отверстие. Определены формулы для расчета эффективных коэффициентов концентрации напряжений.

Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

Досліджено вплив радіального натягу і осьової затяжки на втомну довговічність полоси з отвіром з титанового сплаву ВТ6. Одержано рівняння кривих втомлюваності полоси при різних варіантах установлення болта в отвір. Визначено формули для розрахунку ефективних коефіцієнтів концентрації напружень.

Ил. 7. Библиогр.: 4 назв

УДК 621.3

Анализ расходов воздуха в раздаточных отверстиях распределительной трубы ВТПОС самолета с учетом докритических режимов течения / С.Д. Винничук, В.Ф. Шмырев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 90 – 96.

Предложена новая методика исследования гидравлических режимов в распределительной трубе и раздаточных отверстиях ВТ ПОС самолета, не требующая экспериментального определения коэффициента эффективной площади μF . Показано, что и на докритических режимах работы системы возможна равномерная раздача воздуха.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Запропоновано нову методику дослідження гідравлічних режимів у розподільній трубі і роздавальних отворах ВТ ПОС літака, яка не потребує експериментального визначення коефіцієнта ефективної площі μF . Показано, що і для докритичних режимів роботи системи можлива рівномірна роздача повітря.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв

УДК 004.78; 65.015.13

Синтез онтології управління проектом технологической подготовки производства на машиностроительном предприятии / Д.А. Бастеев // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 97-106.

Рассмотрены методы синтеза онтологической системы представления знаний при проектировании интеллектуальной компоненты производственных информационных систем, реализующих технологию CALS. Применение теоретических результатов иллюстрируется на примере функционирования интеллектуальной компоненты системы поддержки принятия решений главного технолога машиностроительного предприятия.

Іл. 7. Библиогр.: 15 назв.

Розглянуто методи синтезу онтологічної системи подання знань при проектуванні інтелектуальної компоненти виробничих інформаційних систем, які реалізують технологію CALS. Застосування теоретичних результатів показано на прикладі функціонування інтелектуальної компоненти системи підтримки прийняття рішень головним технологом машинобудівного підприємства.

Іл. 7. Бібліогр.: 15 назв

УДК 658.51.4: 629.735

Информационное обеспечение машиностроительного производства / И. В. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 107-111.

Рассмотрены существующие информационные системы поддержки производственных процессов и сделан вывод о необходимости разработки системы оперативной обработки информации и интегрировании ее с существующими системами.

Іл. 6. Библиогр.: 3 назв.

Розглянуто існуючі інформаційні системи підтримки виробничих процесів і зроблено висновок про необхідність розробки системи оперативної обробки інформації й інтегруванні її з існуючими системами.

Іл. 6. Бібліогр.: 3 назви

УДК.621.951.45

Заточка сверл по цилиндрическим фасонным поверхностям / Б. В. Лупкин, О. В. Мамлюк, Р. П. Родин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. — Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. — Вып. 30. — С. 112-116.

Рассмотрены вопросы заточки спиральных сверл с режущими кромками в форме дуги окружности по цилиндрическим фасонным поверхностям.

Іл. 2. Библиогр.: 1 назв.

Розглянуто питання заточування спіральних свердл із різальними крайками у формі дуги кола по циліндричних фасонних поверхнях.

Іл. 2. Бібліогр.: 1 назва

УДК 621.914.2

Обработка поверхностей типа «переменная малка» торцовыми фрезами /О. В. Мамлюк // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. — Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. — Вып. 30. — С. 117-120.

Решена задача формообразования поверхностей типа «переменная малка» профилирующей окружностью торцевой фрезы и определена закономерность координатных движений исполнительных органов станка.

Ил. 3. Библиогр.: 1 назв.

Розв'язано задачу формоутворення поверхонь типу «змінна малка» профілюючою окружністю торцевої фрези і визначено закономірність координатних рухів виконавчих органів верстата.

Іл. 3. Бібліогр.: 1 назва

УДК 681.58.011.56

Принципы генерации текстовых эквивалентов для программ, созданных на графическом языке FBD / В. Г. Сухоревый, Д. В. Джулгаков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. — Х.: НАКУ «ХАИ», 2006. — Вып. 30 — С. 121-129.

Проанализированы отличия базового и расширенного диалектов графического языка FBD. Для диалекта, допускающего условное выполнение фрагментов схемы, предложен алгоритм формирования текстового эквивалента, учитывающий различные топологии схемы графической программы. Представлен пример генерации текстовой программы на языке Си для схемы, содержащей условные фрагменты, зависящие по управлению и данным одновременно.

Библиогр.: 4 назв.

Проаналізовано відмінності базового та розширеного діалектів графічної мови FBD. Для діалекту, що дозволяє умовне виконання фрагментів схеми, запропоновано алгоритм формування текстового еквівалента, що враховує різні топології схеми графічної програми. Наведено приклад генерації текстової програми мовою Сі для схеми, що містить умовні фрагменти, залежні за управлінням і даним одночасно.

Бібліогр.: 4 назви

УДК 621.396.96

Исследование влияния нестабильностей на работу бистатической РСА / А. В. Ксендзук, И. А. Евсеев, Б. Н. Кухарчук // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. — Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. — Вып. 30. — С. 130-134.

Исследовано влияние дестабилизирующих факторов на качество формирования РЛИ предложенным алгоритмом обеспечения когерентного приема сигналов в бистатических РСА путем моделирования пространственных функций неопределенности.

Ил. 3. Библиогр.: 7 назв.

Досліджено вплив дестабілізуючих факторів на якість формування радіолокаційних зображень запропонованим алгоритмом забезпечення когерентного прийому сигналів в бістатичних РСА шляхом моделювання просторових функцій невизначеності.

Іл. 3. Бібліогр.: 7 назв

УДК 621.396.96

О модификации алгоритмов адаптивной пространственной обработки сигналов в условиях параметрической априорной неопределенности / И. И. Брык // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 135-138.

Представлен сравнительный анализ оценки потенциальной возможности оптимальных векторных весовых коэффициентов при решении теоретических и практических задач в условиях частичной априорной неопределенности о пространственной структуре сигнала.

Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Наведено порівняльний аналіз оцінки потенційної можливості оптимальних векторних вагових коефіцієнтів при вирішенні теоретичних і практичних задач в умовах часткової априорної невизначеності про просторову структуру сигналу.

Іл. 3. Бібліогр.: 3 назви

УДК 681.321

Методы и алгоритмы обработки информации в модулярной арифметике / Мохаммед Джасим Мохаммед, М. И. Луханин, В. А. Краснобаев, Н. С. Деренко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 139-150.

Рассмотрены методы и алгоритмы реализации арифметических операций в модулярной арифметике (МА), основанные на использовании принципа кольцевого сдвига. Выделены два основных метода: метод двоичного позиционно-остаточного кодирования и метод унитарного позиционно-остаточного кодирования числовых данных кодовых структур содержимого разрядов кольцевых регистров сдвига. Проведена оценка эффективности использования предложенных методов с точки зрения минимизации времени реализации арифметических операций в МА.

Ил. 1. Библиогр.: 9 назв.

Розглянуто методи і алгоритми реалізації арифметичних операцій в модулярній арифметиці (МА), що базуються на використанні принципу кільцевого зсуву. Виділено два основних методи: метод двійкового позиційно-залишкового кодування і метод унітарного позиційно-залишкового кодування числових даних кодових структур вмісту розрядів кільцевих регістрів зсуву. Проведено оцінку ефективності використання запропонованих методів з точки зору мінімізації часу реалізації арифметичних операцій в МА.

Іл. 1. Бібліогр.: 9 назв

УДК 621.396.933.4

Дослідження впливу еволюцій літального апарату на ефективність бортового пристрою адаптивної просторової обробки сигналів та завад / Б.Б. Поспелов, Ф.Ф. Мисик, Д.Л. Чечоткін // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 151-157.

Рассмотрены особенности адаптивной пространственной обработки сигналов в авиационных радиосистемах информационного обмена, которые обусловлены использованием реальных бортовых антенн. Показано, что антенные элементы устройства адаптивной пространственной обработки сигналов и помех образуют сложную апертуру. Рассмотрено влияние сложной апертуры на показатели эффективности адаптивной пространственной обработки сигналов при эволюциях ЛА.

Ил. 2. Библиогр.: 7 назв.

Розглянуто особливості адаптивної просторової обробки сигналів в авіаційних радіосистемах інформаційного обміну, які обумовлені використанням реальних бортових антен. Показано, що антенні елементи пристрою адаптивної просторової обробки сигналів і завад утворюють складну апертуру. Розглянуто вплив складної апертури на показники ефективності адаптивної просторової обробки сигналів при еволюціях ЛА.

Іл. 2. Бібліогр.: 7 назв

УДК 629.7.015(07)

Визначення зміни показників енергетичного стану літака за записами бортових систем реєстрації параметрів польоту / А.В. Приймак, О.Б. Куренко, Г.П. Сігайло // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 158-165.

Разработан алгоритм определения изменения основных показателей энергетического состояния самолета, который базируется на использовании информации штатных бортовых систем регистрации параметров полета. В качестве основных показателей энергетического состояния выбраны тяга силовой установки (СУ) и коэффициент лобового сопротивления планера самолета. Получены зависимости изменения начальной тяги СУ и минимального значения коэффициента подъемной силы в процессе эксплуатации самолета Ан-72.

Іл. 4. Библиогр.: 9 назв.

Розроблено алгоритм визначення зміни основних показників енергетичного стану літака, який базується на використанні інформації штатних бортових систем реєстрації параметрів польоту. Як основні показники енергетичного стану вибрано тягу силової установки (СУ) та коефіцієнт лобового опору планера літака. Отримано залежності зміни початкової тяги СУ та мінімального значення коефіцієнта підйомної сили в процесі експлуатації літака Ан-72.

Іл. 4. Бібліогр.: 9 назв

УДК 621.3:681.3:550.832

Микроконтроллерное устройство управления каротажом в процессе бурения / А. В. Светличный, Н.Д. Кошевой // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 166-170.

Описано устройство управления на базе микроконтроллера фирмы Microchip. Представлена схема устройства. Рассмотрены краткие характеристики микроконтроллеров PIC16F877A и PIC18F454. Приведены результаты тестирования устройства с помощью специальных тестовых программ. Сделаны выводы о целесообразности применения рассмотренных микроконтроллеров.

Іл. 3. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Описано пристрій управління на базі мікроконтроллера фірми Microchip. Подано схему пристрою. Розглянуто короткі характеристики мікроконтролерів PIC16F877A і PIC18F454. Наведено результати тестування пристрою за допомогою спеціальних тестових програм. Зроблено висновки про доцільність застосування розглянутих мікроконтролерів.

Іл. 3. Табл. 2. Бібліогр.: 3 назви

УДК 621.396:537.874.4

Помехоустойчивая процедура для разделения пространственно-временных компонент / А. Д. Абрамов, Р. В. Нежальский // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 171-178.

На основании критерия максимума правдоподобия синтезирована технология оценки формы принимаемых сигналов. Она удобна в вычислительном отношении и обеспечивает оперативность получения оценок. Результаты теоретических исследований подтверждены компьютерным моделированием.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

На підставі критерію максимуму правдоподібності синтезовано технологію оцінки форми приймальних сигналів. Вона зручна в обчислювальному відношенні та і забезпечує оперативність одержання оцінок. Результати теоретичних досліджень підтверджені комп'ютерним моделюванням.

Іл. 3. Бібліогр.: 6 назв

УДК 623.4.002.8

Исследование процесса демонтажа авиационных мелкокалиберных боеприпасов / Н. В. Нечипорук, Е. А. Полищук, Н. В. Кобрина // Открытые информационные и компьютерные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 179-182.

Представлен подход к решению проблемы утилизации авиационных боеприпасов для систем вооружения летательных аппаратов. Предложен способ демонтажа мелкокалиберных боеприпасов (патронов), позволяющий после небольшой калибровки соответствующих участков поверхности использовать их вторично в процессе изготовления патронов. Описана методика проведения эксперимента.

Ил. 1. Библиогр.: 8 назв.

Подано підхід до вирішення проблеми утилізації авіаційних боеприпасів для систем озброєння літальних апаратів. Запропоновано спосіб демонтажу дрібнокалиберних боеприпасів (патронів), що дозволяє після незначного калібрування відповідних частин поверхні використовувати їх вторинно у виробничому процесі виготовлення патронів. Описано методику проведення експерименту.

Іл. 1. Бібліогр.: 8 назв

УДК 536.2:536.42:532.66

Интеллектуальная підтримка прийняття рішень при виборі ріжучого інструменту/ М. В. Лапа // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 183-188.

Розглянуто вибір ріжучого інструменту із використанням нечітких експертних правил, що дозволить розширити область пошуку прийнятних рішень, використовувати досвід технологів-експертів. Запропоновано застосування сучасних комп'ютерних технологій та програмних засобів для інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі ріжучого інструменту.

Іл. 3. Бібліогр.: 5 назв

Рассмотрен выбор режущего инструмента с использованием нечетких экспертных правил, что позволяет расширить область поиска принятых решений, использовать опыт техников-экспертов. Предложено применение современных компьютерных технологий и программных способов для интеллектуальной поддержки принятия решений при выборе режущего инструмента.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.327

Метод многоуровневого изотопного кодирования изображений/ Г.Н. Гулак, В.В. Баранник, А.К. Юдин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 189 – 197.

Изложено дифференциальное полиадическое кодирование изофотных уровней рельефа изображения. В этом случае дополнительное сжатие изображений достигается за счет снижения динамического диапазона элементов в каждом изофотном уровне и уменьшения количества допустимых комбинаций в результате дополнительных ограничений на их элементы.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Викладено диференціальне поліадичне керування ізофотних рівнів рельєфу зображення. У цьому випадку додатковий стиск зображень досягається за рахунок зниження динамічного діапазону елементів в кожному ізофотному рівні та зменшенні кількості допустимих комбінацій в результаті додаткових обмежень на їх елементи.

Іл. 3. Бібліогр.: 4 назви

УДК 519.876.2

Использование адаптивных моделей экспоненциального сглаживания в задачах прогнозирования экономических показателей предприятий / А. В. Кононенко, В. М. Вартанян // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 198-203.

Рассмотрена сущность адаптивных моделей прогнозирования, в частности экспоненциального сглаживания, приведены модификации модели экспоненциального сглаживания и разработаны обобщенные рекомендации по их применению.

Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

Розглянуто суть адаптивних моделей прогнозування, зокрема експоненціального згладжування, наведено модифікації моделі експоненціального згладжування та розроблено узагальнені рекомендації щодо їх використання.

Іл. 3. Бібліогр.: 4 назви

УДК 332.144+332.145

Разработка и исследование метода решения задачи формирования перспективного ряда продукции на основе максимизации прибыли / И. В. Кононенко, И.В. Протасов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 204-209.

Предложены модель и метод решения динамической задачи оптимизации перспективного ряда продукции в постановке, учитывающей возможность максимизации прибыли предприятия. Ограничения в модели могут быть выражены как аналитическими, так и алгоритмическими или имитационными моделями. Проведено численное исследование, показавшее высокую эффективность разработанного метода.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

Запропоновано модель і метод вирішення динамічної задачі оптимізації перспективного ряду продукції в постановці, що враховує можливість максимізації прибутку підприємства. Обмеження в моделі можуть бути виражені як аналітичними, так і алгоритмічними чи імітаційними моделями. Проведено чисельне дослідження, що показало високу ефективність розробленого методу.

Іл. 1. Бібліогр.: 7 назв

**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 подрисовочной 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 30

Редакторы: Л.А. Кузьменко, Т.Г. Кардаш

Компьютерная верстка: Н. В. Ефремова

Подписано в печать 30.03.2006. Формат 60×84 ¹/₈. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 12,3. Уч.-изд. л. 13,88. 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**