

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

Н. М. БОРГЕСТ

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
САМОЛЕТА

Учебное пособие

Автоматизация предварительного проектирования самолета:
Учеб. пособие/Н. М. Боргест. Самар. авиац. ин-т: Самара,
1992. 92 с. ISBN 5—230—16909—5.

Дан анализ современного состояния автоматизации наиболее сложного, с точки зрения формализации, процесса предварительного проектирования самолета. Показано, что одним из главных направлений в развитии современных и в создании будущих САПР является их интеллектуализация. Приведена концепция перспективной САПР, базирующаяся на технологии искусственного интеллекта. Особо выделены вопросы оптимизации, учета неопределенности и использования баз данных и знаний при проектировании.

Подготовлено на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов. Предназначено для студентов самолетостроительной специальности и может быть использовано в курсах «Проектирование самолета», «Автоматизированные банки данных и знаний» и «Основы САПР».

Ил. 18. Библиогр.: 133 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королева.

Рецензенты: зам. главн. конструктора ОКБ им. Антонова
д-р техн. наук Н. П. Смирнов,
Самарское КБ АНТК им. А. Н. Туполева

«Много лет назад, когда Земля была еще молодой, а Солнце широко улыбалось, вставая каждое утро, не было ничего похожего на экспертные системы. И вдруг оказалось, что все вокруг только и говорят об этом».

К. Нейлор [56]

«Встречают по одежке, а провожают по уму».

Русская поговорка

«Вы судите по костюму? Никогда не делайте этого. Вы можете ошибиться, и притом весьма крупно».

М. Булдиков «Мастер и Маргарита»

Не секрет, что *предисловие* — это лицо или одежда, по которой принимают любую печатную работу, поэтому оно всегда многократно переписывается с одной лишь целью — улучшения. Не исключением явилось и это «начало» работы. Написанные варианты вводной части работы разительно отличались друг от друга. В одном из них автор отдался во власть бурному потоку работ по искусственному интеллекту (ИИ) и, в частности, оптимизму успешного практического применения в виде так называемых экспертных систем. Другой вариант оказался чрезмерно «консервативным». В нем особо выделялись лишь недостатки «детерминизма» в проектировании, боязнь и неприятие в формальные алгоритмы оптимизации, а термин *автоматизация* можно было «рассмотреть» лишь в упоминании о необходимости дальнейшей формализации процесса проектирования. Один из вариантов предисловия был плотно наполнен фамилиями предшественников и реверансами в их адрес. Другая крайность — скупое замалчивание всего того, что сделано теми, чьи заслуги безымянны. Неудовлетворенность различными «компромиссными» вариантами привела автора (уже в который раз) к пониманию того, что «лучшее — враг хорошего». Последнее подтолкнуло его предверить содержание самой работы диалогом с будущим читателем. Форма ответов на прямые и, быть может, едкие вопросы пытливого читателя показалась для автора наиболее приемлемой.

Читатель: Для кого написано пособие?

Автор: Пособие предназначено в первую очередь для студентов, специализирующихся на разработке и применении САПР. Предметная область — предварительное проектирование само-

лета — определяет конкретное приложение и направленность пособия. В основном это самолетостроительная специальность. Думается, что в чем-то пособие будет представлять интерес и для специалистов промышленности.

Читатель: О чем эта брошюра?

Автор: Конечно, об автоматизации, о проектировании и немного о самолете. Можно рассматривать эту брошюру как введение в проблему компьютерного проектирования самолета с использованием новой информационной технологии, новых подходов к построению САПР, основанных на знаниях.

Читатель: Есть ли необходимость в этой книжике?

Автор: Думается, что есть. Во-первых, несмотря на «достаточное» количество книг по проектированию самолета, большинству из них, а в особенности учебникам и пособиям, присущи, по мнению автора, две крайности. Первая — это излишний «детерминизм» в проектировании, т. е. формирование у студента «слепой веры» в единственность алгоритма проектирования, в абсолютную корректность формул и зависимостей без понимания реальной области их возможного применения. Вторая крайность — это недостаточно обоснованный или в ряде случаев произвольный, случайный характер определения (выбора, назначения) многих параметров модели объекта проектирования, пусть даже в каком-то «рекомендуемом диапазоне»¹. Примеров тому предостаточно в любом пособии по проектированию. Впрочем, это и вполне объяснимо, так как практически невозможно совместить в учебном материале раскрытие всей полноты взаимосвязи параметров объекта проектирования с демонстрацией выявленных основных закономерностей и построения на их основе методик проектирования, доступных для освоения на первом этапе обучения. Именно это, а также отсутствие у студентов личного опыта и инженерной интуиции (которые, в большинстве своем, базируются на знаниях всей совокупности явной и неявной взаимосвязи параметров в моделях проектируемого объекта), естественно, приводят к снижению качества проектирования.

Поэтому для повышения уровня знаний и приобретения адекватных навыков проектирования сложных объектов, каковым является самолет, необходимо, по мнению автора, уже на первых этапах шире представлять студенту модели процесса проектирования с более глубоким освещением взаимосвязи и взаимо-

¹ Кроме того, трудно не согласиться с сетованиями известного советского ученого Г. С. Альтшуллера на то, что «в вузе будущий инженер привыкает к тому, что условиям задачи следует безоговорочно доверять», а это, в свою очередь, «порождает недоумение и неуверенность при решении инженерных задач» [2, с. 40—41].

влияния параметров модели объекта проектирования. Это, бесспорно, поможет будущему инженеру без больших потерь приступить к реальному проектированию в реальных условиях на реальных моделях. (Опыт подготовки студентов ЦИПС в отделе РИПАК хорошо тому подтверждение).

Читатель (не без иронии): Вашими бы устами да мед пить. А что во-вторых?

Автор: Следующее, что говорит в пользу необходимости написания пособия — это начавшееся внедрение новой информационной технологии, базирующейся на технологии искусственного интеллекта, в реальные компьютерные системы, в практику проектирования. Количество методических и программных разработок в этой области достаточно, чтобы из плевел можно было бы выбрать первые зерна, дающие всходы новым информационным технологиям. Именно технология ИИ позволяет полнее описать сам процесс проектирования, моделируя при этом во многом действия человека, его технику решения задач.

Читатель: Ну, а как Вы оцениваете актуальность пособия?

Автор: Актуальность всегда сопряжена с определенным временным интервалом. Думается, что с учетом быстроразвивающейся индустрии информационных технологий, опаздывание на 2—3 года может привести к неконкурентоспособности будущего специалиста. Выход данного пособия в 1991 г. был бы своевременным, хотя, бесспорно, по мнению автора, и то, что в 1995 г. это пособие потребует существенно дорабатывать.

Читатель: Собственно, автор-то кто будет?

Автор (скромно): Выпускник КуАИ 1978 г., канд. техн. наук (диссертация по оптимизации параметров двигателя в системе самолета). С 1977 г. занимается вопросами компьютерного проектирования самолета и его силовой установки. На кафедре КиПЛА с 1986 г.

На этом можно было бы более не утомлять настоящего читателя ни придуманными вопросами, ни подготовленными ответами, а рекомендовать «сытому» студенту (читай среднему или слабому) «залпом проглотить» эту маленькую брошюру, чтобы не почувствовать тяжесть освоенного материала, а жадному до знаний студенту (читай сильному) постараться «посмаковать» эту книжицу, закусывая ее бесчисленным «гарниром», в том числе, и из списка литературы. Приятного аппетита!

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен специалистам конструкторских бюро имени О. К. Антонова (г. Киев) и АНТК имени А. Н. Туполева (г. Самара) за ценные замечания и советы по улучшению ра-

боты. Без дружеской поддержки коллег по кафедре КиПЛА эта работа не увидела бы свет.

Автор искренне благодарит всех, кто оказал помощь в оформлении и подготовке пособия.

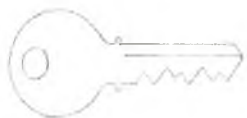
КЛЮЧЕВЫЕ ТЕРМИНЫ

«Верно определяйте слова
и вы освободите мир от
половины недоразумений»

Декарт

«Ведущиеся до сих пор дискуссии о том, что же такое проектирование, — наука или искусство — лишь отражают уровень наших знаний о законах, формирующих облик самолета»

[78, с.22]



В данном разделе даны определения лишь наиболее важным терминам, которые используются в пособии. Их краткое толкование в начале позволит сразу погрузиться в изучаемую область и оценить круг рассматриваемых проблем.

Автоматизация проектирования (АП) — применение вычислительных средств и методов, способствующих минимизации непосредственного участия проектировщика в самом процессе проектирования. Основная цель АП — повышение производительности и эффективности труда проектировщика, а также повышение качества проекта. Основные задачи АП: автоматизация поиска решений; замена наиболее трудоемких, рутинных проектных работ формальными операциями; совершенствование методов проектирования на основе математического моделирования. Предел АП — автоматическое проектирование.

Автоматизированное проектирование — проектирование, при котором отдельные преобразования описаний объекта и/или алгоритма его функционирования, а также представление описаний на различных языках осуществляется путем взаимодействия человека с ЭВМ¹. В отличие от автоматического проектирования, в котором человек участвует лишь при вводе в ЭВМ первичного описания объекта, в неавтоматизированном («ручном») проектировании все преобразования описаний объекта осуществляет проектировщик.

База данных (БД) — организованная совокупность данных с их описанием, предназначенная для обработки на ЭВМ при решении задач в автоматизированных системах.

¹ ГОСТ 22487—77. Проектирование автоматизированное. Термины и определения,

База знаний (БЗ) — организованная совокупность знаний, обладающих внутренней структурой и связанных между собой системой различных отношений. БЗ является дальнейшим развитием БД. В БЗ содержится система знаний о проблемной области как части объективного мира со всеми взаимосвязями, которые существуют между ее элементами и динамикой их изменения.

Искусственный интеллект (ИИ) — научное направление, в рамках которого разрабатывают программно-аппаратные средства, имитирующие элементы мыслительной деятельности человека. Основные задачи ИИ — упрощение процесса общения человека с ЭВМ и расширение доли участия машины в решении трудноформализуемых задач (переход к автоматическому режиму).

Неопределенность проектной информации — объективно присущая процессу проектирования неподнота, недостаточность, недоопределенность, неадекватность, а также частичная недоуверенность исходной проектной информации. Неопределенность исходной проектной информации включает неопределенность цели, критериев оценки, условий реализации, математического описания, исходных данных и т. д.

Оптимизация — процесс нахождения экстремума функции или выбора наилучшего варианта из множества возможных.

Проектирование — процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего объекта (ГОСТ 22487—77).

Данный термин вызывает наибольшее число дискуссий (см. эниграф). Так, например, в работе Джонса [33], в главе «Что такое проектирование?», анализируется более десяти определений «проектирования». Ниже приводится ряд не менее удачных формулировок этого термина, включая и определение самого Джонса. Их сооставление и анализ позволяют лучше понять этот ключевой термин.

Проектирование — процесс, который кладет начало изменениям в искусственной среде [33, с. 54].

Проектирование — процесс направленного действия проектировщика, необходимый для выработки технических решений, достаточных для реализации создаваемого (несуществующего) объекта, удовлетворяющего заданным требованиям [23, с. 7].

Проектирование — это комплекс работ с целью получения описаний нового или моделируемого технического объекта, достаточных для реализации или изготовления объекта в заданных условиях [59, с. 7].

Проектирование — это процесс создания описания, необходимого для построения в заданных условиях еще не существую-

шего объекта, на основе первичного описания этого объекта [44, с. 6].

Проектирование как наука представляет собой систему знаний о свойствах объектов проектирования, принципах и методах выбора их параметров [107, с. 9].

Проектирование — есть форма познания объективного мира [19, с. 43].

Проектирование — выбор некоторого способа действия [32, с. 23].

Проектирование самолета — это и искусство, и наука [95, с. 18].

Проектирование самолета — процесс разработки технической документации, которая обеспечивает возможность промышленного изготовления нового самолета, отвечающего заданным требованиям, и позволяет осуществлять его надежную эксплуатацию в заданных условиях [78, с. 13].

Проектирование — вид научно-технической деятельности, представляющий из себя процесс определения (исследование, поиск, прогноз, выбор, расчет) основных параметров и характеристик объектов проектирования, необходимых для конструирования, т. е. для разработки конструкции, материализуемой в процессе изготовления.

В последнем определении сделана попытка вычлнить этап конструирования как низшую (итоговую, завершающую) фазу проектирования. Насколько это удачно — судить Вам. Итак, дискуссия продолжается. Слово за Вами, мыслящий читатель!

Предварительное проектирование самолета — это этап разработки технических предложений, включающий в себя выбор схемы и определения наилучшего сочетания основных параметров самолета и его систем, обеспечивающих выполнение заданных требований, либо обоснование необходимости их корректировки [78]. Цель этого этапа — решение вопроса о технической и экономической целесообразности разработки самолета [98].

Система автоматизированного проектирования (САПР) — организационно-техническая система, состоящая из комплекса средств автоматизации, взаимосвязанного с подразделениями проектной организации, выполняющая автоматизированное проектирование (ГОСТ 23501.0—79). САПР, разрабатываемые на основе технологии ИИ, называются *интеллектуальными*.

Формализация — это представление и изучение какой-либо области знания (научной теории, рассуждения, процедур поиска и т. п.) в виде формальной системы или исчисления. Представление знаний об объекте проектирования в виде формальных структур наиболее сложная и ответственная часть работ при создании интеллектуальных САПР.

Экспертная система (ЭС) — это комплекс программ ЭВМ, использующий знания и технику рассуждений человека-эксперта и предназначенный для решения определенного круга задач в конкретной предметной области. Гибридные ЭС — это объединение пакетов прикладных программ и сложных расчетно-логических систем с традиционными ЭС [71]. Интеллектуальные САПР, в определенной мере, можно отнести к гибридным ЭС.

Известный специалист по ЭС К. Нейлор с присущим англичанам юмором писал: «...само определение ЭС настолько широко, что любой может добавить к нему практически что угодно», при этом заявив: «В конце концов они полезны, и кого волнует, как они называются?» [56].

Приведенная дюжина ключевых терминов, в свою очередь, как это видно из определений, опирается на другие понятия. Так как невозможно в принципе остановиться на всех используемых терминах, то для читателей с разной начальной подготовкой в области АП может не оказаться должного терминологического пояснения. Утолить терминологический интерес в этом случае помогут приведенные библиографические ссылки.

ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМУ



«— Я продам книгу мудрости за тысячу золотых, и каждый скажет, что это недорого.

— Я открою секрет постижения Мудрости, и никто не возьмет эту книгу даже даром».

Идрис Шах
«Мыслители Востока»

«...мудрости нельзя научить со слов. В процессе обучения студент должен не просто получить определенный объем информации»,..., а научиться «думать, выносить собственные суждения и принимать решения в рамках реальных ситуаций».

П. Хилл [104]

Основой при изучении любой области знания всегда является анализ предшествующих работ. В рассматриваемой проблеме условно можно выделить три основных направления, по которым проводятся исследования и синтез которых позволяет осуществить ее решение (рис. 2.1). В первую очередь, это работы, посвященные разработке и совершенствованию методов и algo-

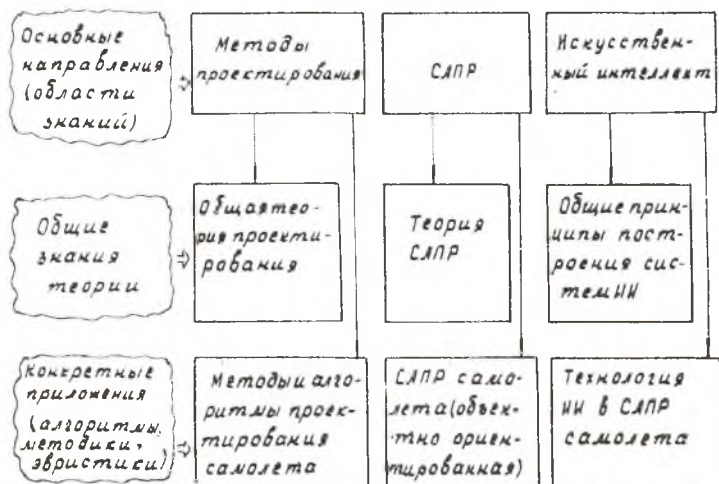


Рис. 2.1. Условная классификация базовых областей знаний в автоматизированном проектировании самолета

ритмов проектирования, включая математические модели объекта проектирования. Причем, с одной стороны, разрабатываются обобщенные методы, охватывающие общие проблемы проектирования, с другой стороны — это частные методики, относящиеся непосредственно к изучаемому объекту, в данном случае самолету. Аналогично может быть рассмотрено и второе направление, в котором изучается, с одной стороны, выделявшаяся уже в самостоятельную область исследования — САПР как объект проектирования (исследования) и, с другой стороны, непосредственно объектно-ориентированные САПР самолета. В третьем направлении также условно можно выделить работы, посвященные как общим вопросам создания ЭС на базе технологии ИИ, так и использованию этой технологии в АП самолета. В соответствии с предложенной классификацией рассмотрим основные работы, отметив при этом, что цель обзора — определить лишь первый круг чтения, а не дать всесторонний глубокий анализ всех работ.

2.1

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Разработка общих методов и подходов к проектированию технических систем всегда привлекает исследователей. Можно выделить работы таких зарубежных авторов, как Джоне [33], Хилл [104], Дитрих [32], Уайлд [100] и др. Ценность этих фундаментальных работ по теории проектирования, наряду с теми научными и практическими результатами, которые они содержат, заключается в философском анализе и осмыслении всего, что связано с проектированием. Из отечественных работ можно выделить учебник по методам поискового проектирования А. И. Половникина [69], методическое пособие В. П. Орлова [61], учебное пособие В. П. Быкова [18], теоретические работы В. М. Шейнина [107, 108] и др. [1, 2]. Теория проектирования тесно переплетается с такими дисциплинами как исследование операций и теория принятия решений. Широко известны работы в этих областях Е. С. Вентцель [21], О. И. Ларичева [46], Н. П. Моисеева [54], Райфа [81] и многие другие, знакомство с которыми позволит обогатить арсенал средств инженера-проектировщика. Наглядным примером слияния математического аппарата многокритериальной оптимизации с практикой проектирования могут служить работы [17, 41, 88, 90].

Что касается книг по методам предварительного проектирования самолета, то в учебных пособиях, подготовленных ведущими преподавателями авиационных вузов, можно найти до-

статочию обширную библиографию по этому вопросу (см., например, пособия КуАИ [25, 79, 99], МАИ [49, 82] и др.). На сегодня основным учебником по проектированию самолета остается фундаментальная работа коллектива авторов из МАИ [78]. Не нуждается в комментариях всемирно известная монография Э. Тореллика [98], переведенная в нашей стране. Наряду с учебником Л. Николаи [129], книга голландского профессора является основной в американских и западно-европейских университетах [128]. Прекрасный учебник по проектированию самолета написан бывшим летчиком ВВС Великобритании Д. Стинтоном [95]. Перевод этой книги осуществлен киевской редакцией ВЦП в 1986 г., что сделало доступным материал этого учебника для наших студентов. Следует отметить работы по весовому проектированию В. М. Шейнина, в частности [107], в которых накоплен богатый статистический материал и предложены оригинальные методы повышения достоверности весовых формул. Широко известны работы О. К. Югова по интеграции параметров планера и его силовой установки [114]. Разработанные в этих и многих других не названных здесь работах методы и алгоритмы проектирования самолета легли в основу методического обеспечения САПР самолета.

2.2

САПР САМОЛЕТА

Различные аспекты теоретических и практических вопросов по разработке САПР подробно рассмотрены в научной и учебной литературе [6, 19, 23, 26, 35, 44, 53, 59, 62, 66, 67, 68, 96 и мн. др.]. Все работы в этой области перечислить практически невозможно. В технических вузах, где читается курс САПР, часто не используют свои пособия, а практическое обучение ведется обычно на самостоятельно разработанных комплексах, так называемых учебно-исследовательских САПР.

Для тех, кто взял в руки это пособие, имеет смысл выделить лишь учебные пособия и методические указания, вышедшие в издательстве «Высшая школа» в 1986 г. («САПР» [87] — в 9 книгах), в 1989 г. («Перспективы развития вычислительной техники» [68] — в 11 книгах) и в 1990 г. («Разработка САПР» [80] — в 10 книгах), а также весьма полезный «Справочник по САПР» [94].

Среди доступного для массового читателя зарубежных работ по АП можно выделить, например, работы немецких специалистов [28, 109]. Действительное число работ в области САД/САМ за рубежом стремится к бесконечности. В свою очередь, это определило «переход количества в качество» не только самих САПР, но и результатов их деятельности.

Работами в области САПР самолета в нашей стране и за рубежом занимаются самолетостроительные фирмы и ОКБ, отраслевые НИИ и лаборатории, технические университеты и авиационные вузы. Еще в середине 70-х годов в мире насчитывались десятки комплексов и систем программ, автоматизирующих проектные процедуры анализа и синтеза облика самолета [27]. В качестве примеров таких разработок в данном разделе приведены характеристики некоторых отечественных и зарубежных САПР, созданных в последние годы.

2.2.1

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ САПР САМОЛЕТА

Комплекс программ **ФОРПОСТ** (ФОРмирование Предварительного Облика Самолета — подсистема САПР-АП). Основное назначение этой оригинальной разработки сектора САПР КБ им. О. К. Антонова — синтез описания дозвукового самолета и его агрегатов в САПР [77]. С помощью комплекса **ФОРПОСТ** осуществляется взаимная компоновка агрегатов при формировании облика самолета; расчет основных характеристик самолета в объеме техпредложения; формирование каркасных моделей для получения эскизов самолета и его агрегатов; проведение параметрических исследований. Проектные операции в **ФОРПОСТе** выполняются под управлением проектировщика с помощью директив и параметров операций, вводимых в пакетном или диалоговом режимах. Подсистема **ФОРПОСТ**, так же, как и ряд других подсистем САПР—АП, создавалась на основе применения методов и средств программирования, составляющих единую технологию разработки программных комплексов (нисходящее проектирование и разработка программ, структурное программирование). Для этой цели был специально разработан Комплекс Информационного Обеспечения (КИНО), который представляет собой макрорасширение языка ПЛ/1 и набор подпрограмм для разработки пользовательских программ [43]. КИНО позволяет разрабатывать программы-мониторы, обеспечивающие в САПР управление последовательностью проведения расчетов с помощью директив; организовывать доступ и управление сегментами данных в оперативной памяти и в БД; организовывать ввод, вывод и редактирование данных.

ФОРПОСТ реализован на алгоритмических языках ПЛ/1 и ФОРТРАН в ОС ЕС ЭВМ. Максимально потребный для его работы объем оперативной памяти 600 кБт.

Из-за низкого качества и неприемлемых для САПР характеристик коммерческих СУБД и графических систем на начало разработки ФОРПОСТА они не были использованы и даже не адаптировались. Для выполнения функций управления данными и построения геометрических обводов были специально разработаны программы обслуживания БД, Графический Интерактивный Монитор (ГРИМ) и др. программы.

В настоящее время, продолжая совершенствовать методическое и программное обеспечение САПР, фирма активно работает уже в вычислительной среде 32-разрядных ПЭВМ, объединенных в сеть с мощной ЭВМ. Существенно более богатое программное обеспечение ПЭВМ заставило во многом пересмотреть программную реализацию и пользовательский сервис в подсистеме предварительного проектирования самолета. Впрочем, ставшая уже традиционной неудовлетворенность рынком инструментальных средств для САПР сложных машиностроительных объектов опять вынудила сектор САПР разрабатывать пакет, аналогичный КИНО, но с существенно большими возможностями для разработчиков и пользователей САПР.

Система проектирования самолета ЦАГИ [22, 63]. Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), как головной НИИ авиакосмической отрасли, не только осуществляет фундаментальные исследования, проводит экспертизу проектов, но и координирует работу в области САПР.

Основные принципы построения САПР самолета были разработаны в одном из отделений ЦАГИ под руководством Л. М. Шкадова во второй половине 70-х годов [63]. К этому времени большинство функциональных блоков¹ уже активно использовались в исследовательских и проектных работах. Это блоки «Аэродинамика», «Силловая установка», «Органы управления», «Масса», «Механика», «Акустика», «Экономика», назначение которых во многом определяет их название. В комплексе программ формирования облика самолета важнейшими являются также блоки «Предварительного формирования схемы самолета», «Компоновки», «Описания геометрии самолета» и «Учета ограничений и условий применения». Анализ решаемых последними блоками задач, алгоритма работы самих блоков и возможных способов решения этих задач показывает, что технология ЭС наиболее приемлема для автоматизации этих проектных процедур.

¹ При описании созданных САПР автор стремился придерживаться терминологии разработчиков.

Среди так называемых сервисных блоков следует отметить блоки «Экстремум» и «Риск». Блок «Экстремум» — блок поиска условного экстремума функции многих переменных. Такой блок оптимизации, включающий в себя программную реализацию различных алгоритмов, является важным и неотъемлемым элементом в САПР. Блок «Риск» предназначен для оценки влияния степени неопределенности различных исходных параметров проектируемой системы на ее выходные характеристики. Исследуемые параметры считаются случайными величинами с заданными законами распределения. В этом случае задача сводится к определению вероятностных характеристик выходных функциональных зависимостей, обычно моделированием по методу Монте-Карло.

Для организации обмена информацией в автоматизированной системе формирования облика самолета и взаимодействия системы и пользователя используется оперативный банк данных [22].

Комплексе программ формирования облика самолета постоянно совершенствовался следующим образом:

- расширялся круг решаемых задач;
- дорабатывалось функциональное наполнение;
- осуществлялся перевод на более эффективные ЭВМ;
- использовались современные математические методы, инструментальные средства, операционные системы и многое др.

Подсистема САПР для интеграции самолета и двигателя [14]. Центральный институт авиационного моторостроения (ЦИАМ) является головным НИИ в авиадвигателестроительной отрасли. ЦИАМ, как и ЦАГИ, занимается вопросами АП, но уже двигателя, а не планера. Одной из подсистем САПР, разработанных в ЦИАМ, является подсистема согласования основных проектных параметров самолета и двигателя, которая используется в задачах определения облика самолета. Несмотря на то, что модули, используемые в этой подсистеме, в функциональном плане во многом совпадают с модулями САПР самолета ЦАГИ, в большинстве своем они отличаются по содержанию. Если в САПР ЦАГИ подробно «описан» планер, а двигатель представлен лишь его выходными характеристиками, то в подсистеме САПР ЦИАМ «перекос» сделан в сторону (или в пользу) двигателя. Последнее позволяет осуществлять оптимизацию даже параметров рабочего процесса двигателя в системе самолета. «Подробное» и «поверхностное» описание объекта, иными словами его математическая модель, определяет круг задач, который может быть решен на этой модели. Поэтому эти системы, не конкурируя, а взаимно дополняя друг друга, решают свои вполне конкретные задачи.

В подсистеме САПР ЦИАМ особо хотелось бы выделить использование регрессионных моделей при построении изоповерхности целевых функций и оптимизации, т. е. приоритет применения метода активных вычислительных экспериментов и замены исходной модели объекта на регрессионную в отечественных САПР принадлежит ЦИАМ (Г. В. Васильеву).

Учет неопределенности исходных проектных данных и оценка риска невыполнения технического задания осуществляется в данной подсистеме аналогично блоку «Риск» в системе ЦАГИ.

Учебно-исследовательская САПР МАИ, предназначенная для автоматизированного формирования облика самолета, подробно описана в учебном пособии [37], знакомство с которым обязательно для потенциальных пользователей и разработчиков САПР самолета. Особенность данной УИ САПР заключается в достаточно простой структуре системы организации данных и в использовании более простой математической модели самолета. Система построена с использованием так называемого вызывающего монитора, который управляет решением заранее оговоренного круга задач. Велись также работы по использованию так называемого гибкого монитора, который выполняет функции автоматического формирования из набора модулей требуемой вычислительной схемы и генерирует ее управляющую программу [66]. Использование такого монитора избавляет пользователя от необходимости предварительно разрабатывать управляющие программы для всех возможных постановок задач, встречающихся при проектировании. Именно такого рода монитор относится к элементам ИИ в САПР.

В качестве формальной стратегии поиска наилучшего сочетания параметров самолета в данной САПР используется алгоритм минимизации целевой функции Дживса и Хука (стоит отметить, что этот алгоритм встречается во многих САПР самолета).

Система используется, в основном, в дипломном и курсовом проектировании студентами самолетостроительной специальности МАИ.

В Самарском авиационном институте также используется ряд подсистем и пакетов программ, автоматизирующих отдельные проектные операции и процедуры на этапе формирования облика самолета. Это и расчет аэродинамических и летно-технических характеристик, выбор параметров двигателя для самолета и расчет высотно-скоростных характеристик двигателя, построение общего вида самолета и тп. др. Однако говорить в этом случае о САПР в общепринятом смысле не приходится.

Среди зарубежных САПР облика самолета наибольший интерес представляют западно-европейские и американские разработки. Приведем краткие характеристики некоторых САПР:

Система ADAS (Aircraft Design and Analysis System) Делфтского технологического университета (Нидерланды) [118, 119]. В основу системы были положены методические разработки уже упомянутого выше проф. Э. Торенбика. Система ADAS разрабатывается на факультете Авиакосмической техники с 1982 г. Именно тогда в этом университете были начаты исследования по определению спецификаций для новых CAD—system. Выработанные в то время требования к системе ADAS типичны для современных САПР, поэтому есть смысл привести наиболее характерные из них [118]:

- система должна иметь возможность приспосабливаться к решению структурных и процедурных задач, определяемых пользователем (*гибкость*);

- система должна быть *открытой* к внешним программам на всех уровнях проектирования;

- внимание должно быть обращено на *дружественное общение* и непринужденные действия;

- должен быть *простой и быстрый* пре- и постпроцессор;

- система должна базироваться на той вычислительной технике и том программном обеспечении, которое *имеется* на университетском вычислительном центре.

Конфигурация САПР была выбрана многопользовательская и «под ключ» («turnkey»), рассчитанная на мощный процессор и богатую периферию. Конфигурация университетского hardware и workstation аналогична используемой в NASA Langly для САПРовских исследований. В частности, это ЭВМ PRIME 750 (4 МБт оперативная память и 630 МБт вичестер), соединенная с большой ЭВМ IBM 3083.

Система ADAS состоит из управляющей программы, осуществляющей диалог пользователя с системой; универсальной программы по организации выполнения пользовательских программ (ADAP); графической системы MEDUSA; базы данных.

Проектная база данных содержит 10 тыс. элементов, которые описывают проект самолета. Каждая переменная имеет свой уникальный индекс и соответствующую ссылку на «словарь данных», в котором находится ее «физическое определение», т. е. инженерное наименование и размерность. Кроме проектной БД в БД ADAS хранятся: данные о двигателях; данные об аэродина-

мических профилях; геометрическая информация, полученная в результате работы с системой MEDUSA (графическая БД).

В экспериментальной версии системы (a pilot system) ADAS метод доступа к данным был упрощен и адаптирован к структуре БД. Однако уже в следующей версии системы применяется реляционная СУБД ORACLE, которая позволяет существенно расширить возможности работы с БД.

Мощным средством в руках проектировщика является использование системы геометрического моделирования MEDUSA¹ с соответствующими интерфейсными объектно-ориентированными программами. Последние позволяют существенно облегчить как построение геометрической модели объекта, так и интерпретацию результатов проектирования.

В определенной степени к интеллектуальным средствам можно отнести универсальную программу ADAP, которая позволяет автоматизировать выполнение проектных процедур и операций. В этом случае построение выполняемого модуля осуществляется из «строительных блоков» библиотеки программ пользователя, а данные, необходимые для этого модуля, считываются с файлов БД. Два основных способа выполнения исследования в системе ADAS также осуществляются с помощью ADAP — это параметрический анализ и оптимизация, причем предпочтение отдается последнему.

Основные пользователи системы — это студенты университета, хотя по своим возможностям система ADAS сравнима с аналогичными системами, используемыми в аэрокосмической промышленности. Причем стоит заметить, что данная система имеет определенные преимущества за счет реализации в ней принципов открытости для новых функциональных модулей и гибкости в формировании и выполнении проектных процедур. Авторы системы считают, что ADAS является «современным инструментом для проектирования самолета и оптимизации», который позволяет «приобрести опыт предварительного проектирования».

Система CAPDA (Computer—Augmented Preliminary Design procedure for commercial Aircraft) аэрокосмического института Берлинского технического университета (Германия) [123]. Начало разработки этой системы по времени совпадает с системой ADAS (1982 год). В системе CAPDA также упор сделан на «гибкость и ясность системы проектирования в отличие от существующих в промышленности сложных систем, которые пытаются охватить весь диапазон проектирования самолета».

¹ Эта система и различные русифицированные версии аналогичных систем широко используются в отечественных САПР, причем чаще всего на этапе рабочего проектирования.

Особое внимание уделяется модульной, ясной структуре системы, а не «завершенности и сложности». В данной системе СУБД управляет двумя идентичными по структуре БД, состоящих из статистических данных и данных проекта. Особенностью системы CAPDA является наличие статистического процессора, который позволяет, с одной стороны, «получать статистические формулы для функциональных модулей, с другой — получать предварительные оценки для проектных переменных». Так как БД содержит данные около 160 различных коммерческих самолетов (в перспективе до 300), то статистический процессор может давать хорошие результаты для обеих задач.

Модуль оптимизации состоит из нескольких программ, реализующих методы Хука-Дживса и Лагранжа, причем первый рассматривается как основной благодаря его надежности и относительно высокой эффективности.

Авторы системы CAPDA подчеркивают, что эффективность САПРовских систем во многом зависит от характеристик управляющей системы (**monitoring system**), которая могла бы управлять процессом проектирования так, как это ясно и понятно проектировщику. Иными словами, речь идет об интеллектуализации системы, хотя авторы CAPDA об этом ни словом и не обмолвились. Вот лишь несколько моментов, которые выделили авторы CAPDA в работе над «управляющей системой»:

ввод данных генерируется либо на основании опыта конструктора, либо *автоматически* с помощью статистической БД;

процесс проектирования должен иметь ту же последовательность и логику, что и процесс проектирования без применения ЭВМ. Это включает возможность изменения параметров конструктором на основании его опыта и интуиции для достижения более быстрой конвергенции процесса синтеза;

процесс проектирования должен представлять собой последовательность произвольного числа отдельных задач. Должна быть возможность «скачка» между различными уровнями проектирования, а также возможность прерваться на любом этапе;

интегрирование произвольных программ анализа в системе должно быть возможным без больших модификаций в ней.

Среди ранних разработок в области автоматизации предварительного проектирования самолета известны программы GASP (**General Aviation Synthesis Program**) и ACSYNT (**AirCRAFT SYNThesis**), разработанные в НАСА (США), SYNAC (**SYNThesis of AirCRAFT**) фирмы «Дженерал Дайнемикс», комплексе программ Королевского авиационного института (Англия) и др. Еще в начале 70-х годов на базе модификации системы GASP были разработаны два пакета BIZJET и FIGHTER, которые широко используются в настоящее время в университетах США

[128]. Программа FIGHTER применяется в параметрических исследованиях истребителей, а BIZJET — для предварительного проектирования небольших самолетов.

Отдел перспективных исследований фирмы Локхид на этапе концептуального проектирования самолета использует программу с одноименным названием GASP (Generalized Aircraft Sizing and Performance). «Гибкость» этой программы позволяет моделировать «уровень технологии» аэродинамических характеристик и характеристик материала таким образом, что имеется возможность осуществить исследования перспективных самолетов самых необычных схем [125]. Так же, как и в САПР ЦАГИ, в этой фирме используют как детерминированное, так и вероятностное описание входных и выходных параметров модели [117]. Последнее позволяет существенно повысить достоверность результатов исследований и уменьшить риск при проектировании.

Известная фирма Боинг также использует ряд пакетов программ на этапе предварительного проектирования самолета. Так например, программа PWSIM (Propulsion/Weapon System Interaction Model) позволяет осуществить исследования и предварительное проектирование различных конфигураций многоцелевых самолетов, а также осуществить оптимальное согласование параметров силовой установки и планера [133]. Именно фирма «Боинг» впервые в САПР использовала «простую квадратичную связь между входными проектными параметрами и выходными характеристиками для выбора проекта» [130], т. е. для оптимизации проектных параметров был применен аппарат теории планирования эксперимента с заменой исходной модели на квадратичный полином. Последнее позволяет существенно повысить эффективность оптимизационных исследований.

Завершая обзор, следует назвать наиболее развитые системы среди зарубежных САПР самолета — это ACAD (Advanced Configuration Analysis and Design system) фирмы «Портрон» и CPDS (Computer-aided Preliminary Design System) фирмы «Боинг». К сожалению, стоит согласиться с утверждением К. Била, разработчика описанной выше системы ADAS, что «редко встречаются описания САПР, которые используются в самолетостроении» [119]. В определенной степени представленные выше общие сведения о таких САПР восполняют этот пробел. Поэтому сладостные чувства переполюют автора от свершенного доброго поступка по отношению к своим студентам, которые дочитали этот раздел до конца и теперь могут щеголять своими познаниями перед юными сокурсницами.

Резюме по данному разделу: анализ развития современных САПР самолета показывает, что элементы технологии ИИ стрuдом, но уверенно пробивают дорогу в САПР. На этот же счет еще более лаконично высказался Превро [74]: «ИИ и ЭС — это будущее САПР».

2.3

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В САПР

Системы ИИ и, в частности, ЭС опираются на формализмы, моделирующие «человеческие» рассуждения и «человеческий» образ действия. Во многом теоретическая основа этого — древняя наука логика. Ее аппарат расширялся, дорабатывался применительно к современным техническим и программным средствам, что позволило создавать системы, именуемые как *интеллектуальные*.

Трудно предположить, умышленно или нет, но в последние три—четыре десятилетия в советской школе и технических вузах курс логики отсутствовал, хотя уже в 1947 году были прекрасные учебники, например С. Н. Виноградова [24] для средней школы и В. Ф. Асмуса [3]. Автор считает, что, по-видимому, «здоровый смысл», лежащий в основе этой древнейшей науки, плохо вписывался в утопические постулаты. В последние годы вышли книги для факультативного изучения этой дисциплины в школе [39, 58], а для широкого круга читателей, интересующихся вопросами ИИ, это работы известного специалиста в области ИИ проф. Д. А. Поспелова [72, 73]. Чтение любой из этих популярных книг не только доставит удовольствие читателю, но и подготовит его к пониманию методических основ систем ИИ.

К основополагающим книгам по ИИ следует отнести работу председателя Научного совета АН СССР по проблеме «ИИ» академика Г. С. Поспелова [71]; вышедший в 1990 году в 3-х книгах справочник по ИИ [40] и целый ряд книг, выходящих в серии «Проблемы ИИ» в издательстве «Наука» [20, 45, 70 и др.]. Среди зарубежных работ по ИИ — это переводы фундаментальных исследований японских специалистов из 10-томной серии по инженерии знаний [65, 75 и др.], книги по ЭС [48, 91, 97, 102, 111, 112, 113], языкам логического программирования [16, 34, 115], целый ряд специальной и популярной литературы [30, 36, 42, 47, 52, 83, 85], а также большое количество непереведенных на русский язык работ. По вопросам создания и применения систем ИИ проходят научные конференции [76], выпускаются разнообразные сборники статей [11, 47, 101], в научных журналах выделяются специальные разделы [86], освещающие

проблемы ИИ. В настоящее время можно смело говорить о наступившем буме, который по размерам, пожалуй, превосходит САПРовский, десятилетней давности. Направление ИИ стало модным, и каждый «уважающий себя» специалист спешит приписать свою разработку к интеллектуальной.

Реальные успехи достигнуты при использовании технологии ЭС в таких областях, как диагностика, консультация и планирование. Что касается проектирования, то успехи здесь значительно скромнее.

Проф. О. С. Самойлович, видимо, был первым у нас в стране, кто использовал, «не подозревая об этом», методы ИИ в АП самолета [37] (слова, выделенные в кавычках, принадлежат самому Олегу Сергеевичу). Именно лекции проф. О. С. Самойловича по САПР самолета окончательно убедили автора в необходимости заниматься исследованиями в данной области и в итоге в целесообразности написания данного пособия.

В автоматизации предварительного проектирования самолета условно можно выделить ряд направлений (рис. 2.2). Одно из них связано со взаимным проникновением этапов проектирования друг в друга. Это интегрирование процесса проек-

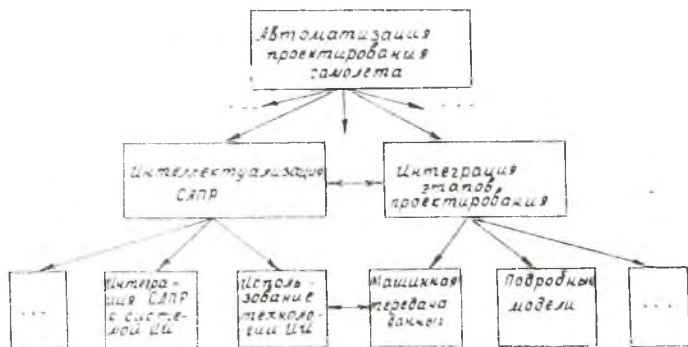


Рис. 2.2. Основные направления развития автоматизированного проектирования самолета

тирования, использование на ранних этапах проектирования более «детальных» и «подробных» моделей, в том числе конечно-элементных [116, 117, 132]. Необходимость такой интеграции обусловлена не только возможностью сокращения сроков проектирования, используя «машинный» способ передачи данных от одного этапа проектирования к другому, но и возможностью повысить качество проектирования путем быстрой оценки реализуемости проектных решений, полученных на ранних этапах проектирования.

Другое направление в АП связано с описанием процесса проектирования на основе использования технологии ИИ [49, 120, 124, 126, 131]. В работах этого направления изначально формализация процесса проектирования и связанная с этим формализация накопленных знаний осуществляется методами и средствами, разработанными в рамках научного направления ИИ. Примерами таких разработок являются известные проекты Paper Airplane («бумажный самолет») и Rubber Airplane («резиновый самолет») [124]. Проект Paper Airplane был разработан в Массачусетском технологическом институте на языке Franz LISP (ЛИСП) для VAX и был предназначен в качестве инструмента для концептуального проектирования. Rubber Airplane является развитием «успешных» идей Paper Airplane, но с более гибким и простым описанием проекта. Rubber Airplane написан на Common LISP. Язык символьного программирования («LIST Programming» получил самое широкое распространение в США при создании систем ИИ [83, 106]. На этом же языке написано, например, все математическое обеспечение системы инженерного проектирования AutoCAD.

Язык компьютерного проектирования wind Frame («извилистый» фрейм¹ [124] является одним из разрабатываемых инструментов проектирования, на которые возлагают свои надежды создатели интеллектуальных САПР. В wind Frame структура описания концепции проекта представлена в виде частей иерархического дерева, объединенных отношениями, но не дающих жесткую структуру. Примерами использования wind Frame являются задачи, относящиеся к концептуальному проектированию самолета. Методология использования wind Frame опирается на практику традиционного проектирования самолета и обеспечивает поддержку такого процесса, в котором новые технологии и изменяющиеся требования могут быстро интегрироваться в процесс проектирования и в сам проект самолета [124].

Интеллектуализация САПР идет также и по пути, когда «объединяются САПР с системой ИИ для получения интеллектуальной САПР» [121]. Примером является объединение известной коммерческой разработки авиационной компании Локхид системы САДАМ, реализованной на стандартном ФОРТРАНе, с системой VM/PROLOG (ПРОЛОГ — ПРОграммирование ЛОГическое²). Такая интеграция позволяет использовать преимущества ФОРТРАНа при описании «численных процессов и структур действительных и целочисленных данных», а также

¹ Фрейм — в ИИ единица представления знаний, описывающая понятие или объект.

² Пролог — язык логического программирования для систем ИИ [16, 31]. Широкое распространение получил в Японии и Европе.

PROLOGa при описании «структур данных символьного или нечислового типа, таких как деревья, данные в форме логических операций, динамически изменяющихся структур» [121, с. 156].

Программа **CASTOR** (**C**omputer **A**ircraft **S**ynthesis and **T**rajectory **O**ptimisation **R**outine) технического университета **Loughborough** в Великобритании, также как и описанные в предыдущем разделе системы предварительного проектирования самолета, представляет, по словам ее разработчиков, «типичный эволюционный шаг в компьютерных методах проектирования самолета» [131]. Однако для дальнейшего ее развития в направлении создания «гибкой, мощной и дружественной среды проектирования» авторы **CASTOR** применили технологию ИИ, в том числе, используя такой язык как **LISP**. Объединяя в новой системе, основанной на знании, «консультации через помощь и удобные меню, полезные предложения, базирующиеся на знаниях экспертов», разработчики **CASTOR** надеются существенно расширить возможности системы.

Японские специалисты наводнили западный рынок не только своими дешевыми и надежными «Тойотами» и высококачественными «Сони», но и ЭС в различных областях. Для них (японцев) не существует авторитетов и в авиастроении. Появившаяся публикация [127], посвященная разработке ЭС для эскизного проектирования самолета, свидетельствует о том, что и эта область будет предметом большой и серьезной конкуренции.

Закончить раздел, являющийся кратким путеводителем в области автоматизации предварительного проектирования самолета, хочется словами радикально настроенного и уже ранее цитируемого французского специалиста по САПР [74]:

«В то время, как большинство исследовательских организаций еще задаются вопросом, внедрять или не внедрять САПР, сообщество продавцов уже говорит о проникновении ЭС в сферу проектирования и *отводит существующим САПР место в музее*».

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ САМОЛЕТА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРА

«...очевидно, пока нельзя поручить ЭВМ синтез первого рисунка самолета».

[78, с. 126]

«Многообразие задач, способов их решения не позволяет формализовать процесс разработки алгоритма... Этот процесс принижает роль опыта и интуиции проектирования».

[37, с. 49—51]



Нетрудно заметить явное противоречие в названии раздела и эпитафий к нему, соседствование мажорного и минорного оттенков в них одновременно. Как и все в жизни, летина, по-видимому, лежит посередине. Она — это уступка тому и другому, это компромисс. Но о компромиссе чуть позже, а для начала обратимся к опыту, к истории.

Сотрудники Британской авиационной компании, давая оценку долгосрочного прогноза развития гражданских самолетов, приводят из истории развития авиации такие примеры консерватизма [89]:

«Я ни на йоту не верю в возможность воздухоплавания, кроме как на воздушных шарах». — Лорд Кельвин, 1896 г.

«Научные исследования возможностей реактивного движения не дали никаких указаний на то, что этот метод сможет составить серьезную конкуренцию сочетанию двигатель—воздушный винт». — Министр ВВС, 1935 г.

Автор относит себя к оптимистам, поэтому ему ближе высказывание президента отделения корпорации «Пратт энд Уитни» (США) Кларксона Л. У., который, оценивая перспективы сверхзвуковой пассажирской авиации, заявил [110]:

«ВОЗМОЖНО ПОЧТИ ВСЕ, ПРИ УСЛОВИИ, ЧТО ИМЕЮТСЯ ВРЕМЯ, ТАЛАНТЛИВЫЕ ЛЮДИ И ДЕНЬГИ».

В равной мере эту мысль можно отнести и к автоматизации проектирования, к созданию интеллектуальной САПР — САИР, содержащей весь накопленный опыт и знания проектировщика,

позволяющей осуществлять прогноз в развитии объекта проектирования, делать заключения и принимать решения, во многом опираясь на «собственные знания».

Отсюда основная задача АП максимально автоматизировать все шаги, операции и процедуры и в пределе стремиться к автоматическому проектированию. Очевидно, что «предел» достигнут не будет, т. к. любая «живая»¹ система должна быть открытой, в частности, к новым знаниям, которые постоянно «прибавляются» и сами по себе неисчерпаемы. Но бесспорно, по мнению автора, и то, что все эти вновь появляющиеся знания, необходимые в проектировании, должны быть «введены» в САПР и «принадлежать» ей. Интеллектуальные ресурсы некоторых ЭС близки и даже превосходят человеческие, а с учетом несопоставимой разницы в вычислительных способностях человека и ЭВМ можно утверждать, что САПР из инструмента становится интеллектуальным партнером проектировщика.

3.1

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ САПР САМОЛЕТА



«Большинство существующих ЭС обладают двумя главными недостатками: во-первых, лично вы часто не понимаете, как они работают, а во-вторых, лично у вас их нет».

К. Нейтор [56, с. 11]

В настоящее время число реально действующих ЭС, приносящих коммерческий успех, исчисляется десятками, а число исследовательских и экспериментальных ЭС уже давно перевалило за тысячу. Накопленный опыт в создании ЭС в традиционных для них областях применения, таких как диагностика, консультация и планирование, способствовал внедрению технологии ЭС в область инженерного проектирования. Появившиеся в последние годы так называемые гибридные ЭС объединяют пакеты прикладных программ и сложные расчетно-логические системы с традиционными ЭС.

¹ Автор не смог удержаться, чтобы не привести здесь весьма мудрое изречение английского публициста С. Паркинсона, известного своими «законами»: «Совершенство — это завершенность, а завершенность — это смерть».

В области предварительного проектирования самолета основными инструментами проектирования являются программные комплексы и подсистемы САПР, построенные на основе «строгих» моделей, формализующих те или иные проектные операции и процедуры. При этом инструмент служит лишь для количественного подтверждения тех решений, которые на основе своего опыта, предшествующих решений и обработки всей доступной информации выработал проектировщик. Однако непрерывное усложнение авиационной техники, необозримо огромный статистический и экспериментальный материал и естественная в условиях накопления знаний узкая специализация затрудняют не только выработку наилучших решений с помощью САПР, но и подготовку специалистов, владеющих фундаментальными знаниями в данной предметной области.

В связи с этим важным является изучение и отработка методов и средств новой информационной технологии (НИТ) для использования их как в САПР самолета, так и для подготовки разработчиков и пользователей систем, базирующихся на знаниях. Ниже рассмотрена концепция гибридной ЭС предварительного проектирования самолета, условно именуемая в дальнейшем системой РИСК¹ [11]. Назначением системы РИСК является как экспертиза проекта самолета, так и выработка технического предложения к проекту самолета при объявленном техническом задании.

Применение НИТ при создании системы РИСК обусловлено: частой сменой постановки задач и условий проектирования; наличием типичной проектной неопределенности; наличием накопленных эвристик, обобщений..., неподдающихся строгой формализации; потребностью повышения качества проектирования.

При этом повышение качества проектирования может быть достигнуто за счет:

— совершенствования методов проектирования, путем структурирования знаний предметной области, формализованного их представления в БЗ и развития методов принятия решений;

— автоматизации поиска, обработки и документирования информации, путем описания объекта проектирования в виде информационной структуры, используя современные СУБД, языки логического программирования и др. средства систем ИИ.

Процесс проектирования самолета представляет собой совокупность задач структурного и параметрического анализа и синтеза, которые условно могут быть разделены на следующие этапы (проектные процедуры):

¹ РИСК в английской транскрипции — RISK (Research Incomprehensible Systems on the basis of Knowledge).

определение основных параметров самолета;
определение общей схемы самолета;
определение типа, числа и параметров двигателей;
экспертиза проектных решений;
выработка технического предложения на проект самолета как итог предшествующих этапов.

Результатом работы системы РИСК являются следующие данные по самолету:

основные летно-технические данные самолета;
предварительные аэродинамические характеристики самолета;

предварительные дроссельные и высотно-скоростные характеристики двигателей и их основные технические данные;

основные технико-экономические показатели самолета и предварительная оценка шума и эмиссии выхлопных газов;

общий вид самолета (в 3-х проекциях и изометрии);

предварительная внутренняя компоновка и общая конструктивно-силовая схема.

Основные требования, предъявляемые к системе РИСК и положенные в ее основу, следующие.

Общесистемные требования:

открытость (включение в систему без ее переделки: программных модулей, данных, правил);

гибкость (адаптация на решение задач, определяемых пользователем, включая автоматическое формирование вычислительной схемы);

независимость (отсутствие связи между модулями — программными единицами до начала формирования проектной процедуры или вычислительной схемы);

информативность (обеспечение пользователя необходимой информацией: справочной, нормативной и т. н., включая режим обучения и помощи);

управляемость (управление процессом проектирования);

совместимость (программная и информационная совместимость);

эффективность (наджность функционирования, быстрый пост- и препроцессор, эффективные методы математической поддержки проектирования);

дружественность (взаимодействие пользователя с системой дружественное, без принудительных действий; комфортная среда проектирования).

Требования к программному обеспечению:

модульность (модульный принцип построения прикладного объектно-ориентированного программного обеспечения);

защищенность (наличие специальных средств защиты от программных прерываний).

Требования к лингвистическому обеспечению:

максимальная приближенность к профессиональному языку;
компактность и удобочитаемость описаний;

достаточная конфигурация для представления разнородных структур знаний в БЗ;

соответствие результатов проектирования требованиям стандартов и нормативных материалов на все виды документации.

Организация диалогового взаимодействия осуществляется путем совмещения режимов меню, анкет и директив. При этом можно говорить, что общение осуществляется в основном на непроцедурном языке, т. е. языке, в котором определяется постановка задачи, а не алгоритм ее решения [35].

Структуру системы РИСК можно представить следующим образом (рис. 3.1). Верхний уровень — пользователи. В системе их два типа: конечные пользователи (проектировщики-расчет-

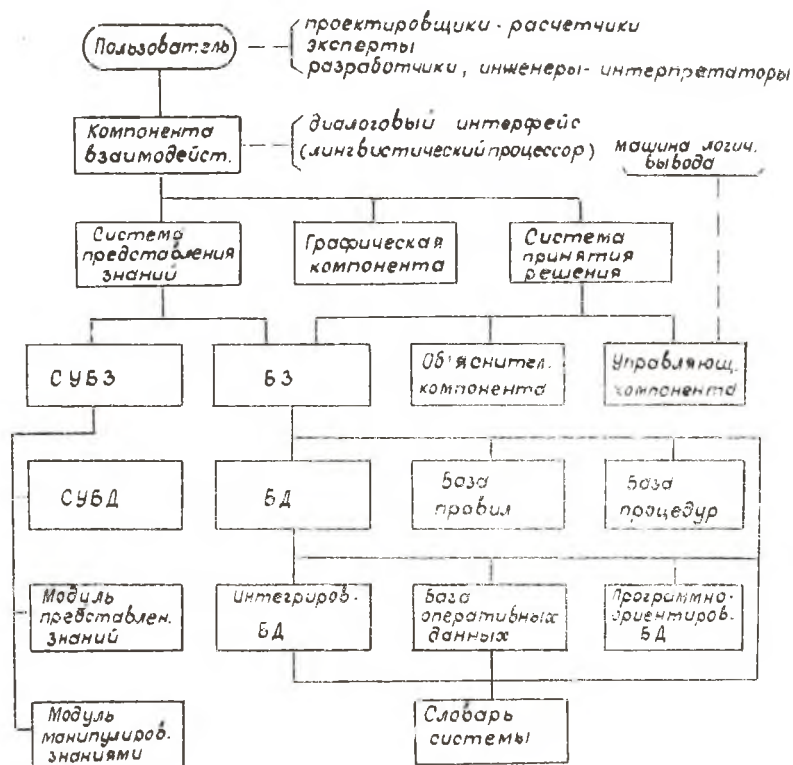


рис. 3.1. Структура интеллектуальной САПР

чки) и разработчики системы (программисты, инженеры-интерпретаторы, эксперты). Взаимодействие пользователя с системой осуществляется через диалоговый интерфейс. Вся система условно можно разделить на три подсистемы: представления знаний, принятия решений и графической поддержки. Последняя подсистема выделена с учетом специфики объекта проектирования, т. к. без графической интерпретации самолета, его характеристик, а также визуализации самих результатов исследований невозможно представить процесс проектирования.

Подсистема представления знаний — это БЗ и СУБЗ. В свою очередь СУБЗ включает СУБД и модули представления и манипулирования знаниями. БЗ включает БД, базу правил и базу процедур. Подсистема принятия решений кроме БЗ содержит две компоненты: объяснительную и управляющую. Словарь инженерных наименований, составленный на основе именованных столбцов таблиц БД и словаря синонимов, реализует семантику данных, циркулирующих в системе РИСК.

Управляющая компонента системы РИСК выполняет две основные функции: автоматизированное формирование вычислительной схемы, используя как прямой (от данных), так и обратный (от цели) тип поиска; организация работы интерпретатора: выборка из БЗ, сопоставление, разрешение конфликтного набора и выполнение. В ЭС такая компонента называется *машиной логического вывода* или просто *машиной вывода*. Механизм, осуществляющий поиск в БЗ по правилам рациональной логики для получения решений, является главным в ЭС. Машина вывода предназначена для построения заключений, и ее действие аналогично рассуждениям эксперта, который оценивает проблему и предлагает гипотетические решения. В поиске целей на основе предложенных правил машина вывода обращается к БЗ до тех пор, пока не найдет приемлемый результат. Язык ПРОЛОГ, например, уже содержит встроенный механизм вывода, базирующийся на методе резолюций, в котором логическая операция *исключения* является основной. Стратегия опровержения на основе резолюции предназначена для построения доказательств. Пример ЭС на ПРОЛОГЕ, приведенный в прил. 1, иллюстрирует работу такого механизма вывода.

Реализация *объяснительных способностей* в соответствующей компоненте системы РИСК сводится к следующим:

- заранее подготовленным текстам, содержащим пояснения;
- наличие программы генерации объяснений из трека выполнения программ (истории активации правил);
- наличие команд, позволяющих анализировать предыдущее, текущее и будущее состояние системы.

В системе РИСК существуют следующие режимы работы:

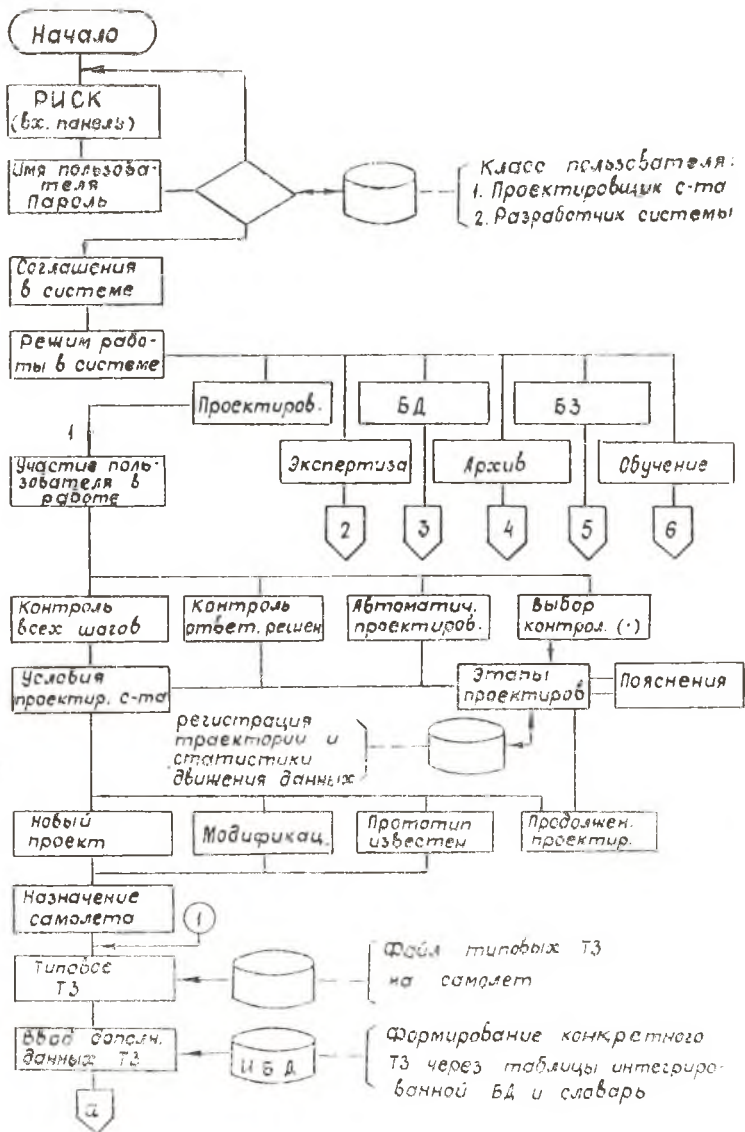


Рис. 3.2 Структурно-логическая схема проектирования в системе РИСК (начало)

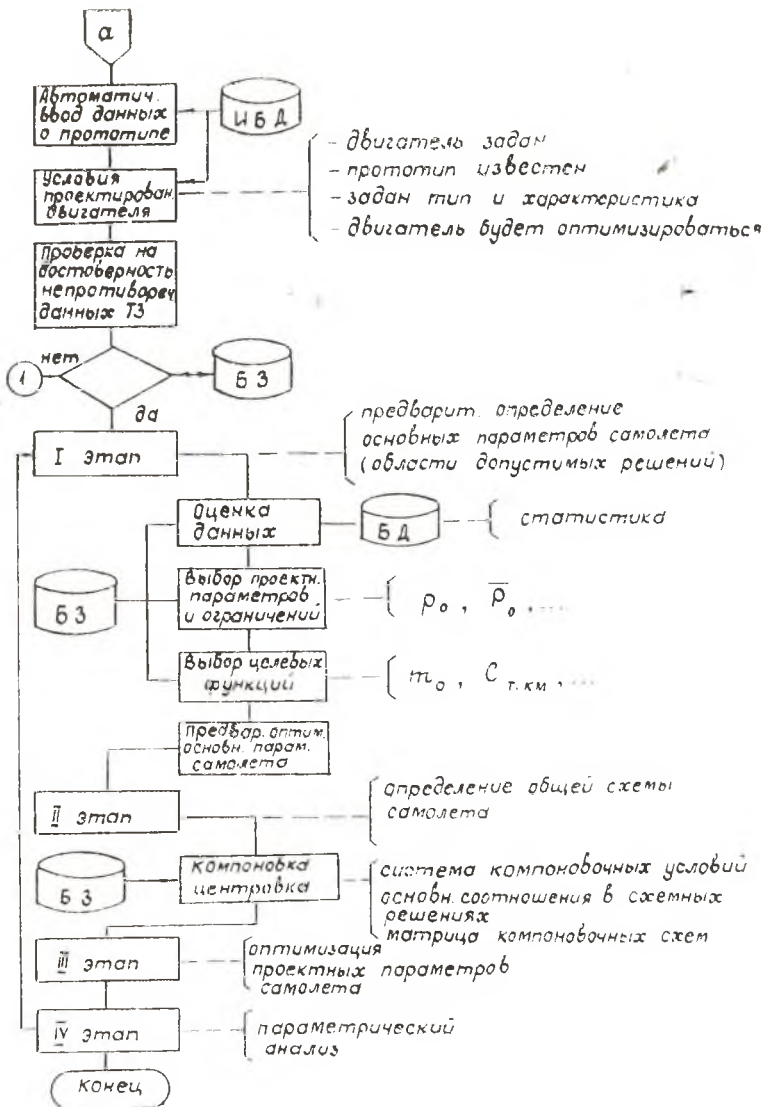


Рис. 3.2. Структурно-логическая схема проектирования в системе РИСК (окончание)

проектирование самолета; экспертиза проекта самолета; работа с БД; работа с БЗ; работа с архивом; обучение.

На рис. 3.2 представлена укрупненная структурно-логическая схема проектирования в системе РИСК. В режиме «проект-

Режим работы
Проектиров. с-та
Экспертиза проекта
Работа с БД
Работа с архивом
Работа с БЗ
Обучение

F1 - Help F2 - Menu F3+H - Ret F4 - Explain F5 - Exit

а

Режим работы
Участие в работе
Условия проектирован.
Назначение с-та
Пассажирский
Транспортный
Грузопассажирский
Конвертируемый
Военно-транспорт.
Спецназначения

F1 - Help F2 - Menu F3+H - Ret F4 - Explain F5 - Exit

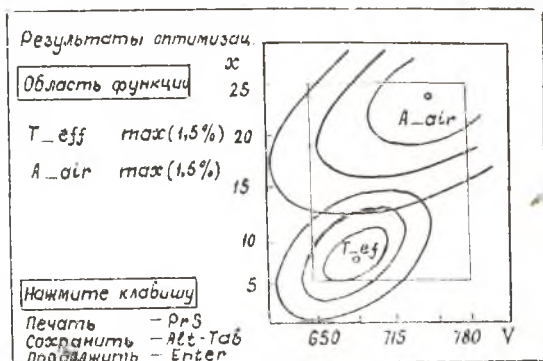
б

Заполните таблицу типового ТЗ

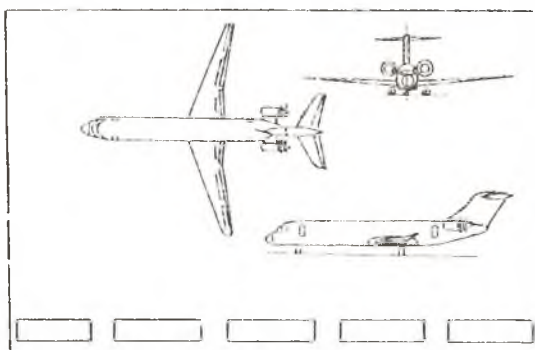
Наименование параметра	Знач.	Min	Max
Расчет. дальность полета, км			
Масса коммерч. нагрузки, кг			
Число пассажиров			
Крейсер. скорость полета, км/ч			
Крейсер. высота полета, км			
Длина разбега с-та, м			
Длина пробега с-та по ВПП, м			
Перегоночная дальность, км			

F1 - Help F2 - Menu F3+H - Ret F4 - Explain F5 - Exit

в



2



3

Рис. 3.3. Примерный вид меню (а, б) и анкет (в), входной (а, б, в) и выходной (г, д), текстовой и графической (г, д) информации на экране дисплея при работе системы РИСК: а — определение режима работы; б — выбор назначения проектируемого самолета; в — заполнение таблицы типового ТЗ; г — результаты оптимизации проектных параметров, д — вывод 3-х проекций самолета

тирование» имеются возможности контролировать каждый шаг системы, участвовать в принятии наиболее ответственных решений, либо полностью довериться «интеллекту» системы.

Рис. 3.3. иллюстрирует примерный вид некоторых экранов при работе в системе РИСК на этом режиме. Назначение функциональных клавиш может быть следующим: F_1 — помощь, подсказка; F_2 — вход в меню директив; F_4 — режимы объяснения действий и/или текущей цели системы РИСК; F_5 — быстрый выход из системы (с сохранением информации и без). После выбора режима (рис. 3.3,а), определения участия пользователя

в работе и выбора условия проектирования, среди таких как (см. также рис. 3.2):

прототип отсутствует или неизвестен проектанту;

проектирование на базе модификации известной марки самолета;

прототип (прототипы) известны;

продолжение ранее начатого проектирования — определяется назначение проектируемого самолета (рис. 3.3,б), затем осуществляется заполнение типового ТЗ (технического задания) и ввод дополнительной информации, не вошедшей в типовое ТЗ. Особенностью системы является обязательная проверка вводимой исходной информации на ее достоверность и непротиворечивость, т. е. синтаксический и семантический контроль как по типу и возможному диапазону изменения параметров, так и на согласованность этих данных. Возникающие противоречия в данных ТЗ может устранить только пользователь, при этом система подсказывает возможные пути исправления, но не берет на себя «смелость» самостоятельно переформулировать или уточнять ТЗ. Поэтому любое возникающее противоречие приводит к возврату на корректировку ТЗ.

Выделенные на рис. 3.2 основные 4 этапа в предварительном проектировании самолета подробно описаны в учебной литературе (см., например, [78]). Особенностью в работе данной системы является автоматизированное (а в ряде случаев автоматическое) формирование исходных данных для расчетных моделей, автоматический вызов соответствующих процедур, многокритериальная оптимизация и оценка полученных проектных решений. При этом активная роль принадлежит БЗ и БД, а также методам и алгоритмам принятия решения.

Несколько слов о режиме «экспертизы». На этом режиме осуществляется:

прогнозная оценка научно-технического уровня проекта, оценка как значений проектных параметров, так и величин технико-экономических показателей проекта;

сопоставление альтернативных проектов (здесь, в отличие от предыдущего, сопоставляются параметры и показатели между собой, а не с мировым уровнем проектирования самолета);

оценка реализуемости проекта, которая сводится к сопоставлению с расчетной моделью, а также с оптимальным проектом, полученным в автоматическом режиме;

обоснование принятых проектных решений — на основе «машинного» анализа данных проекта можно получить подтверждение или опровержение принятых решений.

Коротко об остальных режимах работы в системе РИСК.

Режим работы в БЗ предназначен для заполнения и редак-

тирования правил в базе правил (доступен только разработчику).

Работа с архивом необходима в основном разработчику, хотя может быть полезна и пользователю для понимания реализации системы.

Режим обучения предназначен не только для знакомства с содержательной частью функционального и информационного наполнения системы, но и для изучения взаимосвязи параметров самолета, которая демонстрируется системой на основе простых тестовых примеров.

Гибкость диалогового взаимодействия проектировщика с системой обеспечивается наличием в ней директив, в меню которых можно войти с любого экрана (любой панели) системы РИСК. Основные директивы системы: ВЫЧИСЛИТЬ, ОПРЕДЕЛИТЬ, ПОСТРОИТЬ. Директива ВЫЧИСЛИТЬ осуществляет автоматическое построение вычислительной схемы, используя обратный тип поиска (от цели). При этом выбор итоговой схемы, по которой осуществляется вычисление, производится на основе анализа имеющихся исходных данных. На рис. 3.4 представлена укрупненная схема выполнения директивы ВЫЧИСЛИТЬ, а на рис. 3.5 показан пример формирования вычислительной схемы этой директивы.

Типичная исходная постановка задачи может быть сформулирована следующим образом. Вычислить массу шасси $m_{ш}$, если известны: давление в пневматиках, площади крыла $S_{кр}$ и медели фюзеляжа $S_{ф}$, удельная нагрузка на крыло p_0 и удлинение фюзеляжа $\lambda_{ф}$. На рис. 3.5,а $M_СН1$ и $M_СН2$ — имена модулей (имеющихся в базе процедур), в которых выходной вектор параметров содержит $m_{ш}$. На рис. 3.5,б показаны модули, которые имеются в базе процедур и могут быть использованы для доопределения параметров и формирования вычислительной схемы. Это $M_МО1$ и $M_МО2$ — модули расчета взлетной массы, M_LF — модуль расчета длины фюзеляжа. Сформированная схема вычисления $m_{ш}$ показана на рис. 3.5,в, где $H_{ш}$ — высота шасси является недостающим параметром, который необходимо задать или оценить через БД.

Если Вы встретите трудности при анализе этих рисунков, то вернитесь к ним после прочтения следующих двух разделов. Директива ОПРЕДЕЛИТЬ позволяет осуществить обработку статистических данных, введенных, рассчитанных или выбранных из БД, а также провести экспертную оценку какого-либо параметра. Директива ПОСТРОИТЬ позволяет вывести на графическое устройство подготовленные рисунки, диаграммы, зависимости.

Среди методов математической поддержки в системе РИСК

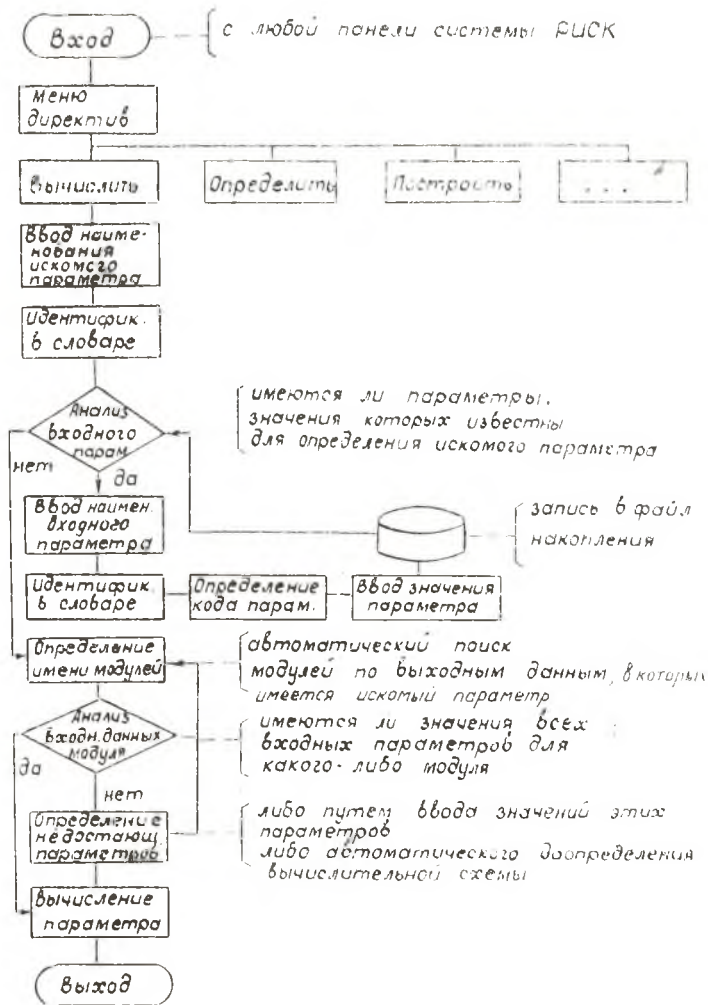


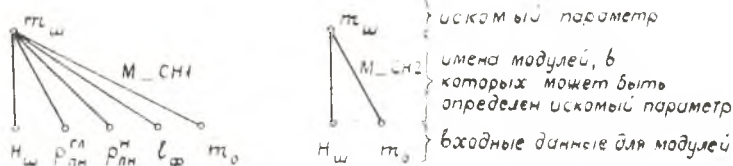
Рис. 34. Укрупненная схема выполнения директивы **ВЫЧИСЛИТЬ**

используются программно-реализованные методы теории планирования эксперимента, регрессионного анализа, целочисленной оптимизации, решения систем нелинейных уравнений и др.

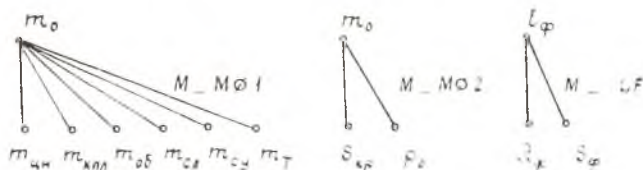
Для того, чтобы отнести ту или иную систему в разряд интеллектуальных, необходимо оговорить признаки, по которым

можно было бы судить об этом. Общеизвестным считается, что наличие БЗ и машины логического вывода является неотъемлемой чертой интеллектуальности системы. Приведем признаки «интеллекта» системы РИСК:

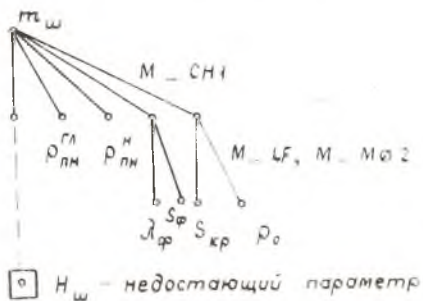
- наличие БЗ;
- семантика данных;
- наличие объяснительной способности;
- автоматический синтез алгоритма вычислительных процедур;
- возможность решения задач в условиях неопределенности;
- наличие свойств интеллектуального интерфейса, которые в свою очередь состоят из:
 - безусловного запоминания вводимой информации;
 - контроля вводимой информации;



а



б



в

Рис. 3.5. Пример графической иллюстрации формирования вычислительной схемы директивы ВЫЧИСЛИТЬ

возможности возврата в процессе диалога в «произвольное место» и пропуска части диалога при повторе;

наличия функции помощи (справки).

Этими признаками, пожалуй, можно было бы и ограничиться при рассмотрении концепции интеллектуальной САПР самолета. Как и любая другая, эта концепция явно страдает поверхностностью, неполнотой, к тому же, возможно, новыми для читателя терминами. Поэтому, чтобы не оттолкнуть читателя общими фразами, рассмотрим немного подробнее вопросы, в большинстве своем новые для читателя.

Сейчас вдруг вспомнился эпиграф к одной из глав учебника по проектированию самолета [95]: «Самолет — он как женщина: его нужно соблазнять, а не пасловать». Так и здесь — в качестве соблазна — автор считает, что в последующих разделах читатель получит куда больше практических советов, чем мучительных теоретизирований и обобщений (хотя, кто знает, что полезней).

3.2

БАЗА ПРОЦЕДУР — ФОРМАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



«Самое современное на сегодняшний день направление развития программных средств — это создание систем с ИИ, которые, как ожидается, превратят компьютер в профессионального консультанта».

Д. Мерсер [51, с. 397]

Разработка интеллектуальных САПР осуществляется не на одном месте. В настоящее время накоплен огромный опыт использования ЭВМ в проектировании. Десятки, а то и сотни программных продуктов используются авиационными фирмами для проведения проектных исследований. На предварительном этапе проектирования самолета, несмотря на трудности с формализацией этого этапа, большое число проектных операций имеет достаточно строгое алгоритмическое описание. Недостаточная определенность данных и приближенность некоторых алгоритмов компенсируется путем исследования влияния этих факторов на результат проектирования, сопоставительного анализа с предыдущими проектами и др. способами.

Содержательную основу современных САПР составляют функциональные модули, выполнение которых реализует ту или иную проектную операцию или процедуру. Набор таких модулей и есть та база процедур, которая войдет в состав более разви-

той интеллектуальной САПР. Мощность содержательной части базы процедур и эффективность ее использования в САПР зависят от глубины модульного анализа, состава модулей, содержащих математические модели разного уровня, механизма их компиляции и многого другого. Количество программных модулей в САПР самолета достигает сотен единиц (например, в САПР ADAS, см. п. 2.2, таких модулей 150). Чтобы иметь представление, какие конкретно операции и процедуры чаще всего составляют так называемую базу процедур, в качестве примера приведем наименования таких операций в диалоговой системе ПУСК, которая разработана студентами нашего института [31]:

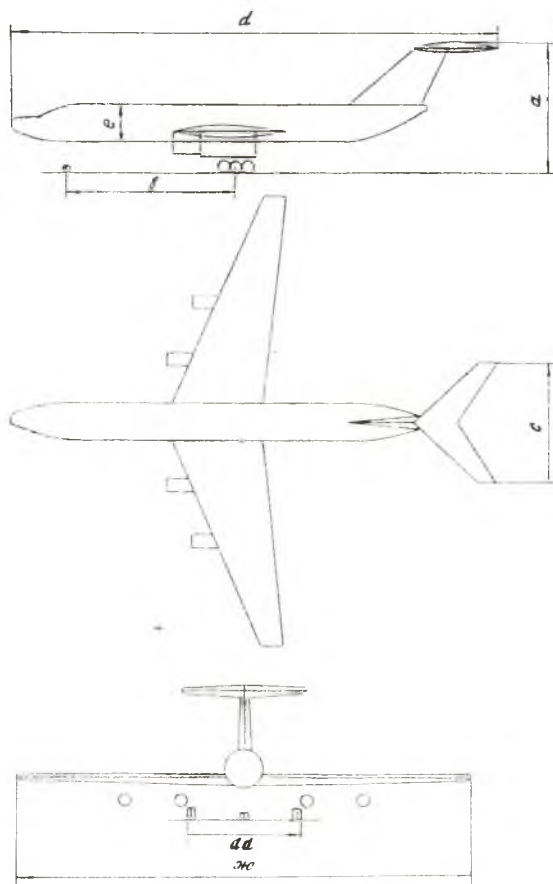


Рис. 3.6. Общий вид самолета, спроектированного с помощью системы ПУСК

расчет тяговооруженности;
расчет геометрии самолета;
расчет относительной массы силовой установки;
расчет массы служебной нагрузки;
расчет относительной массы оборудования;
расчет относительной массы конструкции самолета;
расчет относительной массы шасси;
расчет относительной массы оперения;
расчет относительной массы фюзеляжа;
расчет взлетной массы самолета;
расчет максимального коэффициента подъемной силы;
расчет взлетно-посадочных характеристик;
расчет поляра самолета;
расчет относительной массы топлива;
вычерчивание 2-х проекций самолета на графическом дисплее;

вычерчивание 3-х проекций самолета на графоэкране.

На рис. 3.6 показан результат работы последней процедуры. Система ПУСК (Проектирование Учебного Самолета Конструктором) разработана в вычислительной среде ОСРВ на языке ФОРТРАН 4 для ЭВМ СМ 1420 и предназначена для учебного проектирования дозвуковых пассажирских самолетов студентами авиационных специальностей. В дальнейшем планируется содержательную часть системы ПУСК использовать при создании системы РНСК.

3.3

БАЗА ДАННЫХ — ХРАНИЛИЩЕ ПРОЕКТОВ



«В настоящее время конструкторские БД представляют собой наиболее ценный информационный ресурс предприятия».

[105, с. 8]

По данным авторов известной монографии Д. Хорафаса и С. Летта [105]: «Около 80% решаемых при конструкторском проектировании задач связаны со сбором и обработкой данных. Остальные 20% задач вычислительного характера». Отсюда становится понятна важность автоматизации такого рода задач.

В создании САПР наиболее трудоемкой является разработка информационных моделей объекта и процесса проектирова-

ния. Основу этих моделей процесса составляют БД. В рамках интеллектуальных САПР такие БД должны содержать всю информацию о предыстории создания подобных объектов и представлять из себя хранилище прошлого опыта. Кроме этого в БД должна содержаться справочная информация, способная оказать влияние на принятие решения по проектируемому объекту. Структурирование предметной области, основанное на главных физических свойствах объекта, определяет объектно-ориентированную составляющую БД — чаще это так называемая интегрированная БД, включающая справочную информацию. Информационные потоки в проектных процедурах и операциях формируют обычно программно-ориентированную БД. Как отмечено в предыдущем разделе, связь данных между БД может быть осуществлена через словарь системы.

Современные САПР используют наиболее развитый аппарат реляционных СУБД. В настоящее время насчитываются сотни различных СУБД. Однако в инженерной практике, в проектировании реально используют лишь единицы. Наиболее известные СУБД в САПР это ORACLE, System R, ADABAS. Для простых задач или только узкоспециализированных, например, справочных или информационно-поисковых используют более простые СУБД: dBASE, FoxBASE, Clipper и др. Знакомство с одной из таких СУБД на примерах работы с БД aircraft и student, а также первичные навыки по созданию, наполнению и редактированию БД Вы получили (или получите) при выполнении лабораторных работ на персональных ЭВМ [7].

Что касается конкретной предметной области, то на основе структурного анализа объекта проектирования с учетом рассматриваемого этапа проектирования интегрированная БД самолета может состоять из следующих основных файлов (ниже приведены их наименования):

- назначение самолета и его основные данные;
- авиационные фирмы;
- состав целевой нагрузки;
- показатели эффективности самолета;
- схема самолета;
- геометрические характеристики самолета;
- внутренняя компоновка самолета;
- массовые характеристики самолета;
- центровка самолета;
- крейсерские полеты самолета;
- взлетно-посадочные полеты самолета;
- профиль полета;
- программа набора высоты и снижения;
- основные данные авиационных двигателей;
- высотно-скоростные характеристики двигателей;

геометрические характеристики крыла;
 геометрические характеристики фюзеляжа;
 геометрические характеристики шасси;
 геометрические характеристики оперения;
 геометрические характеристики органов управления;
 механизация крыла;
 топливная система самолета;
 характеристики конструкционных материалов;
 аэродинамические характеристики профилей;
 геометрические характеристики профилей.

Фрагмент словаря БД приведен ниже, где каждому нижеперному наименованию соответствует уникальный код, по которому осуществляется связь с таблицами БД:

000		название самолета
001		название фирмы производителя самолета
002		назначение самолета
...		...
304		марка двигателя
305		тип двигателя
306		масса двигателя
...		...
432		стреловидность крыла по передней кромке
433		удлинение крыла
...		...

Размер подобного словаря, который зарезервирован в системе ADAS (см. разд. 2.2), составляет 10 000 наименований.

Хранение графической информации в БД обычно осуществляется двумя способами. При первом способе в файлах БД хранятся узлы интерполяционной сетки, при этом «снятие» значений функций осуществляется специально разработанной обрабатывающей программой. На рис. 3.7 приведен примерный способ задания высотно-скоростных характеристик двигателя. В большинстве случаев (высотно-скоростные характеристики двигателя, поляры...) линейная интерполяция оказывается предпочтительнее с точки зрения точности, хотя и требуется большее число данных для описания зависимостей. Сплаины, полиномы больших степеней склонны к осцилляциям, поэтому их использование требует дополнительных затрат на «доводку» зависимостей.

При втором способе хранения графической информации в память ЭВМ вводят коэффициенты аппроксимирующих зависимостей. Например, при упрощенном описании поляры крыла — это коэффициент отвала поляры и коэффициент лобового сопротив-

ВСХ _ МСА

Наименов. двигателя	Высота	Число М	Тяга	Уд. расход топлива	Режим
ПС - 90А	0	0	10000		ДРО_ВЗЛ
ПС - 90А	0
ПС - 90А	0	0	16000		МАХ_ВЗЛ
...	..	0,1	15000		МАХ_ВЗЛ
...	..	0,2	14000		МАХ_ВЗЛ
					...
					НОМ_ВЗЛ
					...
					МАХ_КРЕ

Рис. 3.7. Примерный способ задания характеристик двигателя в табличном виде

ОТК_ВСХ_ МСА

Наименов. двигателя	$G_{отб}$	$N_{отб}$	$\Delta \dot{v}_H$	Δp_H	\bar{p}	$\bar{C}_{уд}$	Режим
ПС - 90А			10	0	0,95	1,05	ДРО_КРЕ
ПС - 90А		20			0,9	1,10	МАХ_КРЕ
ПС - 90А			15		0,9	..	МАХ_ВЗЛ
РВ. 2И-22							

Рис. 3.8. Примерный способ задания в табличном виде коэффициентов по тяге и удельному расходу топлива двигателя при отклонении параметров атмосферы от МСА, а также с учетом отборов воздуха и мощности

ления при нулевой подъемной силе. И тот и другой способ хранения информации используется в САПР самолета.

Но вернемся к рис. 3.7. Известно, что на выходные характеристики двигателя существенное влияние оказывают отборы воздуха, мощности, а также условия эксплуатации (в частности, отклонения от МСА). Поэтому важно учесть это уже на началь-

ной стадии проектирования самолета. Изменение выходных характеристик двигателя от рассматриваемого фактора может быть учтено с помощью коэффициентов. На рис. 3.8 показан примерный способ задания таких коэффициентов.

Теперь рассмотрим операции, которые можно выполнять в режиме работы с БД:

просмотр таблиц БД: наименований таблиц; наименований столбцов в таблице; записей в таблице (разработчику доступны все записи);

выборка данных по шаблону:

НАЙТИ: 1. < наименование 1-го параметра >
2. < наименование 2-го параметра >

n. < наименование n-го параметра >

ЕСЛИ: 1. < условие 1 >
2. < условие 2 >

k. < условие k >

Пример.

НАЙТИ: 1. наименование самолета
2. взлетная масса самолета
3. удлинение крыла
4. нагрузка на крыло

ЕСЛИ: 1. взлетная тяговооруженность > 0,2
2. взлетная тяговооруженность < 0,3
3. взлетная масса самолета > 80000;

получение отчета: формирование вида отчетной документации; просмотр-редактирование отчета; вывод текстовой информации на печать; вывод графической информации;

создание и удаление таблиц (функции разработчика);

внесение новых записей в таблицы (функции разработчика);

сохранение и восстановление БД (функции разработчика).

Современные БД, используемые для предварительного проектирования самолета, содержат данные о десятках и даже сотнях самолетов, что позволяет использовать это хранилище прошлого опыта для построения статистических моделей различного назначения.

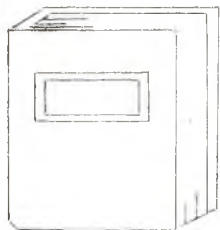
Выверенная, достоверная информация в БД — основная работа администратора этой БД. Однако объективные трудности не позволяют собрать полную информацию о проектах. Поэтому не такая уж редкость, когда в БД отсутствует информация о некоторых параметрах. В многомерном статистическом анализе такие пропуски данных либо исключают некомплектные наблю-

дения (т. е. содержащие пропуски хотя бы одной из переменных) что, естественно, уменьшает и без того небогатую выборку, либо заполняют пропуск средневыворочными по присутствующим значениям. Такие методы имеют малую эффективность и искажают статистические выводы.

В настоящее время многолетние исследования зарубежных авторов в области статистического анализа данных с пропусками стали доступны и советскому читателю. Более того, уже разработано программное обеспечение статистической обработки неполных данных [57]. Последнее обстоятельство существенно повышает мощность таких БД, каковыми являются БД самолетов, так как собрать в открытой печати полную информацию, необходимую на этапе предварительного проектирования самолета даже для десятка самолетов, — весьма трудная задача. Использование статистического процессора, подобного разработанному в системе CAPDA [123] (см. 2.2.2), в сочетании с алгоритмами статистического анализа данных с пропусками при достаточно полной БД самолетов мира позволит создать мощный фундамент для БЗ интеллектуальной САПР самолета.

3.4

БАЗА ЗНАНИЙ — ИНЖЕНЕРНЫЙ ОПЫТ И ЭВРИСТИКИ



«...мышление есть действие, а не сущность души».

Дж. Локк

Много споров возникало ранее по поводу термина БЗ, ведь в памяти ЭВМ и данные, и знания кодируются совершенно идентичным образом. Основное различие между «данными» и «знаниями» проявляется в процессе их использования. Причем понятие «данные» ассоциируется с глаголом «обрабатываются», а «знания» — «применяются» [101]. Чтобы не увязнуть в терминологической топке, рассмотрим конкретно, что же есть БЗ.

Ранее было показано, что БЗ включает в себя базу процедур, БД и базу правил. Что касается первых двух, то более или менее подробно они рассмотрены в предыдущих разделах. База

правил обычно состоит из двух баз. Это база так называемых метаправил, осуществляющих «управление» над основной базой правил, которая в свою очередь содержит правила, выработанные проектировщиком в процессе принятия проектных решений.

Последняя база — это и есть формализованное представление тех действий и шагов, которые осуществляет проектировщик при подготовке и в процессе принятия решения. Бесспорно, что интерпретация всех возможных действий проектировщика в виде формальных структур, в виде правил — самая сложная задача при создании интеллектуальной САПР. По некоторым оценкам затраты на создание БЗ могут составлять до 3 млн. дол., а затраты на специалиста, занимающегося сбором знаний и формированием БЗ (часто называемого инженером-когнитологом), превышают 100 тыс. дол. в год [91].

В предыдущем разделе много говорилось о структуризации, в частности, при создании интегрированной БД. На основе какой же структуризации получен и приведен перечень таблиц этой БД? Прежде чем ответить на этот сложный вопрос, сделаем небольшое отступление.

Опираясь на общие принципы методологии науки нетрудно провести параллели не только в технических науках, но и отметить общие черты в гуманитарных и прикладных науках. Известный русский историк С. М. Соловьев писал¹: «Не делить, не дробить русскую историю на отдельные части, периоды, но соединять их, следить преимущественно за связью явлений, за непосредственным преемством форм, не разделять начал, но рассматривать их во взаимосвязи, стараясь объяснить каждое явление из внутренних причин, прежде чем выделить его из общей связи событий и подчинить внешнему влиянию, — вот обязанность историка...» и такова, по мнению автора, обязанность *инженера-интерпретатора* при структуризации знаний предметной области.

Структуризация и описание предметной области для создания БЗ — это последовательное вычленение основных операций проектировщика, определение взаимосвязи и взаимозависимости этих операций и проектных процедур в целом, это декомпозиция задач проектирования объекта, это «расчленение» объекта на составляющие его агрегаты и описания их свойств, это в том числе и анализ главных факторов, определяющих как основные свойства объекта, так и основной перечень проектных переменных и многое многое другое. Только скрупулезный, тщательный, наконец, грамотный подход к созданию структуры БЗ и ее наполнению с помощью высококвалифицированных экспертов позволит «превратить» САПР в интеллектуального партнера.

¹ Соловьев С. М. Чтения и рассказы по истории России. М.: Правда, 1989 768 с.

Укрупненно описание предметной области можно представить в виде схемы: объект — свойство — параметры, с которой взаимодействуют выработанные соотношения в виде правил-продукции¹. По первой схеме составлена БД, по второй — база правил. Однако структура БД не всегда удовлетворяет условиям задачи. Поэтому в дополнении к БД, которая служит основным источником информации для оценки многих решений, и продукционным правилам создается фреймовая структура БЗ. Такая структура, такое описание объекта, условий его функционирования и проектирования позволяют эффективно использовать эвристики проектирования. Принципиальное отличие от структуры реляционной БД состоит именно в привязке данной структуры БЗ к процессу проектирования, когда формирование описания объекта «идет» от цели его создания, назначения его элементов, т. е. исходя из внутренних причин его «бытия», а не по признаку внешнего описания, как это сделано в БД.

Для иллюстрации фреймовой структуры БЗ приведем ее наиболее характерные фрагменты. При этом используем синтаксис языка ПРОЛОГ. (То, что стоит перед скобкой и объединяет компоненты в структуру, называется *функтором*).

самолет(экипаж, целевая_нагрузка, главные_несущие_поверхн,
энергетич_установка, сист_стабилиз_управления,
взлетн_посад_устройства, связующ_конструкция, _).

целевая_нагрузка(вид_ц_н, характер_ц_н, параметры_ц_н,
условия_транспортировки, расположение_ц_н,
крепление_ц_н, загрузка_выгрузка, _).

вид_ц_н(пассажиры, груз, оборуд_приборы, вооружение, _).

характер_ц_н(сбрасываемая, спружаемая, несъемная).

параметры_ц_н(габарит_единиц_гр(D, H, B, L), Кол_во,
Масса_единиц_гр, _).

условия_транспортировки(T_min, P_min, Nu_max, Скор_напор,
комфорт(T_полета, Кол_во_ствард,
Кол_во_буфетов, Объем_пасс_кабины,
L_межкресел, H_проход, L_проход),
безопасность, _).

расположение_ц_н(снаружи(гондолы_съемные(на_фюзеляже,
на_крыле), открыто(на_фюзеляже, на_крыле)),
внутри(в_фюзеляже, в_крыле, в_гондол_несъем)).

крепление_ц_н(кресла, грузов пол. узлы полчески).

¹ *Продукция* — оператор, реализующий отношение между посылкой и следствием (правило типа IF—THEN) [97].

загрузка выгрузка(средства_э_в(аэродр_механизац(лестн_самоходн, транспортер, кран, _), борт_механизац(лестн_откидн, трап, лебедка, _), авариин_ср_ва(парашют, катапульт, _), характер_э_в(Время_загр, Время_выгр, _), места_э_в(двери_пасс, двери_груз, люки, Кол_во, размер_м_э_в, располож_м_э_в)).

* * *

главные несущие поверхн(подвижн_н_пов(вращ_н_пов(винт, _), машущ_н_пов(крыло, _), перестав_н_пов), неподвиж_н_пов(крыло, _), характер_н_пов(аэрод_н_пов, геом_н_пов, масса_н_пов, _), кол_во_н_пов, располож_н_пов, форма_н_пов, _).

геом_н_пов(крыло | параметр_кр(плоскость | Стреловид, Попер_V, Удлинен, Сужение, Относ_толщ, САХ, S_кр, Размах, Хорд_О, Хорд_конц, _), профиль_кр(симметрич, несимметр, суперкр, _), _).

форма_н_пов(крыло | кольцо, рама, плоскость, _).

кол_во_н_пов(крыло | моноплан, полутороплан, биплан, полиплан).

располож_н_пов(крыло | относит_фюзел(моноплан | высокоплан, среднеплан, низкоплан), _).

* * *

сист_стаблиз_управлен(оперение(го, во, _), располож_н_пов, кол_во_н_пов, характер_н_пов, _).

располож_н_пов(го | относит_крыла(1 | перед_крылом, позади_крыла, _)).

энергетич_установка(сил_уст(вид_СУ(стартовая, маршевая, вспомогательная), тип_СУ(гТД | тРД, тРДД, тВД, _, поршев_двиг, _), Кол_во_СУ, располож_СУ, Кол_во_типов_СУ, характер_СУ, _).

Из представленных фрагментов видно, что данная структура БЗ содержит информацию о возможных схемах самолета, т.е. включает в себя известную «матрицу признаков компоновочных схем самолета» [37, 78]. Анализ этой «матрицы», который выполняет машина логических выводов, на основе имеющихся в БЗ правил и данных ТЗ позволяет выработать основные проектные решения.

Ниже, в качестве примера, приведены фрагменты из баз правил, касающиеся процедуры выбора силовой установки — одной из ответственных и до конца неформализуемых задач при проектировании самолета.

Правило 121. Оценка возможности использования двигателя из БД, если таковой найдется в ней, при выборе силовой установки для проектируемого самолета.

-
- ЕСЛИ
- | | | |
|---|-------|---------------------------|
| 1. тяга двигателя на максимальном режиме (БД) | $> =$ | потребная тяга |
| 2. удельный расход топлива на крейсерском режиме (БД) | $= <$ | потребный расход топлива |
| 3. масса двигателя (БД) | $= <$ | потребная масса двигателя |
| 4. наименование двигателя (БД) | $= !$ | NULL |

ТО с определенностью (0.95) можно применить правило 110 (правило 110 анализирует ситуацию, если двигатель не один, а несколько, в противном случае передает управление другому правилу).

ПОЯСНЕНИЕ: предпочтение всегда отдается готовому и испытанному двигателю.

Правило 99. Оценка типа силовой установки в зависимости от назначения и условий эксплуатации самолета.

-
- ЕСЛИ
- | | | |
|--------------------------|------------------|-------------------------|
| 1. назначение самолета | $=$ | «самолет местных линий» |
| 2. количество пассажиров | от 30 до 70 | |
| 3. число М полета | от 0.42 до 0.58 | |
| 4. дальность полета | от 800. до 1500. | |

ТО с определенностью (0.9) предпочтительный вариант силовой установки — ТВД с однорядным винтом.

ПОЯСНЕНИЕ: закрутка потока в следе за винтом не вызывает существенных проблем.

В прил. 1 приведен пример ЭС, написанной на ПРОЛОГЕ для задачи выбора схемы самолета. Автор надеется, что несложный пример позволит понять механизм работы ЭС и формирования БЗ.

3.5

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ — ГАРАНТИЯ ОТ СЕРЬЕЗНЫХ ОШИБОК В ПРОЕКТИРОВАНИИ



«Результат может оказаться хорошим ровно настолько, насколько хороши исходные данные и предположения».

Д. Мерсер [51, с. 165].

Украинская мудрость гласит: «якби знав, де впав, то соломки б підстелив». При этом, несмотря на тезис «неисповедимы пути Господни», наш личный опыт и многовековой опыт поколений говорит о том, «что только более полное знание позволяет избежать дополнительных неприятностей, или получить добавочные выгоды» [38]. Именно поэтому дальнейшее развитие методов оптимального проектирования во многом зависит от того, насколько полно ведется в них учет факторов неопределенности. В работе [62] подчеркивается, что «главные усилия методологии проектирования должны быть сконцентрированы в направлении раскрытия и формализации факторов неопределенности и вооружения разработчиков ЛА инструментом для обоснованного выбора проектных решений».

Среди формальных методов описания неопределенностей в задачах принятия решений широко известны: нечеткие множества Л. Заде¹, игровой подход, подход с позиций теории принятия решений по многим критериям и др. В данном пособии, в частности в п. 3.6, описан один из таких методов, применяемый при решении многокритериальных оптимизационных задач. Этот метод позволяет осуществить поиск устойчивых к неопределенности областей компромиссов.

В рамках решения проблемы обоснования выбора решений исследуется влияние неопределенности таких факторов как: исходные проектные данные по двигателю и планеру; используемые математические модели самолета; избранная группа критериев оптимизации; заданные условия и профиль полета самолета; исходная постановка задачи, ограничения и т. п.

¹ Некоторые сведения о нечетких множествах представлены в прил. 2.

Создание самолета, как и любой другой сложной технической системы, является дорогостоящим и длительным процессом. Предсказать с достаточной достоверностью на ранней стадии проектирования самолета его основные данные, включая характеристики его силовой установки, систем и оборудования, технологический прогресс в конструировании его агрегатов и узлов, который может быть достигнут в начале серийного производства, и многое другое не представляется возможным.

Неизменной предпосылкой обоснованности решения, в первую очередь, является тщательное изучение вариантов прогноза значений исходных данных, которые могут иметь место в будущем при реализации принятого решения. Основная задача прогнозирования в данном случае заключается не в отборе какого-то одного, пусть даже наиболее вероятного варианта исходных данных. Она состоит в том, чтобы как можно точнее установить границы возможного изменения значений неуправляемых параметров, влияющих на результаты оптимизации проектируемой системы [92].

В настоящее время количество работ, направленных на решение задач с неопределенно заданной исходной информацией, непрерывно увеличивается [38, 51, 60]. Однако по мнению известного американского ученого Г. Райфа современная теория принятия решения все еще страдает не столько от нехватки адекватной методологической или понятийной основы, сколько от отсутствия специальных вычислительных приемов, без которых нельзя использовать потенциальные возможности теории полностью [81].

Различные правила (принципы выбора оптимального решения) устанавливаются для задач принятия решений при неопределенности полный порядок предпочтения возможных решений или выделяют их оптимальное подмножество. Примерами принципов выбора оптимальных решений при сравнении альтернатив в условиях неопределенности в теории статистических решений являются различные формальные критерии (Севиджа, Вальда, Гурвица и др.) [46, 55 и др.].

Одним из факторов неопределенности является неопределенность самой модели исследуемого объекта. Примером такой неопределенности может служить выбор математической модели масс самолета и его агрегатов. Достаточно сказать, что количество созданных моделей, описывающих определенные характеристики объекта или его функциональные свойства и имеющие приблизительно одинаковые допущения, в некоторых случаях достигает 5...10. Причем, чаще всего у проектианта отсутствуют процедуры, позволяющие оценить и выбрать наиболее достоверную модель. В этом случае объективной оценкой оптимальности решения может служить его малая чувствительность (устойчи-

вость) к изменению исходных предпосылок построения модели.

Что касается статистических моделей (например, весовые формулы), то палино авторский разноречив в выборе структуры формул, подборе статистического материала, методе аппроксимации и в рекомендациях по использованию этих моделей. Ван покорный слуга также был увлечен в свое время «иридумыванием» таких моделей, в частности, моделей массе авиационных ТРД и ТРДД [13]. Основные проблемы разработчиков подобных моделей, используемых для оптимизационных задач, сводятся не только к получению высоких статистических характеристик (ср. квадратичное отклонение, коэффициент корреляции, критерий Фишера и др.) — особенно важно добиться того, чтобы модель адекватно отражала протекание, в данном случае, массы конструкции от варьируемых параметров. Для этих целей и был разработан метод множественных вычислений массе самолета (метод Шейнина) [107], который позволяет:

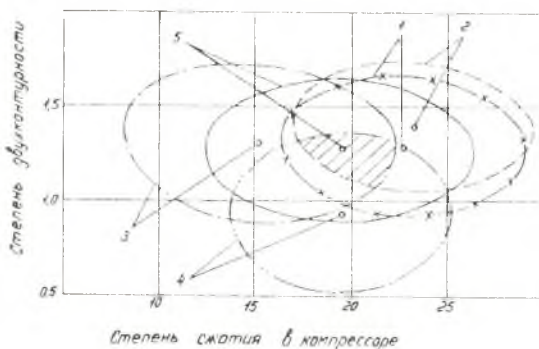
проводить расчеты с комплексным применением моделей массе;

обоснованно отбирать совместные модели;

повысить точность определения массы;

повысить достоверность оценки влияния параметров на величину массы самолета.

Так как метод достаточно хорошо описан в литературе, нет необходимости останавливаться на нем. Достаточно привести лишь один пример его конкретного использования. На рис. 3.9



— область оптимальных параметров двигателя устойчивая к неопределенности математического описания его массы.

Рис. 3.9. Результаты исследований влияния ММ массы авиационного двигателя на области его оптимальных параметров по критерию максимума целевой нагрузки многорежимного самолета: 1 и 2—ММ КуАИ, 3—ММ ЦИАМ, 4—ММ БОННГ, 5—результат по методу Шейнина

приведены результаты исследования влияния различных моделей масс (ММ) двигателя на его оптимальные параметры [10]. Видно, что компромиссная область параметров для всех моделей масс двигателя лежит внутри области оптимальных параметров, полученной по методу Шейнина, что подтверждает целесообразность его использования.

На рис. 3.10 и 3.11 [118] и [119] показано влияние различных критериев на оптимальные параметры самолета и влияние ограничений и режима определения размерности двигателя на область выбора параметров самолета. Из рисунков видно, сколь велико влияние рассмотренных факторов неопределенной величины на значения параметров и принимаемые в итоге решения.

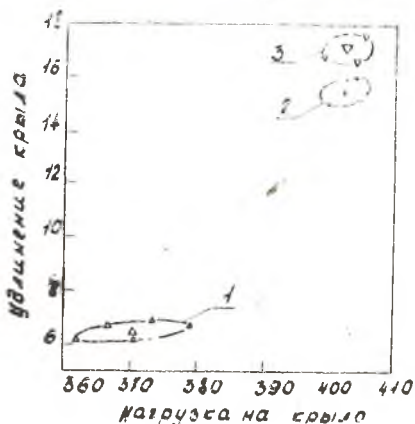


Рис. 3.10. Влияние различных критериев оптимизации самолета на его оптимальные параметры по этим критериям: 1 — $\min M_0$ (взлетная масса), 2 — $\min M_{\text{тоил}}$ (расход топлива на полет), 3 — \min прямых эксплуатационных затрат

3.6

ОПТИМИЗАЦИЯ — ОСНОВНАЯ ПРОЦЕДУРА СИНТЕЗА ПРОЕКТА



«Решение проблемы оптимизации параметров ЛА важно... особенно для этапов формирования ТЗ на ЛА и предэскизного проектирования».

[16, с. 3]

Тема оптимизации особенно любима автором, поэтому он позволил себе сделать в этом разделе ряд небольших отступлений, дополняющих и поясняющих рассматриваемый материал.

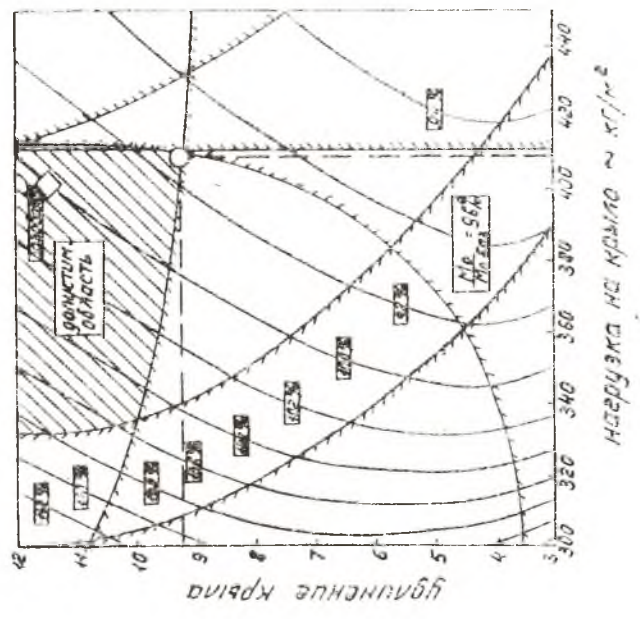
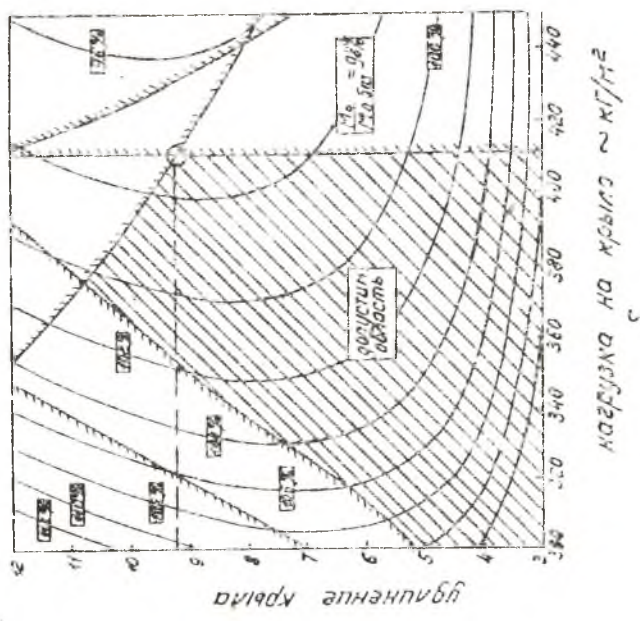


Рис. 3.11. Влияние ограничений и режима определения размерности двигателя на область выбора параметров самолета: а — двигателя фиксированной размерности (характеристики двигателя в процессе оптимизации параметров самолета неизменны); б — размерности двигателя моделируется (определяется условиями взлетного режима — заданной длиной разбега самолета по ВПП)

«Так пусть же щедрая и великодушная богиня Опа одаряет благами, временем и силой всех, кто занимается оптимальным проектированием».

Д. Уайлд [100, с. 20]

Значение термина *оптимум* (от лат. *optimus* — наилучший), связано, вероятнее всего, с именем богини древнеиталийского племени сабинов — Опы, которая считалась богиней плодородия и урожая и матерью Юпитера, бога-охранителя римского государства. В римском государственном культе Юпитер — *Optimus Maximus* (Наилучший Величайший). В настоящее время по мнению многих специалистов Опа является покровительницей науки оптимального проектирования. Поэтому каждый начинающий и уважающий себя «оптимизатор» должен знать своих покровителей и поклоняться им.

Впервые термин «оптимум» был введен создателем дифференциального исчисления Г. Лейбницем в XVIII веке. Лейбниц в своей философской теории излагал соображения о существующем мире как об оптимуме, что переводилось как «Лучший из всех возможных миров». (Читатель! А Вы как думаете? На сколько правдива столь авторитетная теоретическая база? И сравните ее с расхожим выражением: «Все что ни есть — все к лучшему». Составьте идею оптимальности и естественный отбор. Если заинтересуетесь, то прочтите [29]).

Таким образом, допустимость — это существенный и неотъемлемый элемент понятия «оптимум», т. к. наилучшее может быть и невозможным [100]. Используя тезис: «Знания бесконечны», можно утверждать, что невозможно дать полное определение понятиям в какой-либо форме, в том числе и вербальной. Подтверждением сказанному является продолжающаяся дискуссия по термину «оптимальный». Так в своих лекциях по САПР зав. кафедрой «Проектирование самолетов» МАИ проф. О. С. Самойлович как-то отметил, что «оптимального на свете нет ничего, т. к. не определено понятие оптимальности». При этом Олег Сергеевич привел небесспорное высказывание академика Н. Моисеева: «Оптимальна только мини-юбка на макси-ногах». Хотя в этом шутовском выражении и проецируется минимаксный принцип оптимальности — один из способов нахождения парето-оптимального решения, тем не менее ясно, что решение проблемы далеко не прозрачно. Приведу лишь одно определение известного специалиста по оптимальному проектированию Д. Уайлда [100]:

«Оптимальное проектное решение — это такой допустимый проект, реализация которого приводит к созданию объекта, настолько хорошего в отношении некоторой количественной меры его эффективности и полезности, насколько это возможно». Расплывчатость, нечеткость определения подтверждает предыдущие высказывания неоднозначности толкования этого термина.

Предварительное проектирование самолета, впрочем как и любой другой технической системы, представляет итерационный процесс, включающий в себя следующие этапы: анализ ТЗ, подготовка исходных данных, выбор математических моделей и методов, выбор критериев и параметров оптимизации, расчет и оптимизация, анализ результатов, оформление документации... Особое место в синтезе объекта проектирования занимает процедура оптимизации, которая позволяет повысить качество проектирования путем просмотра (компьютерного анализа, на основе выбранных критериев) большого числа вариантов объекта проектирования. В данном случае качество проектирования это

не только лучшие технико-экономические показатели, которые и выступают чаще всего в роли критериев оптимизации, но и большее доверие к результату в связи с существенно большим числом проанализированных вариантов.

Однако оптимизация сама по себе не решает проблемы обоснования проектных решений. Более того, приступая к оптимизации, необходимо решить ряд серьезных проблем, таких как: обоснование выбора проектных переменных и критериев оптимизации;

доказательство того, что используемая модель адекватно отражает влияние этих переменных на параметры модели и в итоге на целевые функции;

выбор эффективных алгоритмов оптимизации и метода построения области рациональных решений.

Кратко рассмотрим каждую из проблем.

На предварительном этапе проектирования самолета обычно осуществляется оптимизация таких основных параметров, как *относительные параметры крыла*: удлинение, относительная толщина, стреловидность, нагрузка на крыло; энерго- или тяговооруженность самолета; *параметры траектории*: скорость, высота полета и др. параметры. Среди критериев оптимизации рассматриваются *экономические показатели* (себестоимость перевозок, приведенные затраты, стоимость летного часа эксплуатации, стоимость жизненного цикла самолета...); *летно-технические* (дальность полета, удельные затраты топлива на тонно- или пассажирокилометр, аэродинамическое качество...); *весовые* (взлетная масса самолета, масса целевой нагрузки, масса топлива...). В эпоху энергетического кризиса важны также и показатели энергопотребления ЛА за весь жизненный цикл [12]. Обоснование выбора рассмотренных выше параметров оптимизации дается в учебниках по проектированию самолета, так же как и методы расчета критериев оптимизации.

Среди способов решения многокритериальных задач принципу выделения области компромиссов и определения внутри ее множества рациональных параметров является строго научным методом получения гарантированного результата. Следует особо выделить проблемы, которые возникают при поиске компромиссного решения:

определение границ области компромиссных значений параметров. Важный практический результат этого первого этапа векторной оптимизации — сужение области возможных решений;

выбор схемы компромисса и соответствующего ей принципа оптимальности;

нормализация критериев, т. е. приведение их к единому, желательно безразмерному, масштабу измерений;

учет приоритетов критериев. Практически эта проблема сводится к корректировке выбранной схемы компромисса.

К критериальным относятся также проблемы обоснования не только состава применяемого комплекса показателей, но и обоснование правильности формирования самих показателей как локальных критериев оценки системы.

Рассмотренное выше многообразие показателей, характеризующих эффективность самолета, существенно затрудняет выбор наилучшего решения. Поэтому вполне понятно и в определенной мере обоснованно стремление сократить число показателей, которыми оперируют при постановке задач и оценке результатов, если это не выходит за рамки одной грани (например, экономической, транспортной и т. п.), в которой осуществляется оценка эффективности системы. Использование же чрезмерно обобщенной информации о всех сторонах системы и введение единого критерия, составленного из разнородных показателей, ухудшает качество решения, снижает эффективность системы [90, 92] и, как отмечает академик В. П. Мишин, в большинстве случаев может только увести в сторону от существа задачи. Поэтому оценка оптимальности значений параметров самолета осуществляется на основе комплекса его показателей, а рациональное решение отыскивается путем построения области компромиссов в пространстве проектных параметров самолета.

В задачах, подобных предварительному проектированию самолета, при наличии разнородных по физическому смыслу параметров оптимизации необходимо также тщательно обосновывать введение новых независимых переменных, так как в этом случае должно быть доказано, что в используемых моделях адекватно отражено влияние этих параметров на критерии оптимизации. Типичная ошибка начинающих исследователей — это непродуманное, без тщательного анализа моделей, стремление увеличить число оптимизируемых параметров с благородной казалась бы целью — найти «глобальный» экстремум. Таких проектировщиков, использующих даже высокоэффективные методы оптимизации, ждет разочарование, поскольку результат не будет отвечать их же представлениям.

Другое важное условие или принцип, который необходимо выдерживать, проводя оптимизацию, также относится к математическим моделям (ММ). Он звучит так: «Улучшение характеристик оптимизируемого объекта должно осуществляться только за счет изменения проектных переменных». Т. е. для получения достоверного результата оптимизации очень важно выдерживать условия, которые обеспечат отсутствие влияния на эти результаты других факторов кроме проектных переменных. Например, варьирование параметров самолета приводит к измене-

цию веса конструкции, запаса топлива, аэродинамических характеристик. Однако ясно, что, например, топливная и энергетическая эффективность силовой установки при этом должны быть неизменными и не оказывать влияния на результаты оптимизации. При этом также весовое, конструктивное, технологическое и аэродинамическое совершенство будущей конструкции должны соответствовать тому периоду времени, на который планируется выпуск серийного самолета. Последнее условие, которое должно соблюдаться при оптимизации, можно назвать *временным принципом*, т. е. результаты оптимизации рассматриваются только на определенный (небольшой) временной интервал.

Время, как *философская категория*, реально влияет на параметры системы, проектные решения и поэтому должно явно или опосредованно «присутствовать» в ММ. Ведь оптимизация, а особенно на ранней стадии — это прогноз, причем долгосрочный.

Чем глубже мы вникаем в суть вещей, в осмысление происходящего, тем все чаще мы выходим на философские категории, обобщения, законы. Так, известный в области САПР авиационных двигателей профессор нашего института Б. М. Аронов, анализируя процесс создания лопаточных машин, вышел на закон строения машин, в основе которого лежит функциональное назначение элементов машин. Ближе к подобному закону подошел в свое время проф. А. А. Комаров, анализируя передачу сил в конструкции и давая определение силовому весу конструкции. Если попытаться обобщить развитие технических наук, то можно прийти к заключению: «Техника развивается как и природа с той лишь разницей, что первая «познает» законы второй посредством человеческого разума».

Интересно, а что думает читатель?

Какие обобщения, законы, аналогии, определения выработал самостоятельно?

Попытайтесь осмыслить и проверить также и такое определение: «Жизнь — это получение и переработка информации».

Держайте! Только пытливым доступны райские яблочки.

Отсюда особое внимание к ММ, несользуемым для оптимизации. Необдуманный выбор их, неучет диапазона их применимости приводит к печальным последствиям.

Как-то на одном из совещаний по САПР авиационной техники в Казанском филиале НИИТ один из руководителей САПР авиационных двигателей, говоря о проблемах математического моделирования, заметил, что: «...диск (элемент ротора газотурбинного двигателя — прим. автора) надо считать самым тщательным образом, т. к. от этого куча неприятностей!». Такая «КУЧА неприятностей» появится у каждого, кто будет пренебрегать подобным требованием.

Следует запомнить также следующий важный практический вывод — исследование функции цели (в данном случае критерия оптимизации) необходимо осуществлять *до выбора и апробирования* метода оптимизации. Это принципиально, т. к.

именно характер функций (униmodalность, многоэкстремальность, крутизна, овражность, разрывность, «шумы», дискретность и т. д.), а также вычислительные характеристики алгоритма (время счета, сходимость, обработка программных прерываний и т. д.) и параметры задачи, такие как число оптимизируемых параметров, критериев оптимизации и проектных ограничений — являются определяющими для выбора метода оптимизации.

Что касается задачи предварительного проектирования самолета, то анализ «протекания» (функциональной связи) критериев оптимизации от параметров самолета показывает, что функции имеют пологий, непрерывный, униmodalный характер, лишь по некоторым переменным наблюдается небольшая, несущественная «овражность». Незначительные «шумы», или, как их еще называют, «дребезги» функции вызваны наличием большого числа вложенных циклов и использованием полиномов в аппроксимирующих и интерполирующих зависимостях при описании характеристик двигателя, поляра крыла и др. Последнее обстоятельство затрудняет применение методов, использующих численное дифференцирование, тем более со вторыми производными.

Для данной задачи число оптимизируемых параметров обычно 2—5, реже 6—8. Столь небольшого числа удается достичь путем декомпозиции задачи проектирования [37]. Рассматриваемое число критериев оптимизации также обычно не более «5».

В зависимости от задачи, мощности ЭВМ, детальности используемых ММ самолета — время вычисления значений критерия оптимизации при одном сочетании оптимизируемых параметров составляет от нескольких секунд до нескольких десятков минут.

Все перечисленное выше определяет выбор математического метода оптимизации.

Еще практический совет: «Не удовлетворяйтесь апробированием одного метода. Возможно для Вашей задачи есть более эффективные алгоритмы». Те из Вас, кто не освоил, как работает хотя бы один из известных методов оптимизации, должны незамедлительно это сделать, тем более, что литературы по этим методам столько, что не составит труда найти какую-либо из книг по оптимизации. Кроме ранее рекомендованных книг [17, 37, 90, 114 и др.], стоит отметить двухтомник «Оптимизация в технике» [84] и книги Б. Банди [4, 5], содержащие тексты программ оптимизации с тестовыми расчетами.

Многообразие показателей эффективности самолета однозначно определяет характер оптимизации — *многокритериальный*. Существуют различные методы решения задач выбора при многих критериях [17, 21, 46, 81, 90, 92 и др.]. На этапе пред-

варительного проектирования самолета используют алгоритмы многокритериальной оптимизации, в которых осуществляется поиск множества эффективных решений [37], нахождение компромиссных вариантов решений [126], предлагаются различные свертки критериев [122].

Так, в системе FLOPS (Flight Optimization System), разработанной по контракту с NASA в Аэрокосмическом отделении Проектно-исследовательской корпорации в штате Вирджиния, для оптимизации конфигурации новых транспортных самолетов используются наряду с традиционными и оригинальные свертки [122]. К традиционным можно отнести глобальный критерий в виде суммы квадратов относительного изменения функций:

$$F^*(X) = \sum_{k=1}^n \left| \frac{F'_k(X) - F_k(X)}{F'_k(X)} \right|^2,$$

где X — вектор проектных переменных;

n — число критериев оптимизации;

F_k — вычисленное значение k -го критерия оптимизации;

F'_k — значение k -го критерия, которое необходимо достичь. Оптимальный проект соответствует $\min F^*(X)$.

Другой пример свертки с использованием метода штрафных функций выглядит следующим образом [122]:

$$F^*(X) = \sum_{k=1}^k W_k F_k(X),$$

где W_k — весовой коэффициент k -го критерия.

Исследуемая функция с учетом штрафного множителя r , который может варьироваться в процессе оптимизации, принимает вид

$$F(X, r) = F^*(X) - r \sum_{j=1}^m G_j(X),$$

$$G_j(X) = \begin{cases} \frac{1}{g_j(X)} & \text{для } g_j(X) \geq e, \\ \frac{2e - g_j(X)}{e^2} & \text{для } g_j(X) < e, \end{cases}$$

где $g_j(X)$ — j -е ограничение;

e — выбранное проектировщиком граничное значение.

Отдавая должное используемым в системах предварительного проектирования самолета численным методам оптимизации Хука—Дживса, Давидона—Флетчера—Пауэлла и др., остановимся кратко на методе выбора рациональных решений [8, 14]

и пакете программ [9, 15], которые, по мнению автора, могут оказаться полезными для читателя, занимающегося не только общим проектированием самолета¹.

Рассмотрим задачи, которые должны решаться интеллектуальными блоками поддержки принятия решений в современных САПР.

1. Автоматизированный анализ и подготовка исходной информации:

выбор проектных переменных и параметрических ограничений;

определение диапазона варьирования переменных и значений ограничений (последние могут иметь функциональную связь с «предварительными» приоритетами);

статистический анализ исходных проектных данных, необходимых для проектирования;

выбор критериев, оценка их приоритетов и назначение функциональных ограничений.

2. Автоматизированное построение области рациональных решений:

выбор метода оптимизации в зависимости от вида функции; определение оптимальных параметров по различным критериям без учета ограничений;

оценка влияния ограничений на оптимальные решения и величины критериев оценки;

оценка влияния неопределенности исходных данных (включая приоритеты) на оптимальные решения;

определение области компромиссных решений с учетом ограничений и неопределенности исходных данных.

3. Автоматизированный выбор проектного решения:

выбор метода сужения области компромиссов;

получение проектного решения.

Как подчеркивалось в п.3.5, на ранних стадиях проектирования детерминированные методы принятия решений не охватывают всего многообразия связей, имеющих место в реальном проектировании. Повысить (приблизить) адекватность модели оптимизации можно, если рассматривать задачу выбора проектных решений с учетом неопределенности исходных проектных данных. Решение задачи с нечеткими исходными данными сводится к нахождению устойчивого к вариации исходных данных рационального решения. В данном методе учет влияния неопре-

¹ Без ложной скромности можно констатировать, что в школе проф. В. Г. Маслова, воспитанником которой является автор этого пособия, результаты исследований в области внедрения кибернетических методов теории принятия решений в САПР ни в чем не уступали лучшим зарубежным разработкам.

деленности исходных данных на устойчивость оптимального решения оценивается не по абсолютному значению целевой функции, а по ее относительному изменению в окрестностях оптимума, т. е. имеет место отыскание решения, устойчивого по аргументу, а не по абсолютному значению функции. Использование при выборе оптимальных параметров относительных значений целевых функций базируется на положении, которое сводится к следующему.

Сама исследуемая модель и результаты расчета значений целевых функций не могут служить достаточной гарантией получения вычисленной эффективности, так как фактическая эффективность зависит также от многих неформализуемых и труднопредсказуемых факторов. С другой стороны, с помощью модели можно осуществить выбор параметров системы, которые будут являться наилучшими для данной системы в пределах заданных отклонений от экстремумов целевых функций при любом возможном изменении внешних условий.

В соответствии с этим процессу выбора параметров самолета предшествует анализ исходных проектных данных, оценка вероятностного диапазона их изменения и выбор вариантов представительных сочетаний исходных проектных данных для анализа в условиях неопределенности, формулировка начальных ограничений и исходных принципов расчета, выбор критериев эффективности и оценка их важности. Можно выделить следующие основные этапы метода оптимизации и выбора рациональных значений параметров самолета (рис. 3.12).

1. Построение имитационных моделей целевых функций на основе методов теории планирования эксперимента и регрессионного анализа.

2. Поиск детерминированных экстремумов целевых функций;

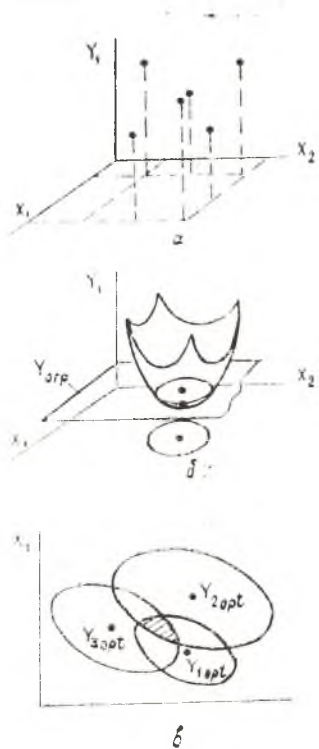


Рис. 3.12. Построение области выбора проектных решений: а — планирование эксперимента в выбранном диапазоне параметров; б — построение регрессионной модели для каждого критерия, поиск экстремума и построение изолиний при заданных ограничениях на величины этих критериев; в — построение области компромиссов с учетом неопределенности исходной проектной информации

$$X_{i,k} = \{arg\ opt\ Y_{i,k} \mid Y_{i,k} = Y(X_i, B_k, P)\},$$

где X — вектор оптимизируемых переменных;

B_k — вектор неоднозначных исходных данных;

P — вектор детерминированных исходных данных.

3. Определение областей локально-оптимальных параметров:

$$X_{i,k} = \{X \mid Y_i(X_i^{opt}, B_k, P) \geq Y_i(X, B_k, P) \geq (1 - dY_i) Y_i(X_i^{opt}, B_k, P)\},$$

где dY_i — выбранная величина отклонения от экстремума критерия Y_i .

Под областью оптимальных параметров понимается ограниченная изолинией (изоповерхностью) область, любое сочетание параметров в которой не превышает уровень целевой функции от экстремального значения этой функции на величину dY_i .

4. Определение областей компромиссов как результат пересечения локально-оптимальных областей для каждого варианта исходных данных:

$$X = \bigcap_{i=1}^r X_{i,k}.$$

5. Пересечение областей компромиссов образует общую для всех областей компромиссов часть, сочетание параметров в которой устойчиво к неопределенности исходной проектной информации, т. е. гарантируемую область компромиссов:

$$X = \bigcap_{i=1}^r \bigcap_{k=1}^q X_{i,k}.$$

6. Определение области выбора параметров самолета с учетом конструктивных, технологических и других ограничений, накладываемых на устойчивую часть области компромиссов.

7. Выбор окончательного варианта решения с учетом неформализуемых факторов.

Следует заметить, что учет большинства проектных ограничений целесообразно вести после определения устойчивой части области компромиссов для того, чтобы проектировщик мог видеть, ценой каких потерь удастся выдержать то или иное ограничение, и, может быть, при окончательном выборе решения мог скорректировать некоторые из них.

Последний этап наиболее трудный с точки зрения формализации, определения правил и стратегии выбора. Отладка этой части БЗ должна постоянно контролироваться экспертами.

Построение области выбора рациональных параметров предполагает наличие двух основных математических процедур: поиск экстремума критерия эффективности;

построение заданного уровня целевых функций в пространстве проектных переменных.

Чем выше точность воспроизведения изоповерхности целевых функций в пространстве оптимизируемых параметров, тем достовернее результат отыскания компромиссной области и, соответственно, выше надежность принимаемого решения. Повышение точности исходной ММ приводит к ее значительному усложнению и, как следствие, к большим затратам машинного времени на расчет даже одного варианта самолета.

Высокая трудоемкость вычисления целевой функции в задаче оптимизации параметров самолета с учетом итерационного характера проектирования, многокритериальности и неопределенности не позволяет эффективно осуществлять расчет по исходной ММ, поэтому исходная модель заменяется регрессионной (имитационной). В этом случае результат расчета по исходной ММ рассматривается как активный вычислительный эксперимент на ЭВМ, проведение которого полностью базируется на методах теории планирования эксперимента. Полученная на основе аппроксимации значений целевой функции регрессионная модель позволяет в несомненно более короткий срок проводить оптимизационные исследования. Для иллюстрации на рис. 3.13 приведены примеры некоторых планов, которые при-

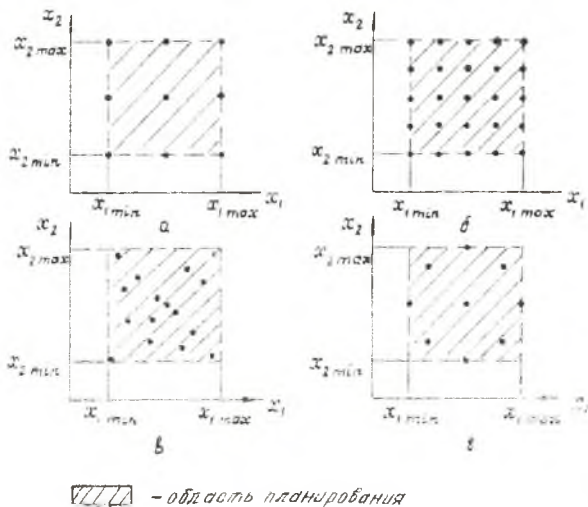


Рис. 3.13. Примеры планов экспериментов в плоскости двух параметров: а — полный факторный трехуровневый план; б — полный факторный пятиуровневый план; в — план, сформированный ЛП — г последовательностью [90]; г — план Бокса (проекция на плоскость)

меняются в вычислительных экспериментах.

Обычно в качестве аппроксимирующей функции используется полином второй степени

$$Y = A_0 + \sum_{i=1}^k A_i x_i + \sum_{\substack{i, j=1 \\ i \neq j}}^k A_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k A_i x_i^2,$$

где
$$x_i = \frac{X_i - X_{i \text{ cp}}}{X_{i \text{ cp}} - X_{i \text{ min}}}; \quad X_{i \text{ cp}} = \frac{X_{i \text{ max}} + X_{i \text{ min}}}{2}.$$

$X_{i \text{ cp}}$ — центр эксперимента;

$X_{i \text{ max}}, X_{i \text{ min}}$ — максимальные и минимальные значения варьируемых параметров самолета;

A_0, A_i — коэффициенты регрессии;

k — количество варьируемых параметров.

В ряде случаев целесообразно использовать ортогональный (полный) полином второй степени, который учитывает большее число связей и позволяет отследить овражный характер функции.

Для получения регрессионной модели используется метод наименьших квадратов, множественный регрессионный анализ по методу Гаусса-Жордана, пошаговый множественный регрессионный анализ.

Для поиска экстремума целевой функции используется алгоритм Ньютона-Рафсона, относящийся к методам второго порядка. Простая, «гладкая» имитационная модель функции позволяет данному методу за несколько приближений с высокой точностью отыскать экстремум функции.

Метод построения изолиний также учитывает простоту модели и содержит наряду с численными алгоритмами аналитические решения.

На основе описанного метода выбора рациональных решений был разработан Пакет Оптимизации Параметров Системы. Рис. 3.14 иллюстрирует работу ПОПС.

В качестве примера¹ приведен результат оптимизации таких параметров самолета как стреловидность крыла X_{win} и крейсерская скорость V_{cr} по критериям, себестоимость перевозок A_{op} и транспортная эффективность T_{off} . Область планирования (исследуемое пространство проектных переменных) по $X_{win} = 5...25$ по $V_{cr} = 650...780$. Так как ПОПС снабжен анимацией², «помощью», демонстрационным примером, удобным и понятным меню, то нет

¹ Данные для примера любезно предоставлены ОКБ им. О. К. Антонова.

² В прил. 3 представлена анимация на этот пакет, выдержанная в духе рекламы западных компьютерных монстров.

Результат оптимизации

область
функции

T_{eff} max (4,5%)
 A_{air} max (4,5%)

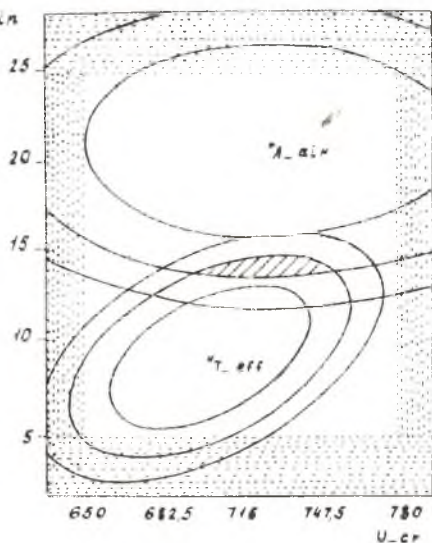
нажмите,
с клавишу

Печать - Prt

Запись - Alt Tab

Выход - Enter

X - шаг



//// - область компромиссов при 1-процентном отклонении от экстремумов обеих критериев

Рис. 3.14. Пример результата оптимизации параметров дозвукового транспортного самолета, выполненного с помощью ПОПС: * — оптимальные параметры соответственно по критериям A_{air} и T_{eff} ; — — — — изолинии (уровни (функций) критериев оптимизации построены через 0,5% от экстремумов функций

необходимости подробно знакомить с ним в данном пособии, а лучше сесть за компьютер и, как поется в песне: «...Ты все поймешь, ты все увидишь сам...».

* * *

В конце основной части пособия полезно ознакомиться со взвешенной оценкой (данной в работе [1]) перспектив решения рассматриваемой проблемы: «Реальный процесс проектирования образцов сложных технических систем... еще долгие годы будет строиться на рациональном сочетании интеллектуального потенциала проектировщиков и возрастающих возможностей ЭВМ (т.е. не по автоматической, а по автоматизированной схеме) с сохранением главенствующей роли в этом процессе за проектантом...

и с постоянной передачей ЭВМ той части проектной работы, которая будет поддаваться достаточной формализации и автоматизации». И далее проф. В. И. Автономов предостерегает, что «искусственное форсирование внедрения формализованного проектирования образцов сложных технических систем, которое, хотя и является весьма прогрессивной целью, может привести к стереотипным, шаблонным проектным решениям».

В теории эволюции живых организмов распространена точка зрения: кто отстал — тот погиб. Однако есть утверждения, что кто забежал вперед, тоже может погибнуть быстрее, уничтожив отставшую живую часть своей среды обитания [29].

Ваша задача — найти разумный компромисс!

И как сказано в святом писании:

«...ИЩИТЕ, И НАЙДЕТЕ; ИБО ВСЯКИЙ ИЩУЩИИ НАХОДИТ...».

«Прошло время, и настал день, когда эксперта смогли заменить компьютером, т. е. «выключить» его на время и даже забыв заплатить».

К. Нейлор [56, с. 15]

Автор берет на себя смелость утверждать, изложив свои аргументы в данном пособии, что в настоящее время в проектировании самолета происходят качественные изменения. Эти изменения согласно основному закону философии о переходе количества в качество опираются на огромный опыт и знания, накопленные в проектировании, на понимании того, что скрывается за магическим «искусством» проектирования, и переводе всего этого в разряд «науки» проектирования. Последнее позволяет осуществлять автоматизацию даже таких трудноформализуемых этапов, как этап предварительного проектирования самолета. Во многом этому способствуют выработанные на основе опыта знания, а также новая информационная технология, опирающаяся на ИИ. САПР становится интеллектуальной, причем принципиально меняются ее «функции». От инструмента, пусть даже мощного, САПР стремительно приближается к уровню интеллектуального партнера. Данное обстоятельство должно определить, по мнению автора, иное отношение будущих специалистов в области самолетостроения к автоматизации проектирования.

Традиционно студенты Самарского авиационного института активно работают в области автоматизации проектирования, помимо изучения тех основных курсов, которые читаются в рамках учебного плана. Пользуясь случаем, хотелось бы отметить тех студентов факультета летательных аппаратов, которые работали в разные годы с автором в области автоматизации предварительного проектирования самолета: это Ю. Жестков, И. Серебренников, Д. Буртов, А. Поздняк и др., а также выделить бригаду студентов 155 гр. под руководством А. Одинцова, которая приступила к созданию БД по самолетам мира.

Известные американские специалисты в области ИИ утверждают [52, с. 167]:

«Место обитания тех, кто работает головой, некогда веков разделялось на два уровня. На верхнем царствуют «патриции»-теоретики, внизу обитают практики. Там же внизу, но несколько в стороне расположились... конструкторы самолетов».

Будущим разработчикам интеллектуальных САПР самолета по глубокому убеждению автора уготованы звания «патрициев». А для этого требуется совсем немного — ЗНАНИЯ, знания предметной области, методологии проектирования, технологии ИИ... Как это не тривиально, но «знание—это сила». Так что же должен был узнать уважаемый читатель, прочитав эту брошюру? Автор попытался сделать некоторые выводы за читателя, и вот что у него получилось:

современное предварительное проектирование самолета не проводится без помощи компьютера;

в ближайшее время компьютер может стать реальным равноправным партнером при создании облика самолета;

основные тенденции в автоматизации проектирования не сводятся лишь ко все более строгому математическому моделированию. Не менее значимыми являются: дальнейшая формализация процесса проектирования, широкое применение процедур оптимизации, использование «нечетких» моделей и работа с нечеткой информацией.

Кроме перечисленных общих (для кого-то быть может тривиальных) выводов в задачи пособия входило научить подвергать критическому анализу состояние проблемы; составлять обзоры работ, осуществлять их разбор, выделять главное в них; уделять внимание терминам и определениям, стремиться к терминологической «чистоте»; тщательно анализировать сам процесс проектирования, его проектные операции и процедуры, информационные потоки и др.; познакомиться: с существующими САПР самолета; с концепцией интеллектуальной САПР, с некоторыми ее компонентами, с режимами ее работы; с некоторыми подходами к многокритериальной оптимизации и учету неопределенности; с примером ЭС из области проектирования самолета и др.; сделать прочтение пособия по-возможности не столь утомительным.

Если кому-то выводы покажутся не убедительными, то, имея в руках эту книжицу, есть возможность перечитать ее вновь. Ведь усвоение материала, так же, как и проектирование — процесс итерационный. В первом случае итерации могут быть обусловлены получением удовольствия от повторных чтений. В проектировании это сопряжено с постепенным уточнением и накоп-

лением достоверных данных, знаний, позволяющих принимать все более детальные проектные решения.

Если читатель при i -м прочтении будет добавлять также и то, что автор в предисловии назвал «гарниром», тогда у автора не будет и тени сомнений в правомерности приведенных здесь выводов.

УСПЕХОВ ВАМ ВСЕМ!

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автономов В. Н. Создание современной техники: Основы теории и практики. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.
2. Альтшуллер Г. С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1986. 209 с.
3. Асмус В. Ф. Логика. М.: Госполитиздат, 1947. 386 с.
4. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. М.: Радио и связь, 1988. 128 с.
5. Банди Б. Основы линейного программирования. М.: Радио и связь, 1989. 176 с.
6. Беклешов В. К., Морозова Г. А. САПР в машиностроении: организационно-экономические проблемы. Л.: Машиностроение, 1989. 144 с.
7. Боргест Н. М. Введение в базы данных на персональных ЭВМ/Куйбыш. авиац. ин-т.; Куйбышев, 1991. 16 с.
8. Боргест Н. М., Иванов А. Б. Метод поиска рациональных решений при проектировании сложных технических систем и машин в условиях неопределенных исходных данных // Второй Всесоюзный съезд по ТММ. Киев, 1982. 51 с.
9. Боргест Н. М., Иванов А. Б. Разработка программного обеспечения для исследования границ областей оптимальных параметров ГТД в системе многорежимного самолета. Деп. в ВНИИТИ 23.06.83, № 3378-83. С. 43—51.
10. Боргест Н. М. Исследование влияния аэродинамических и массовых характеристик многоцелевого ЛА на выбор оптимальных параметров его силовой установки // Современные проблемы авиационной науки и техники в работах молодых специалистов. М.: ВИАИ, 1984. С. 205—207.
11. Боргест Н. М. Концепция гибридной экспертной системы предварительного проектирования самолета // Методы использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах. Куйбышев, 1989. С. 43—55.
12. Боргест Н. М., Кузьмичев В. С., Маслов В. Г. Энергопотребление как критерий оптимизации летательных аппаратов и их двигателей // Научные чтения по авиации и космонавтике. М.: Наука, 1981. 251 с.
13. Боргест Н. М., Кузьмичев В. С. Математическая модель веса двух-контурного турбореактивного двигателя // Газотурбинные и комбинированные установки. М., 1979. 149 с.
14. Боргест Н. М., Маслов В. Г. Определение оптимальных параметров рабочего процесса авиационных ГТД в подсистеме «Выбор параметров ГТД»

учебно-исследовательской САИР / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1987. 16 с.

15. *Боргест И. М.* Пакет многокритериальной оптимизации в гибридной экспертной системе РИСК // Методы использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах. Куйбышев, 1990. С. 19–22.

16. *Братко И.* Программирование на языке ПРОЛОГ для искусственного интеллекта. М.: Мир, 1990. 560 с.

17. *Брусов В. С., Баранов О. К.* Оптимальное проектирование летательных аппаратов. Многоцелевой подход. М.: Машиностроение, 1989. 232 с.

18. *Быков В. П.* Методика проектирования объектов новой техники. М.: Высш. шк., 1990. 168 с.

19. *Быков В. П.* Методическое обеспечение САИР в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1989. 255 с.

20. *Вагин П. В.* Дедукция и обобщение в системах принятия решений. М.: Наука, 1988. 384 с.

21. *Вентцель Е. С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988. 208 с.

22. *Вермель В. Д.* Оперативный банк данных автоматизированной системы формирования облака самолета. Архив исходных данных для расчета летно-технических характеристик самолета // Тр. ЦАГИ. Вып. 2140. / М., 1982. 20 с.

23. *Вермишев Ю. Х.* Основы автоматизации проектирования. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.

24. *Виноградов С. И.* Логика: Учебник для средней школы. М.: ОГИЗ, 1947. 112 с.

25. *Вислов И. П.* Проектирование самолета и агрегата / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1990. 60 с.

26. *Володин В. В.* Автоматизация проектирования летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1991. 256 с.

27. *Володин В. В.* Разработка прикладного программного обеспечения систем автоматизированного проектирования // Авиационная промышленность. № 6. 1979. С. 3–5.

28. *Гельшерх Р., Швиндт П.* Введение в автоматизированное проектирование. М.: Машиностроение, 1990. 176 с.

29. *Горбань А. И., Хлебопрос Р. Г.* Демон Дарвина: Идея оптимальности и естественный отбор. М.: Наука, 1988. 208 с.

30. *Грей П.* Логика, алгебра и базы данных. М.: Машиностроение, 1989. 369 с.

31. Диалоговая система автоматизированного проектирования облака самолета (система «ПУСК») / *А. П. Позняк, А. К. Стрижевский, Н. В. Кричевский, И. М. Боргест, И. П. Вислов* // Вессоюзи. студ. научн. конф. «Королевские чтения» / Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1991. 10 с.

32. *Дитрих Я.* Проектирование и конструирование. Системный подход. М.: Мир, 1981. 456 с.

33. *Джонс Дж. К.* Методы проектирования. М.: Мир, 1986. 326 с.

34. *Дооре Дж., Рейблейн А. Р., Вадера С.* Пролог — язык программирования будущего. М.: Финансы и статистика, 1990. 144 с.

35. *Дракин В. И., Попов Э. В., Преображенский В. В.* Общение конечных пользователей с системами обработки данных. М.: Радио и связь, 1988. 288 с.

36. *Дюбуа Д., Прад А.* Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.

37. *Егер С. М., Лисейцев И. К., Самойлович О. С.* Основы автоматизированного проектирования самолета. М.: Машиностроение, 1986. 232 с.

38. *Иваненко В. И., Лабковский В. А.* Проблема неопределенности в задачах принятия решения. / Киев: Наук. думка, 1990. 136 с.

39. *Ивин А. А.* Искусство правильно мыслить. М.: Просвещение, 1990. 240 с.
40. Искусственный интеллект: В 3 кн. Справочник. М.: Радио и связь, 1990.
41. *Захаров Н. Г.* Теория компромиссных решений при проектировании корабля. Л.: Судостроение, 1987. 136 с.
42. *Клир Дж.* Системология. Автоматизация решений системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 544 с.
43. Комплекс информационного обеспечения. КИПО. Версия 2.3. Описание применения. Автор: *Субботин С. В.* Киев: КМЗ им. О. К. Антонова, 1986. 3 с.
44. *Коречко В. П., Курейгин В. М., Норенков И. П.* Теоретические основы САПР. М.: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
45. *Кузнецов В. Е.* Представление в ЭВМ неформальных процедур: производственные системы. М.: Наука, 1989. 160 с.
46. *Ларичев О. И.* Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1978. 200 с.
47. *Латомбо Ж. К.* Искусственный интеллект в автоматизированном проектировании: Система «Тропик» // Система автоматизированного проектирования. М.: Наука, 1985, С. 62—110.
48. *Левин Р., Дранг Д., Эделсон Б.* Практическое введение в технологию искусственного интеллекта и экспертных систем с иллюстрациями на Бейсике. М.: Финансы и статистика, 1990. 239 с.
49. *Мальчевский В. В.* Автоматизация процесса компоновки самолета / Моск. авиац. ин-т. М.: 1987. 52 с.
50. *Мальцев Н. Г., Берштейн Л. С., Боженюк А. В.* Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат, 1991. 136 с.
51. *Мерсер Д.* ИБМ: управление в самой преуспевающей корпорации мира / М.: Прогресс, 1991. 456 с.
52. *Мичи Д., Джонстон Р.* Компьютер творец. М.: Мир, 1987. 255 с.
53. Многоуровневое структурное проектирование программ: Теоретические основы, инструментарий / *Е. Л. Юценко, Г. Е. Цейтлин, В. П. Грицай, Т. К. Герзен.* М.: Финансы и статистика, 1989. 208 с.
54. *Моисеев Н. Н.* Неформальные процедуры и автоматизация проектирования. М.: Знание, 1979. 64 с.
55. *Мушин Э., Мюллер П.* Методы принятия технических решений. М.: Мир, 1990. 208 с.
56. *Пейлор К.* Как построить свою экспертную систему. М.: Энергоатомиздат, 1991. 286 с.
57. *Никифоров А. М.* Методы анализа данных с пропусками и их свойства. Программное обеспечение статистической обработки неполных данных // Статистический анализ данных с пропусками. М.: Финансы и статистика, 1991. С. 284—329.
58. *Никольская Н. Л., Семенов Е. Е.* Учимся рассуждать и доказывать. М.: Просвещение, 1989. 192 с.
59. *Норенков И. П., Маничев В. Б.* Основы теории и проектирования САПР. М.: Высш. шк., 1990. 335 с.
60. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / *А. И. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьев* и др. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.
61. *Орлов В. П.* Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. Кн. 1. М.: Машиностроение, 1988. 560 с.
62. *Осин М. И.* Методы автоматизированного проектирования летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1984. 168 с.

63. Основные принципы построения системы проектирования самолета с использованием ЭВМ. / Под ред. Л. М. Шкадова // Тр. ЦАГИ. Вып. 2021. М., 1979. 36 с.
64. Основы систем автоматизированного проектирования. / Под ред. Ю. В. Кожевникова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1988. 253 с.
65. Осуга С. Обработка знаний. М.: Мир, 1989. 293 с.
66. Подалко С. Н., Смирнов О. Л., Тюменцев Ю. П. Программное и информационное обеспечение автоматизированного проектирования / Моск. авиац. ин-т, М., 1979. 88 с.
67. Парасюк И. Н., Сергеев И. В. Пакеты программ анализа данных: технология разработки. М.: Финансы и статистика, 1988. 159 с.
68. Перспективы развития вычислительной техники: В 11 кн. Справ. пособие / Под ред. Ю. М. Смирнова. Кн. 2 Интеллектуализация ЭВМ / Е. С. Кузин, А. Н. Рейтман, И. В. Фоминых, Г. К. Хахалин. М.: Высш. шк. 1989. 159 с.
69. Половинкин А. Н. Основы инженерного творчества. М.: Машиностроение, 1988. 368 с.
70. Попов Э. В. Экспертные системы: Решение неформализуемых задач в диалоге с ЭВМ. М.: Наука, 1987. 288 с.
71. Поспелов Г. С. Искусственный интеллект — основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. 280 с.
72. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь, 1989. 184 с.
73. Поспелов Д. А. Фантазия или наука? На пути к искусственному интеллекту. М.: Наука, 1982. 280 с.
74. Превро Ж. Ф. Экспертные системы САПР. ВЦП № Р-12122. М.: 1988. 12 с.
75. Приобретение знаний. / Под ред. С. Осуги, Ю. Сазки. — М.: Мир, 1990. 204 с.
76. Программа Второй Всесоюзной конференции, выставки и школы по искусственному интеллекту (ВКИИ-90). Минск, 1990. 56 с.
77. Программа формирования предварительного облика самолета ФОРПОСТ-3.0. Описание применения. Авторы: Субботин С. В., Михайлов Э. В., Белопищевская И. Я., Ясинская О. В. Киев: КМЗ им. О. К. Антонова, 1986. 3 с.
78. Проектирование самолета / Под ред. С. М. Егера. М.: Машиностроение, 1983. 616 с.
79. Проектирование самолета / О. Н. Корольков, Б. А. Юдкевич, Д. М. Козлов, М. И. Вильчек / Куйбышев. авиац. ин-т Куйбышев, 1983. 56 с.
80. Разработка САПР: В 10 кн. / Под ред. В. А. Петрова. М.: Высш. шк. 1990.
81. Райфа Г. Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределенности). М.: Наука, 1977. 408 с.
82. Расчет летно-технических характеристик самолета / В. С. Брусев, В. П. Суриц, О. П. Зорина, В. Ф. Захарченко / Моск. авиац. ин-т, М., 1987. 51 с.
83. Реальность и прогнозы искусственного интеллекта: Сб. статей. М.: Мир, 1987. 247 с.
84. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. М.: Мир, 1986.
85. Розенман М. А., Геро Дж. С., Хатчинсон П. Ж., Оксман Р. Применение экспертных систем в системах автоматизированного проектирования. ВЦП № Р-09063. М.: 1988. 15 с.
86. Сащиченко Л. М. Разработка экспертных систем конструирования на основе инструментального комплекса XTOOLS // Науч.-техн. сб. «Информатика. Автоматизация проектирования». Вып. 1, 1990. С. 10—17.
87. Системы автоматизированного проектирования: В 9 кн. / Под ред. И. П. Норенкова. М.: Высш. шк. 1986.

88. *Скрипниченко С. Ю.* Оптимизация режимов полета по экономическим критериям. М.: Машиностроение, 1988. 152 с.
89. *Смит П., Стефенсон А.* Тенденция развития гражданских самолетов. ВЦП № М—30660. М., 1986. 49 с.
90. *Соболь Н. М., Статников Р. Б.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.
91. *Совер Б., Фостер О. Л.* Программирование экспертных систем на Паскале. М.: Финансы и статистика, 1990. 199 с.
92. *Солышиков Ю. С.* Обоснование решений (методологические вопросы). М.: Экономика, 1980. 168 с.
93. *Соловов А. В.* Технические средства САПР / Куйбышев. авиац. ин-т, Куйбышев, 1987. 135 с.
94. Справочник по САПР / *А. П. Будя, А. Е. Кононюк, Г. П. Куненко* и др. / Под ред. *В. И. Скурихина*. Киев: Техника, 1988. 375 с.
95. *Стинтон Д.* Проектирование самолета. ВЦП КМ — 79528, 79534. Киев, 1986.
96. *Ступаченко А. А.* САПР технологических операций. Л.: Машиностроение, 1988. 234 с.
97. *Таунсенд К., Фохт Д.* Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1990. 320 с.
98. *Торенбик Э.* Проектирование дозвуковых самолетов. М.: Машиностроение, 1983. 648 с.
99. *Турапин В. М., Салмин В. В.* Летные характеристики, продольная устойчивость и управляемость самолета / Куйбыш. авиац. ин-т, Куйбышев, 1987. 75 с.
100. *Уайлд Д.* Оптимальное проектирование. М.: Мир, 1981. 272 с.
101. *Усталов В. С.* О ролевом критерии различия данных и знаний в системах ИИ. // Вопросы применения экспертных систем. Минск, 1988. С. 72—79.
102. *Устерлен Д.* Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 308 с.
103. Учебная САПР силовых конструкций ПРОСЕК / *А. В. Соловов, А. А. Черепашков, С. В. Мрыкин* и др. / Куйбышев. авиац. ин-т, Куйбышев, 1987. 23 с.
104. *Хилл П.* Наука и искусство проектирования. М.: Мир, 1973.
105. *Хорафас Д., Легг С.* Конструкторские базы данных. М.: Машиностроение, 1990. 253 с.
106. *Хювнен Э., Сеппянен И.* Мир ЛИСПа: В 2-х т. М.: Мир, 1990.
107. *Шейнин В. М., Козловский В. И.* Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. М.: Машиностроение, 1984. 552 с.
108. *Шейнин В. М., Макаров В. М.* Роль модификации в развитии авиационной техники. М.: Наука, 1982. 225 с.
109. *Шруп Г., Краузе Ф. Л.* Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988. 648 с.
110. Экономические проблемы разработки новых авиационных двигателей. Доклады, представленные на семинар, организованный компанией «Ллойдс оф Ланди пресс». Нью-Йорк, 29 мая 1985. ВЦП № М—14775. М., 1986. 236 с.
111. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. / Под ред. *Р. Форсайта*. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.
112. Экспертные системы: состояние и перспективы: Сб. статей. М.: Наука, 1989. 152 с.
113. *Элли Дж., Климбе М.* Экспертные системы: Концепции и примеры. М.: Финансы и статистика, 1987. 191 с.
114. *Югов О. К., Селиванов О. Д.* Основы интеграции самолета и двигателя. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
115. Язык Пролог в пятом поколении ЭВМ. М.: 1988. 501 с.

116. Anderson B.L. First Step Toward Integrating the Design Process. AIAA-88-4403, 1988. 5p.
117. Batson R.G., Love R.M. Risk Analysis Approach to Transport Aircraft Technology Assessment. "J.Aircraft". Vol.25, N2, 1988. P.99-105.
118. Bil C. Applications of Computer-Aided Engineering to Subsonic Aircraft Design in a University Environment. "ICAS Proc. 1986: 15th Congr. Int. Counc. Aeron. Sci., London, 7-12 Sept., 1986. Vol. 1" New York. P.108-118.
119. Bil C. ADAS: a design system for aircraft configuration development. "AIAA Pap.," 1989, N 2131.- 8p.
120. Bouchard E.E., Kidwell G.H., Rogan J.E. The Application of Artificial Intelligence Technology to Aeronautical System Design. AIAA-88-4426. 1988. 20p.
121. Boud A.H., Soetarman B. Integrating Prolog and CADAM to Produce an Intelligent CAD system. "WESTEX-87: West Conf. Expert Syst., Calif.; June 2-4, 1987. Proc." Washington. 1987. P.152-160.
122. Dovi A.R., Wrenn G.A. Aircraft Design for Mission Performance Using Non-Linear Multiobjective Optimization Methods. AIAA-89-2078. 1989. 12p.
123. Haberland C., Fenske W. A Computer Augmented Procedure for Commercial Aircraft Configuration Development and Optimization. "J.Aircraft". Vol.23, N5. 1986. P.390-397.
124. Hall D.W., Rogan J.E. Development of a Microcomputer Based Integrated Design System for High Altitude Long Endurance Aircraft. AIAA-88-4429. 1988. 21p.
125. Lange R.H. A Review of Unconventional Aircraft Design Concepts. "ICAS Proc. 1986: 15th Congr. Counc. Aeron. Sci., London, 7-12 Sept., 1986. Vol.1." New York. P.191-200.
126. Marinopolous S., Jackson D., Shupe J., Mistree F. Compromise: an Effective Approach for Conceptual Aircraft Design. AIAA-87-2965. 1987. 11p.
127. Murotsu Yoshisada, Park Choong Sik // Няхон кикай ганкай ромбунёу. Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. C. 1990. 56 N 521. P.251-256
128. Newberry C.F., Lord P.A. Aerospace Vehicle Design at California State Polytechnic University. AIAA-86-2637. 1986. 12p.
129. Nicolai L.M. Fundamentals of Aircraft Design. Revised 1984. Mets. Inc. San Jose. California. 1975.
130. Jensen S.C., Reitie I.H., Barber E.A. Role of Figures of Merit in Design Optimization and Technology Assessment. "J.Aircraft". Vol.18, N2. 1980. P.76-81.
131. Simcs D., Jenkinson L.R. Optimization of the Conceptual Design and Mission Profiles of Short-haul Aircraft. AIAA-86-2696. 1986. 9p.
132. Wampler S.G. Improving Aircraft Conceptual Design a PHIGS Interactive Graphics Interface for ACSYNT. AIAA-88-4481. 1988. - 9p.
133. Widdison C.A., Schreffler E.S., Hosking C.W. Aircraft Synthesis with Propulsion Installation Effects. AIAA-88-44-4. 1988. - 7p.

ПРИМЕР ЭС

„ВЫБОР СХЕМЫ

САМОЛЕТА“

«Часто начинающему легче научиться лиеповскому функциональному мышлению или реляционному стилю ПРОЛОГа, чем программисту с опытом работы на операторном языке».

[106]

«Значительное количество исследований в области ИИ проводятся с привлечением языков ЛИСП или ПРОЛОГ. Во всяком случае все профессионалы-специалисты по ЭС обычно используют именно их...».

К. Нейлор [56]

Автор считал необходимым дать в приложении пример программы, написанной на ПРОЛОГе, преследуя при этом цель — поймать не двух, а более зайцев. Во-первых, познакомить с языком, показать, как он «выглядит». Ведь «его» пока не читают в курсах программирования. Во-вторых, показать решение задачи на этом языке из известной (надеюсь) читателю области. Ведь в книгах по ИИ обычно приводятся примеры из области «общих знаний». В-третьих, заинтересовать Вас, используя такую мотивацию, как возмездие: Вас в Ваших же глазах, если Вы «сходу» поймете 50% того, как работает программа на ПРОЛОГе. Думается, что дополнительным стимулом для Вас будет и мнение специалиста по ПРОЛОГу (если Вы, конечно, решили серьезно заняться автоматизацией), который справедливо заметил, что «неполноценным ощущает себя сегодняшний исследователь в области ИИ, если он не обладает основательным знакомством как с ЛИСпом, так и с ПРОЛОГом» [16].

Конечно, это не ЭС (этот пример лишь частично связан с изложенной концепцией гибридной ЭС), а только простейшая программа на ПРОЛОГе, которая, однако, позволяет в первом приближении выбрать балансировочную схему самолета и расположение крыла относительно фюзеляжа. Основу входной информации составляют данные ТЗ. БЗ этой ЭС включает в себя набор нестрогих правил, выработанных на основе обобщений и общих рассуждений, изложенных в учебниках по проектированию самолета. Опытный проектировщик может доработать приведенные правила и добавить свои соотношения и тем самым увеличить мощность этой ЭС. По подобной схеме могут быть написаны ЭС по выбору: схемы оперения, типа, числа и расположения двигателей, шасси и др.

Ниже приведены текст программы с краткими комментариями и результаты диалогового общения с этой программой.

ПРОСТЕЙШИЙ ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯЗЫКА ПРОЛОГ
 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕБОЛЬШОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ,
 ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ВЫБОРА СХЕМЫ САМОЛЕТА

```

DATABASE:      /* описание структуры используемой
                внутренней БД. */

xpositive(symbol, symbol) /* есть эквивалент предиката */
                        /* positive */
xnegative(symbol, symbol) /* - " - negative */

PREDICATES     /* описание используемых предикатов */
                /* Предикаты - операторы, описывающие */
                /* отношения между объектами. */
                /* Используются для представления */
                /* фактов и правил */
                /* ----- */

wing_fuselage(symbol)
schema_is(symbol)
ask(symbol, symbol, symbol)
remember(symbol, symbol, symbol)
positive(symbol, symbol)
negative(symbol, symbol)
clear_facts
run

GOAL           /* Цель. */

write("\n Прототип экспертной системы для выбора"),
write(" схемы самолета\n\n"),
write("\n На все вопросы отвечайте только :"),
write("\n 'да' или 'нет'\n\n"),
                                        /* оператор write */
                                        /* понятен всем ! */

goal.         /* Цель задана. Назван предикат. Осуществляется */
              /* запуск программы */
    
```

CLAUSES /* Перечень предложений, фактов или набор правил */
/* т. е. БЗ */

```
wing_fuselage("высокоплан") :- /* ":" - встроенный  
                                предикат "если" */  
    positive("назначение_самолета", "транспортный").
```

```
/* точка ставится в конце утверждения */
```

```
/*  
Данная запись означает, "если назначение самолета —  
транспортный, то схема - высокоплан
```

```
*/
```

```
wing_fuselage("высокоплан") :-
```

```
    positive("назначение_самолета", "пассажирский").
```

```
/* символ "," - есть знак логического "И" */
```

```
    positive("число_пассажиров", "меньше_50"),  
    positive("маршрут_полета", "только_над_сушей"),  
    positive("длина_разбега", "короткая"),  
    positive("двигатель", "большого_диаметра"),  
    positive("скорость_полета", "небольшая_дозвуковая").
```

```
wing_fuselage("среднеплан") :-
```

```
    negative("назначение_самолета", "пассажирский"),  
    positive("сопротивление_интерференции", "минимальное"),  
    positive("полезная_нагрузка", "имеет_малый_объем"),  
    positive("полезная_нагрузка", "может_быть_разделена_на_части").
```

```
wing_fuselage("среднеплан") :-
```

```
    positive("назначение_самолета", "пассажирский"),
```



```

    positive("число_пассажиров", "больше_300"),
    positive("диаметр_фюзеляжа", "больше_5м"),
    positive("двигатель", "большого_диаметра").

wing_fuselage("низкоплан") :-
    positive("назначение_самолета", "пассажирский").

schema_is("нормальная") :-
    positive("продольная_устойчивость", "высокая"),
    positive("диапазон_скоростей_полета", "широкий").

schema_is("утка") :-
    negative("назначение_самолета", "транспортный"),
    positive("длина_разбега", "короткая"),
    positive("маневренность", "повышенная").

schema_is("бесхвостка") :-
    negative("назначение_самолета", "транспортный"),
    positive("диапазон_скоростей_полета", "узкий"),
    negative("длина_разбега", "короткая"),
    positive("аэродинамическая_эффективность", "высокая").

/*          Конец БЗ          */

positive(X, Y) :-
    xpositive(X, Y). !.
positive(X, Y) :-
    not(xnegative(X, Y)),
    ask(X, Y, да).
/* X и Y - переменные. В Прологе они начинаются с
   прописной буквы и служат для обозначения
   объекта, на который нельзя сослаться по имени
   not( цель ) - встроенный предикат "не", т.е. если цель

```

успешна, то not(цель) неуспешна, иначе
not(цель) успешна

"!" - символ отсеечения - предотвращает возврат из тех
точек программы, в которые поставлен.

Предназначен для повышения эффективности работы
программы

*/

```
negative(X, Y) :-  
    xnegative(X, Y), !.  
negative(X, Y) :-  
    not(xpositive(X, Y)),  
    ask(X, Y, "нет").
```

```
ask(X, Y, да) :-  
    !, write(X, " - ", Y, '\n'),  
    readln(Reply),  
    frontchar(Reply, 'д', _),  
    remember(X, Y, да).
```

/*

ask - предикат задает вопросы и организует запоминание
ответов (remember)

*/

```
ask(X, Y, "нет") :-  
    !, write(X, " - ", Y, '\n'),  
    readln(Reply),  
    frontchar(Reply, 'н', _),  
    remember(X, Y, "нет").
```

/* "_" - анонимная переменная - переменная, которая не
представляет интереса в процессе работы про-
граммы.

*/

```
remember(X, Y, да) :- assertz(xpositive(X, Y)).  
remember(X, Y, "нет") :- assertz(xnegative(X, Y)).
```

```
assertz - встроенный предикат записи в конец  
внутренней БД
```

```
*/
```

```
clear_facts :-
```

```
    write("\n\nДля завершения нажмите клавишу 'пробел'\n"),  
    retractall(_, dbasedom), readchar(_).
```

```
/*
```

Удаление всех фактов, которые были добавлены в БД

```
*/
```

```
run :-
```

```
    schema_is(X), !,  
    wing_fuselage(Y), !,  
    write("\nСхема самолета может быть ", X, " ", Y),  
    nl, nl, clear_facts.
```

```
/*
```

nl - стандартный предикат переводит печать на новую строку

```
*/
```

```
run :-
```

```
    write("\nЭС не в состоянии помочь Вам в выборе"),  
    write(" схемы самолета.\n\n"), clear_facts.
```

ПРИМЕРЫ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ

Прототип экспертной системы для выбора схемы самолета

На все вопросы отвечайте только:
«да» или «нет».

Пример 1

продольная устойчивость — высокая

да

диапазон скоростей полета — широкий

да

назначение самолета — транспортный

нет

назначение самолета — пассажирский

да

число пассажиров — меньше 50

да

маршрут полета — только над сушей

да

длина разбега — короткая

да

двигатель — большого диаметра

да

скорость полета — небольшая дозвуковая

да

Схема самолета может быть нормальной высокоплан

Для завершения нажмите клавишу «пробел»

Пример 2

продольная устойчивость — высокая

нет

назначение самолета — транспортный

нет

длина разбега — короткая

да

маневренность — повышенная

да

назначение самолета — пассажирский

нет

сопротивление интерференции — минимальное

да

полезная нагрузка — имеет малый объем

да

полезная нагрузка — может быть разделена на части

да

Схема самолета может быть утка среднеплан

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВАХ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

«По мере возрастания сложности системы наша способность формулировать точные, содержащие смысл утверждения о ее поведении уменьшается вплоть до некоторого порога, за которым точность и смысл становятся взаимоисключающими».

Л. Заде

На ранних этапах проектирования сложных объектов имеется ряд альтернативных вариантов проектирования, но неизвестно точно, какими именно свойствами будет обладать объект, созданный на том или ином пути проектирования. Ресурсы на проработку всех вариантов проекта отсутствуют, а опыт конструкторов выражается качественно, в виде словесного описания. Ставится задача отсева части вариантов на основе векторного показателя качества с нечеткими оценками его значений. В данном случае задача проектирования уже в исходном виде является «погруженной» в нечеткую среду [60].

Один из способов решения задач с нечеткой постановкой связан с нечеткими множествами Л. Заде. Рассмотрим универсальное множество $X = \{x\}$. Нечетким множеством A на множестве X называется совокупность пар вида

$$A = \{ \langle \mu_A(x) / x \rangle \},$$

где $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ — отображение множества X в единичный отрезок $[0,1]$, называется функцией принадлежности нечеткого множества A .

Значение функции принадлежности $\mu_A(x)$ для конкретного элемента $x \in X$ называется степенью принадлежности. Согласно Л. Заде степень принадлежности является субъективной мерой того, насколько элемент $x \in X$ соответствует понятию, смысл которого формализуется нечетким множеством A .

Носителем нечеткого множества A является подмножество S_A универсального множества A , для элементов которого функция принадлежности μ_A строго больше нуля, т. е.

$$S_A = \{x \mid x \in X \ \& \ \mu_A(x) > 0\}.$$

Пример. Пусть универсальное множество X соответствует множеству возможных значений стреловидностей крыла (от 3 до 67°) самолетов, имеющихся в Б.Д. Нечеткое множество A , соответствующее нечеткому понятию малая стреловидность крыла, может быть представлено в виде

$$A = \{ \langle 1/3 \rangle, \langle 0.9/5 \rangle, \langle 0.8/6 \rangle, \langle 0.7/8 \rangle, \langle 0.6/10 \rangle, \\ \langle 0.3/14 \rangle, \langle 0.1/17 \rangle, \langle 0/20 \rangle, \langle 0/21 \rangle, \dots \}.$$

Носителем нечеткого множества A будет являться конечное множество $S_A = \{3, 5, 6, 8, 10, 14, 17\}$.

Если рассматривать X как множество действительных чисел, например, от 0 до 70°, тогда носителем S_d нечеткого множества A может быть отрезок $S_d = [0, 20]$. Нечетким множеством, определенным на множестве действительных чисел, можно формализовать, например, понятие *посадочная скорость порядка 230 км/ч* (рис. П.1) [60].

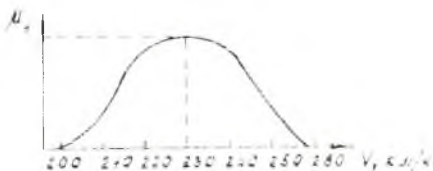


Рис. П.1. Функция принадлежности нечеткого понятия «посадочная скорость порядка 230 км/ч»

Для нечетких множеств вводятся различные операции, такие как объединение, пересечение, дополнение, включение, сравнение. Наряду с нечеткими множествами оперируют также такими понятиями как нечеткие и лингвистические переменные, нечеткие числа и функции.

Например, нечеткая переменная определяется кортежем

$$\langle \alpha, X, c_\alpha \rangle,$$

где α — наименование нечеткой переменной,

$X = \{x\}$ — область ее определения, или универсальное множество,

$c_\alpha = \{\mu_\alpha(x)/x\}$ — нечеткое множество на X , описывающее ограничения на возможные числовые значения α .

Лингвистическую переменную рассмотрим на основе примера формализации описания посадочной скорости, которую эксперт оценивает с помощью понятий «малая», «небольшая», «средняя», «высокая».

\langle скорость, {малая, небольшая, средняя, высокая}, $[0, 300] G, M \rangle$,

где скорость — наименование лингвистической переменной,

{...} — множество ее значений,

[...] — область определения.

G — процедура перебора элементов {...},

M — процедура экспертного опроса, позволяющая приписать каждому значению, образуемому процедурой G , некоторую семантику путем формирования соответствующего нечеткого множества.

Пропуская вопрос о содержательной интерпретации функции принадлежности и построении последней на основе экспертных оценок, остановимся лишь на возможных способах представления данной функции в ЭВМ. Один из способов (предложен Л. Заде) позволяет представить $\mu_A(x)$ в виде стандартной л-функции с помощью двух параметров: x_1 — величиной, при которой значение функции равно 1 («матожидание»); η — величиной, при которой значение функции равно 0,5 (рис. П.2) [50]. Более гибкий способ с помощью так называемого β -распределения используется в ЦАГИ для статистической оценки характеристик проектируемого самолета. Являясь аналогом $\mu_A(x)$ по своей сути, β -распределение позволяет получать различные законы от нормального усеченного до близкого к равномерному. Для описания с помощью β -распределения функции принадлежности, кроме матожидания в границ, при которых $\mu_A(x) = 0$, необходимо задать два параметра, характеризующих полную и форму этого распределения [63, 114].

Несколько слов о нечеткой логике или системе логических выводов при нечетких высказываниях.

Каждому из приведенных в п. 3.3 правил БЗ соответствует свой коэффициент (или показатель) определенности¹. Значение этого коэффициента назначает эксперт (или группа экспертов), разрабатывающий БЗ. Коэффициент определенности показывает надежность правил. Подобным образом оценивают определенность предпосылки правила продукции и входящих в нее условий.

Ключевой теоремой, используемой в ЭС при оценке рассматриваемой гипотезы, является теорема Байеса. Для иллюстрации этой теоремы возьмем простейшее правило из БЗ ЭС, приведенной в прил. 1.

Правило: ЕСЛИ «назначение самолета» — «транспортный», ТО «схема самолета» — «высокоплан» или в общем виде:

ЕСЛИ (E), ТО (H), где E — суждение (свидетельства или условия), H — гипотеза (или действие). Теорема Байеса позволяет определить апостериорную вероятность гипотезы H при наличии свидетельства E

$$P(H; E) = P(E; H) \frac{P(H)}{P(E)}$$

где $P(H)$ — априорная вероятность гипотезы H при отсутствии каких-либо свидетельств. Например, P (схема-высокоплан) может быть около 0,3, а P (схема — нормальная) может быть довольно высокая 0,9 и выше;

$P(E)$ — вероятность какого-то свидетельства E . Например, P (назначение самолета — пассажирский) у произвольного самолета может быть 0,6, а P (назначение самолета — транспортный) — 0,2;

$P(E; H)$ — например, вероятность того, что произвольно взятый самолет из БД транспортного назначения имеет схему «высокоплан». Для рассматриваемого правила значение $P(E; H)$ может быть около 0,9.

На основе анализа значения вероятности $P(H; E)$ делается заключение о принятии данной гипотезы или снятия ее с рассмотрения.

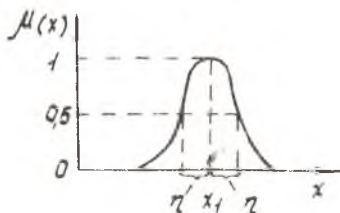


Рис. П.2. Представление функции принадлежности в виде д-функции

¹ В других работах можно встретить иное название. Например, фактор ослабления в «пустой» ЭС «Экспертмикро» (см. в кн.: Системы управления БД и БЗ. М.: Финансы и статистика, 1991. — 352 с).

АННОТАЦИЯ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ



Не преувеличивая достоинства программы оптимизации, автор решил воспроизвести аннотацию этой разработки в виде саморекламы. Современные требования к подаче материала не сводятся лишь к его информативности. Важным качеством материала является его привлекательность, вызывающая интерес, но не утомляемость. Подготовке подобных аннотаций, тезисов, рекламы также необходимо учиться будущим инженерам. Итак знакомьтесь...

САМАРСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

ПРЕДЛАГАЕТ

**самый быстрый,
удобный
и недорогой**

ПАКЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ (ПОПС)

У Вас масса проблем.

Вам надо быстро найти оптимальное решение.

У Вас нет возможности «гонять» громоздкую модель, чтобы провести параметрический анализ или нет средств и времени на бесчисленные натурные эксперименты.

Но у Вас четко обозначены группы варьируемых параметров и Вы знаете что является мерой оценки Вашей системы.

Кстати, в данном случае «система» —
это все что угодно: самолет или перфоратор,
автомобиль или кольцо от подшипника.

Главное Вы должны знать, в каком диапазоне Вы хотите

Барьерировать независимые переменные и иметь возможность получить значения критериев при различных сочетаниях этих параметров.

Все остальное сделает ПОПС.

ПОПС прост в работе, поэтому Вам не надо уметь работать на ПЭВМ, необходимо просто иметь ее или иметь к ней доступ.

Основные характеристики ПОПС для ПЭВМ:
число одновременно оптимизируемых параметров 2...7;
число критериев оптимизации 1...7;
число изолиний по каждому критерию 1...3;
язык реализации Си¹;
цветная и монохромная графика;
максимальная длина загрузочного модуля 300 кбайт;
операционная система MS DOS.

Теоретической основой ПОПС являются методы теории планирования эксперимента, регрессионного анализа, нелинейной оптимизации, теории принятия решений.

Некоторые подробности для любознательных

Реализованные в ПОПС планы эксперимента:

полный факторный эксперимент 3^k и выше;
центрально-композиционный план второго порядка Бокса;
трехуровневый план второго порядка Бокса-Бенкина;
ортогональный план второго порядка;
составной план второго порядка.

Методы регрессионного анализа:

множественный анализ по методу Гаусса-Жордана;
пошаговый множественный регрессионный анализ;
метод наименьших квадратов.

Метод нелинейной оптимизации — метод второго порядка Ньютона-Рафсона.

Метод построения изолиний — численно-аналитический.

**ПОПС — это действительно «попс»,
это быстрый, как «выстрел», результат,
это простота и легкость в работе, как просты
и незатейливы песенки в стиле «поп».**

В любой проектной организации, исследовательской лаборатории, в вузе и на производстве для ПОПС найдется работа. Приобретайте и Вы не пожалеете!

Контактный тел. 35-70-65 или 35-70-15 (САН, каф. КИИЛА).

¹ Интерфейс реализован на Паскале.

Оглавление

Предисловие	3
1. Ключевые термины	7
2. Введение в проблему	11
2.1. Методы проектирования	12
2.2. САПР самолета	13
2.3. Искусственный интеллект в САПР	22
3 Предварительное проектирование самолета с помощью компьютера	26
3.1. Концепция интеллектуальной САПР самолета	27
3.2. База процедур — формальные алгоритмы проектирования	40
3.3. База данных — хранилище проектов	42
3.4. База знаний — инженерный опыт и эвристики	47
3.5. Учет неопределенности — гарантия от серьезных ошибок в проектировании	52
3.6. Оптимизация — основная процедура синтеза проекта	55
Заключение	70
Библиографический список	73
Приложение 1. Пример ЭС «Выбор схемы самолета»	79
Приложение 2. Некоторые сведения о нечетных множествах и нечетной логике	86
Приложение 3. Аннотация программы оптимизации	89