

Академия наук Украины  
Институт проблем моделирования в энергетике

На правах рукописи

СОБОЛЕВ Анатолий Николаевич

УДК 681.327.621.392

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ИНДИКАТОРНЫХ МОДУЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Специальность 05.13.05 - Элементы и устройства  
вычислительной техники и систем управления

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев 1993

Работа выполнена в Киевском НИИ микроприборов НПО "Микро-процессор"

Научный руководитель

- доктор технических наук, профессор, заслуженный  
  деятель науки и техники Украины ИЛЬНИЦКИЙ Л.Я.

Научный консультант

- доктор технических наук ХОРОШКО В.А.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук РОМАНЦОВ В.П.

- кандидат технических наук, старший научный  
  сотрудник С.ЮРИК В.Н.

Ведущая организация

- Научно-исследовательский институт "Орион"

Защита состоится "7" ОКТОБРЯ 1993г. в 14-00 часов

на заседании Специализированного Совета К 016.61.01 пр.

Институте проблем моделирования в энергетике АН Украины  
(252164, Киев-164 ул.Генерала Наумова,15)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института  
  проблем моделирования в энергетике АН Украины.

Автореферат разослан "31" августа 1993г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета

кандидат технических наук

*Сем* - Э.П.Семагина.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00815255 (Q)

Актуальность темы. Широкое применение методов цифровой обработки, а также решение сложных многовариантных задач в различных областях науки и техники вызвало необходимость обработки чрезвычайно больших объемов информации в реальном масштабе времени. Это определило необходимость поиска принципиально новых подходов к разработке информационно-вычислительных систем и организации вычислительных процессов, которые связаны с разработкой параллельных алгоритмов и перераспределением функций по обработке и отображению информации в системах.

В последние годы при проектировании информационно-вычислительных систем (ИВС) различного назначения отмечается смещение функций по обработке информации от систем обработки данных к периферийному оборудованию. Это, в первую очередь, относится к бортовым авиационным ИВС.

Для управления современным воздушным судном (ВС) пилоту необходима разнообразная информация о параметрах движения самолета, работе двигателей, систем оборудования и др. Совершенствование ВС и расширение их летно-технических возможностей приводит к увеличению объема необходимой информации. В связи с этим на ВС необходимо устанавливать всё большее количество приборов, которое ограничено размерами приборных досок ВС. Причем следует учитывать, что с увеличением объема и сложности информационных потоков возможности летчика по восприятию и переработке информации ограничены. Увеличение скорости полета уменьшает время, которым располагает летчик для операций принятия решений, что еще сильнее снижает его возможности. Это особенно существенно проявляется на этапе захода на посадку, когда дефицит времени наиболее ощутим, и уровень психофизиологической напряженности экипажа значительно возрастает.

Существующие системы посадки ВС в настоящее время не обеспечивают надежную и безопасную посадку судна в сложных метеорологических условиях на ограниченные взлетно-посадочные полосы (ВПП). Такие условия характеризуются минимальными значениями высоты принятия решения и дальности видимости вдоль оси ВПП, а также минимальными размерами ВПП. Над этой проблемой работают специалисты ведущих авиационных и радиоэлектронных фирм как у нас, так и за рубежом.

Поэтому задача создания высоконадежных систем посадки является на сегодняшний день весьма актуальной.

Основным и очень важным техническим средством посадки является система визуального воспроизведения пилотажно-навигационной обстановки с помощью бортовых индикаторных приборов. Существующие средства отображения представляют собой набор большого числа отдельных стрелочных индикаторных приборов, дающих разнообразную информацию об отклонениях от заданных значений курса и глиссады снижения. Пилоту приходится создавать целостный образ полета по восприятиям отдельных не связанных между собой показаний и, так как информационное поле отображения рассредоточено по нескольким приборам, на принятие решения затрачивается достаточно большое время, что в условиях визуальной посадки с низкими посадочными минимумами недопустимо.

По-иному обстоит дело при использовании интеллектуальных индикаторных модулей (ИИМ). Воспроизводимые ими изображения очень наглядны, компактны по объему и легко воспринимаются летчиком, так как они приближаются к реальным восприятиям пилотажно-навигационной обстановки.

Обоснование выбора объекта исследования. Ядром авиационных ИВС является управляющая ЭВМ большой производительности, которая должна обеспечить обработку и отображение большого количества параметров в режиме реального времени. Но с увеличением потока входной информации в ИВС даже самая производительная ЭВМ требует значительного увеличения вычислительной мощности, которая в условиях бортовой аппаратуры ограничена быстродействием, весогабаритными характеристиками и потребляемой мощностью. Поэтому, с точки зрения создания высокоэффективных бортовых ИВС необходимо:

1. Разгрузить управляющую ЭВМ, передав часть функций управления и вычисления в структурно-локализованные подсистемы.

2. Создать интеллектуальные подсистемы обработки и отображения информации, обеспечивающие высокую скорость обработки, достоверность, наглядность и точность отображения.

В последние годы проводятся исследования в области применения средств искусственного интеллекта в самолетных системах, которые преобразуются в экспертные. Такие системы строятся на базе бортовых ИВС и по прогнозам специалистов упростят управления

ВС, т.е. избавят пилота от необходимости логического объединения и осмысливания обширной информации, поступающей от различных бортовых систем. Предполагается, что такие системы возьмут на себя принятие решения в сложных ситуациях, т.е. речь идет о создании "помощника" пилота, который может взять на себя следующие функции: оценка ситуации, тактическое планирование, обеспечение полетного задания и управление бортовыми системами. Важной составной частью экспертных систем станут ИИМ с высокой разрешающей способностью. Благодаря применению микропроцессоров ИИМ смогут осуществлять сортировку по степени важности выдаваемой пилоту информации и выбирать наиболее удобную форму ее представления с учетом загруженности пилота в данный момент времени и его психофизиологического состояния.

До недавнего времени развитие систем индикации для авиационных ИВС сдерживалось отсутствием надежных, малогабаритных и малопотребляющих устройств отображения. С появлением матричных устройств отображения на жидких кристаллах - устройств с минимальным потреблением электроэнергии, встроенными схемами управления и большим информационным полем, этот процесс резко ускорился. Однако, разработанные ранее и применяемые сегодня принципы построения систем индикации не позволяют получить эффективно работающие структуры, что позволяет признать их непригодность для решения поставленной задачи. Поэтому проблема создания эффективных ИИМ различного назначения с заданными техническими характеристиками для авиационных ИВС является актуальной. Следует также отметить, что решение поставленной проблемы является насущной и актуальной не только для авиационных ИВС, но и для систем, применяемых в других отраслях науки и техники.

Целью диссертационной работы является разработка специализированных интеллектуальных индикаторных модулей для авиационных информационно-вычислительных систем, позволяющих осуществлять отображение не только цифро-буквенного текста, но и воспроизводить графические изображения (карту местности, визуализация посадки и т.д.) и выполнять функции "помощника" пилота с высокими показателями надежности.

Поставленная цель достигается решением следующих основных задач:

- разработкой математической модели ИИМ и авиационной ИВС

в целом, позволяющей производить качественный и количественный анализ процессов отображения пилотажно-навигационной обстановки на борту ВС;

- анализом системы дифференциальных уравнений, описывающей движение ВС, и выработкой на его основе требований к оптимальному способу визуализации параметров полета ВС;
- обоснованием и разработкой базовой структуры бортовой ИВС и структуры ИИМ, являющегося ядром системы отображения бортового пилотажно-навигационного комплекса;
- выбором методов оптимального способа кодирования информации и ее воспроизведения на экране индикаторного модуля в компактной и наглядной форме с высокой достоверностью и точностью.

Методы исследования, используемые при выполнении настоящей работы, основаны на положениях теории распределенных вычислений, теории вычислительных машин и систем, теории систем отображения информации, теории гомоморфизма, а также использовались методы имитационного и математического моделирования.

Экспериментальное подтверждение результатов теоретических выводов выполнялось как путем имитационного и математического моделирования, так и испытанием образцов ИИМ с решением на них как тестовых, так и практических задач.

Научная новизна проведенных исследований состоит в разработке новых принципов построения ИИМ, связанных с развитием теории построения на современной элементной базе специализированных индикаторных модулей для авиационных ИВС.

К числу основных научных результатов выполненной работы можно отнести следующие:

1. Исследована система дифференциальных уравнений, описывающая движение ВС, и на их основе сформулированы технические требования к построению ИИМ.

2. Разработана математическая модель ИИМ.

3. Предложены принципы построения ИИМ.

4. Получило развитие одно из направлений функциональной микроэлектроники, связанное с созданием индикаторных модулей на современной элементной базе, серийно выпускаемой промышленностью.

Практическая ценность результатов диссертационной работы

заключается в том, что предложен перспективный тип индикаторного модуля, который позволяет синтезировать ИВС специального назначения с параметрами значительно превосходящими существующие.

Разработан комплект специальных микросхем (серии К1545; К1516 и КР1830), применение которых значительно расширяет функциональные возможности существующих систем.

Сформулированы критерии оценки эффективности ИИМ, обладающие максимальным использованием ресурсов и высокой производительностью.

На основе проведенного анализа процессов отображения пилотажно-навигационной обстановки предложен высокоэффективный способ представления параметров полета на экране ИИМ.

Внедрение. Основные результаты выполненных исследований и работ внедрены и внедряются в промышленность с экономическим эффектом 329 тыс. руб. (в ценах 1990 г.).

Материалы диссертационной работы используются в учебных курсах Киевского института инженеров гражданской авиации: "Основы телевидения и отображения информации", "Прием и обработка информации", "Разработка и конструирование РЭО".

На основе проведенного проектирования ИИМ разработаны микросхемы К1545ХМ-014, К1545ХМ-040, К1545ХМ1-041, К1516ХМ-005, КР1830ВЕ4В-016, КР1830ВЕ4В-024.

Апробация. Основные результаты диссертационной работы докладывались на 16-й Военной научно-технической конференции (Киев, 1986), на Всесоюзной НТК "Проблемы совершенствования процессов технической эксплуатации авиационной техники, инженерно-авиационного обеспечения полетов в условиях ускорения научно-технического прогресса" (Москва, 1988), на 17-й Военной научно-технической конференции (Киев, 1990), на II-й Международной НТК "Проблемы совершенствования радиозлектронных комплексов и систем обеспечения полетов" (Киев, 1992).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 12 печатных работах, в том числе 2 авторских свидетельства.

Объем работы. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем диссертации составляет 136 страниц и включает 48 рисунков, 3 таблицы. Список использованных источников содержит 84 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, раскрыты цель и задачи исследования, намечены пути их решения, а также изложена краткая аннотация работы по разделам.

В первом разделе проводится анализ структуры построения интеллектуальных индикаторных модулей, их классификация, определяются критерии эффективности ИИМ.

Эффективность ИИМ зависит от комплекса характеристик, в которые входят: производительность, достоверность результатов, стоимость, технологичность и др. В качестве обобщенного критерия эффективности ИИМ принят комплексный показатель, который учитывает основные его системные характеристики. Так как ИИМ используется в системе "пилот-бортовой пилотажно-навигационный комплекс", в дальнейшем "пользователь-ИВС", то необходимо учитывать, что действия пользователя способствуют повышению эффективности системы в той степени, в какой они являются своевременными и правильными. Тогда в общем виде эффективность выполнения задачи системой можно записать

$$W = F(P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_m); \quad (1)$$

где  $P_j$  - вероятность своевременного и правильного решения пользователем задачи  $j = \overline{1, m}$ .

Разложим функцию  $W(P_j)$  в ряд Маклорена:

$$W(P_j) = W_0 + \frac{P_j}{1!} \frac{\partial W}{\partial P_j} + \frac{P_j^2}{2!} \frac{\partial^2 W}{\partial P_j^2} + \dots + \frac{P_j^m}{m!} \frac{\partial^m W}{\partial P_j^m} + \dots$$

Ограничившись лишь первыми двумя членами, так как скорость изменения информации в ИИМ высока, получим:

$$W'(P_j) \approx W_0 + \frac{P_j}{1!} \frac{\partial W}{\partial P_j} \approx W_0 + \sum_{i=1}^m \frac{\partial W}{\partial P_j} P_j^i; \quad (2)$$

где  $W_0 = F(0, \dots, 0, \dots, 0)$  - эффективность системы при отсутствии участия пользователя в процессе управления;  $\frac{\partial W}{\partial P_j} = c_j$  - ве-

личина, характеризующая степень влияния  $j$ -й задачи на эффективность системы, или по другому его еще называют коэффициентом важности  $j$ -й задачи. На практике коэффициент важности  $c_j$  обычно определяется экспертным путем и должен соответствовать следующему выражению:

$$\sum_{j=1}^m c_j = 1; \quad (3)$$

Второе слагаемое в выражении представляет не что иное, как прирост эффективности системы за счет действий пользователя, и может быть выбрано в качестве обобщенного критерия эффективности

$Q_2$  :

$$Q_2 = \sum_{j=1}^m c_j P_j; \quad (4)$$

Если учесть, что относительная частота возникновения  $j$ -й задачи определяется выражением:

$$\bar{\lambda}_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i}; \quad (5)$$

то нормированный обобщенный критерий эффективности примет следующий вид

$$Q_2 = \sum_{j=1}^m c_j \bar{\lambda}_j P_j; \quad 0 \leq Q_2 \leq 1; \quad (6)$$

Качество решения  $j$ -й задачи, то есть  $P_j$ , определяется вероятностью правильного  $P_{пр}$  и своевременного  $P_{св}$  решения, которая, в свою очередь, зависит от времени  $\tau$ , точности  $\sigma$  и надежности  $P$  выполнения алгоритма обработки данных, т.е. в общем случае имеем:

$$P_j = P_{пр} \cdot P_{св};$$

$$P_j(\sigma, P, \tau) = P_{прj} \cdot P_{свj}; \quad j = \overline{1, m}; \quad (7)$$

Подставив (7) в (6) получаем окончательное выражение для  $Q_2$  :

$$Q_2 = \sum_{j=1}^m c_j \cdot \bar{\lambda}_j \cdot P_{opj} \cdot P_{caj} ; \quad (8)$$

Учитывая, что ИИМ является орудием труда пилота, выражение (8) будет полностью определять обобщенный критерий эффективности ИИМ, так как вероятность правильного и своевременного решения системой возникающих задач зависят от точности, достоверности и скорости отображения информации на экране ИИМ.

Многообразие свойств и областей применения ИИМ, технических и эксплуатационных характеристик, субъективизм и различная классификация являлись причиной того, что в настоящее время не существует гостированной классификации устройств отображения и ИИМ.

Ввиду динамичности процесса развития ИИМ в настоящее время трудно установить все взаимосвязи и зависимости между различными характеристиками функциональной организации, конфигурации, структуры, техническими характеристиками модулей и тем не менее в работе предложена обобщенная классификация ИИМ, в которой учитываются как особенности устройств отображения, так и дополнительных функциональных элементов.

В предлагаемой классификации использованы признаки наиболее характерные для ИИМ. В схеме классификации, содержащей 7 уровней, переход от предыдущего к последующему, более низкому уровню, определяется соответствующим признаком.

Первый уровень классификации различает ИИМ по способу их использования. Второй уровень соответствует разделению модулей по виду ассоциации информации с управляемым объектом. Третий уровень проводит разделение по наличию или отсутствию организации УУ. Четвертый уровень классификации различает УУ по способу организации структуры, а пятый учитывает виды ввода информации. Шестой и седьмой уровни характеризуют режимы УО (статический и динамический) и элементы запоминания и коммутации (ЭЗК). Кроме того по виду сигналов, посредством которых информация передается, ИИМ можно разделить на устройства, в которых информация воспроизводится как текстовая или графическая, а по характеру формирования изображения на устройства с плоским изображением (двумерным) или объемным (трехмерным). В авиационных ИИМ эти изображения используются как в отдельности, так и одно-

временно, а их применение определяется только режимами работы модуля.

Второй раздел посвящен исследованию методов повышения эффективности интеллектуальных индикаторных модулей.

ИИМ, являясь с одной стороны орудием труда пользователя, а с другой – составной частью технических средств ИВС ставит задачу единого подхода к методам обмена, управления и отображения информации. Решение этой задачи невозможно без структурного синтеза модулей на базе системно-согласованной декомпозиции процесса разработки, который направлен на получение оптимальных системотехнических, эргономических и схемотехнических решений. Таким образом, исходя из принципов системного подхода при синтезе ИИМ, основной задачей в разработке модулей является декомпозиция задачи синтеза на отдельные задачи и решения их с помощью совокупности системно-согласованных методов и математических моделей.

Обозначив через  $S, R, P$  множество системотехнических, эргономических и схемотехнических задач, соответственно, определено, что решение ее состоит в нахождении оптимальных  $S_{opt}, R_{opt}, P_{opt}$  из условия максимизации эффективности ИВС  $W_{ИВС}$

$$\langle S_{opt}, R_{opt}, P_{opt} \rangle = W_{ИВС} \langle S, R, P \rangle; \quad (9)$$

$$S_{opt} \in S_g, \quad R_{opt} \in R_g, \quad P_{opt} \in P_g;$$

где  $\langle S_g, R_g, P_g \rangle$  – допустимые решения, определенные заданными требованиями и ограничениями.

Вначале решаются системотехнические задачи: определены место и функции ИИМ в ИВС и распределены функции между пользователем и ИИМ в системе.

Для распределения функций между пользователем и ИИМ в системе использована теория линейного программирования. При этом определена формальная постановка задачи распределения функций: функции выполняемые пользователем, средствами отображения, ЭВМ и объектом регулирования. В качестве критерия эффективности ИИМ выбрано значение  $W_c$ , которое определено как  $W_c = W_k + W_c^2$ ,

где  $W_c^1$  - относительная величина критерия эффективности системы за счет использования пользователем средств отображения, а  $W_c^2$  - относительная величина критерия эффективности системы за счет диалога пользователя с машиной. В качестве ограничений использованы варианты способов включения пользователя, ИИМ и ЭВМ в цикл приема, обработки и передачи управляющих данных. Тогда сущность задачи распределения функций пользователя и ИИМ состоит в нахождении оптимального способа включения пользователя, ИИМ и ЭВМ в цикл обработки данных.

Задаче эргономического проектирования ИИМ формулируется следующим образом.

Необходимо найти оптимальные решения

$$R_{opt} = \langle R_1^0, R_2^0, R_3^0 \rangle,$$

из условия максимизации обобщенного критерия эффективности  $Q_2$

$$R_{opt} = Q_2^{max}(R_1^0, R_2^0, R_3^0) = \sum_{j=1}^m c_j \cdot \bar{\lambda}_j \cdot P_{npj} \cdot P_{свj}; \quad (10)$$

на множестве

$$R^0 = \langle R_1^0, R_2^0, R_3^0 \rangle;$$

допустимых решений.

Для повышения вероятности правильного  $P_{npj}$  и своевременного  $P_{свj}$  решения оператором возникающих задач необходимо решить три основных задачи:

$R_1^0$  - определить оптимальный состав отображаемой информации;

$R_2^0$  - определить оптимальный объем отображаемой информации;

$R_3^0$  - определить оптимальный способ кодирования отображаемой информации.

Исследования методов определения оптимального состава отображаемой информации показывало, что характерным признаком является отбор информации для отображения исходя из ситуаций, требующих вмешательства пользователя в процесс управления, и задач, порожденных этими ситуациями.

Определение состава отображаемой информации начинается с отбора событий, информация о которых должна представляться пользователю для выполнения им всех возложенных на него функций в различных режимах работы управляемого объекта. При отборе отображаемой информации необходимо соблюдение принципа учета не только вероятностей возникновения отображаемых событий, но и среднего ущерба в случае, если пользователь не сможет ликвидировать нарушение режима работы системы из-за отсутствия на УО необходимой информации. Тогда критерий отбора информации для отображения будет иметь вид:

$$Q_{opt} = \sum_{i=1}^m P(Q_i) Y_i \sum_{j=1}^k d_{i,j} \quad (II)$$

где  $P(Q_i)$  - вероятность возникновения  $Q_i$ -й конфликтной ситуации;  $Y_i$  - ожидаемый ущерб от  $Q_i$ -й конфликтной ситуации;  $d_{i,j}$  - количество информации, содержащейся в сигнале  $Q_j$  относительно ситуации  $Q_i$ .

При определении оптимального объема отображаемой информации необходимо учитывать два противоречивых фактора: с одной стороны, увеличение объема отображаемой информации усложняет условия деятельности пользователя и снижает скорость принятия решения, с другой - уменьшение объема приводит к снижению информативности, что может повлиять на оптимальность принятия решения. Другой фактор, существенно влияющий на максимальный объем отображаемой информации, связан с эффектом взаимного наложения информации, что приводит к ее разрушению и тем самым вызывает ошибки пользователя при восприятии информации.

Для оценки этого фактора вводятся два показателя:  $P_p$  - вероятность разрушения и  $P_H$  - вероятность наложения, которые определяются из следующих выражений:

$$P_p = \frac{S_p}{N S_f} ; \quad P_H = \frac{N_p}{N} ; \quad (I2)$$

где  $S_p$  - площадь разрушенных участков;  $S_f$  - площадь одного формуляра;  $N$  - количество формуляров;  $N_p$  - количество формуляров, имеющих разрушенные участки.

Исследования, проведенные в работе, показали, что наиболее

существенными факторами влияющими на разрушение информации являются: размер дисплея (отображаемой зоны)  $S$ ; отношение размеров строк формуляра к сторонам рабочего поля дисплея по координатам  $x$  и  $y$ ; максимальное количество отображаемых объектов  $N_{max}$ .

Вся информация, отображаемая на дисплее бортовой ИВС неоднородна по группам важности и срочности, причем каждая из которых характеризуется определенным уровнем требований. Основным параметром в этом случае, предъявляемым к процессу отображения информации является требование по допустимой задержке.

По группам отображаемую информацию различают: оповещение, телеметрия, диалоговая и справочная. В результате проведенных исследований получены зависимости допустимой задержки отображения информации от объема отображения, которые используются при проектировании структур ИВС и ИИМ.

В третьем разделе на основании сформулированных критериев эффективности и выбранных методов проектирования строится структурная схема авиационной ИВС на базе разрабатываемого модуля, формируются требования к самому ИИМ, разрабатывается математическая модель ИИМ, проводится ее оптимизация.

Основными требованиями, предъявляемыми к ИИМ, должны быть требования по увеличению вероятности правильного  $P_{pp}$  и своевременного  $P_{ca}$  решения текущих задач по обработке диагностической и управляющей информации в авиационной ИВС и ее отображении на ИИМ. Так как  $P_{pp}$  и  $P_{ca}$  зависят от времени  $T$ , точности  $\sigma$  и надежности  $P$  выполнения пользователем алгоритмов обработки данных, то ИИМ в системе должен обеспечить высокую точность и надежность выполнения функций пользователя, требуемую достоверность отображаемых результатов. Учитывая то, что с увеличением объема отображаемой информации усложнятся условия деятельности пользователя (пилота) и снижается скорость переработки информации, ИИМ должны часть отображаемой информации запоминать в своем запоминающем устройстве, по возможности обрабатывать ее с помощью собственного вычислителя и выдавать готовые меню и сообщения пользователю, параллельно с процессором обработки информации мозгом пользователя и мозгом ЭВМ. Другими словами, ИИМ должен иметь вычислитель

и обладать необходимым объемом памяти, которая представляет собой локальную базу знаний интеллектуального модуля. Вычислитель ИИМ должен обеспечивать высокий уровень взаимодействия пользователя и управляющей ЭВМ, что может быть достигнуто на основе комплекса программ измерения, регулирования и отображения хранящихся в базе знаний ИИМ. Для программирования ИИМ и ведения диалога ЭВМ с пользователем на высоком интеллектуальном уровне в его структуре должна быть предусмотрена управляющая и функциональная клавиатура. Критерием эффективного диалога между пользователем и ЭВМ в ИВС на базе ИИМ должны быть высокие показатели вероятностей  $P_{фзвн}$  и  $P_{звн/о}$ .

Исследуя схемотехнические методы повышения эффективности следует отметить, что ИИМ должен обладать большой информационной емкостью запоминающих устройств и высоким быстродействием тракта регенерации изображения.

На основании анализа всех достоинств и недостатков структур комплексов отображения и их математических моделей предлагается иерархическая структура авиационной ИВС. Такая структура позволяет произвести систематизацию и распределение задач по обработке данных и их отображению, возложив часть специфических задач по обработке и отображению на структурно-локализованные подсистемы. Учитывая то, что ИИМ такие специфические задачи по обработке и отображению данных берет на себя, представляя собой структурно-локализованную подсистему отображения, включение его в иерархическую структуру ИВС весьма эффективно и целесообразно.

Для определения структуры ИИМ, распределения функций между его аппаратными и программными средствами строится математическая модель тракта отображения информации в ИВС.

В качестве математического аппарата для построения модели и ее оптимизации использована теория массового обслуживания. Принято условие, что процесс поступления заявок на обслуживание и управление в управляющую ЭВМ от ИИМ является стационарным и ординарным, т.е. вероятность поступления в систему за интервал времени  $t$  определенного количества заявок на обслуживание от ИИМ зависит не от начала счета, а только от длительности этого интервала, и в систему в каждый данный момент времени поступает не более одной заявки. Входной и выходной потоки

заявок являются пуассоновскими с параметрами  $\lambda$  и  $\mu$ , соответственно. Так как поступающие заявки либо начинают обслуживаться, если ЭВМ свободна, либо накапливаются, образуя очередь, ожидая обслуживания, когда ЭВМ занята, то рассматриваемая система является системой с очередью. В данной модели в качестве вершин выступают системные события  $S1-S7$  (см. рис. 1), а в качестве дуг выступают потоки заявок на обслуживание  $\lambda$  и потоки обслуживания этих заявок  $\mu$ . Системные события в данной модели определяются следующим образом:  $S1$  - визуальное восприятие пользователем отображаемой информации;  $S2$  - отображение информации на ИМЧ;  $S3$  - передача файла отображения от ИИМ в управляющую ЭВМ и обратно;  $S4$  - обработка файла отображения в управляющей ЭВМ;  $S5$  - формирование файла отображения средствами ИИМ;  $S6$  - формирование файла управления средствами ИВС;  $S7$  - возникновение нарушений нормального функционирования объекта контроля и управления ИВС. Дуги  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{32}$ ,  $\lambda_{34}$ ,  $\lambda_{54}$ ,  $\lambda_{52}$ ,  $\lambda_{67}$  - определяют среднее число поступающих заявок в единицу времени, т.е. интенсивность потока запросов. Дуги  $\mu_{13}$ ,  $\mu_{21}$ ,  $\mu_{23}$ ,  $\mu_{43}$ ,  $\mu_{45}$ ,  $\mu_{46}$ ,  $\mu_{75}$  - определяют среднее число обслуженных заявок в единицу времени, т.е. интенсивность потока обслуживания. Учитывая тот факт, что в данной модели ИИМ рассматривается как элемент системы, в качестве критерия оптимизации целесообразно выбрать системный критерий эффективности, определяющий влияние средств отображения ИИМ на повышение эффективности функционирования всей системы.

Обобщенный системный критерий эффективности ИИМ определяется вероятностью обнаружения ошибок ЭВМ  $P_{о/эвм}$  и вероятностью обнаружения ошибок пользователя  $P_{эвм/о}$ , соответственно. Так как ИИМ функции по обнаружению этих ошибок берет на себя, то с увеличением вероятностей  $P_{о/эвм}$  и  $P_{эвм/о}$  возрастает эффективность функционирования всей системы. Другими словами, задачей системотехнического проектирования ИИМ является нахождение такой структуры связей в ИВС, проектируемой на базе ИИМ, которая бы максимизировала значения вероятностей  $P_{о/эвм}$  и  $P_{эвм/о}$ .

Исходя из обобщенной модели графта отображения определено, что

$$P_{о/эвм} = P_{S_1} + P_{S_2}^I \quad (13)$$

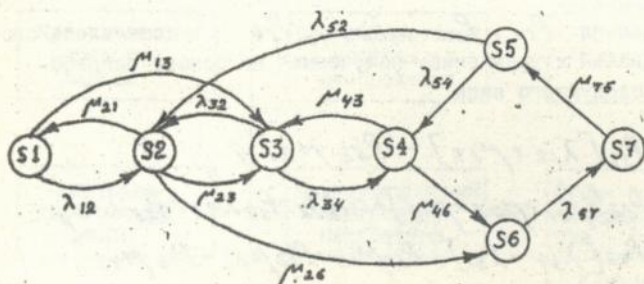


Рис.1. Сетевая мод.ль тракта отображения информации ЮИМ

где  $P_{S1}$  - вероятность безошибочной работы пользователя;  
 $P_{S2}$  - вероятность того, что ИИМ своевременно обнаруживает ошибки ЭВМ.

$$P_{ЭВМ/0} = P_{S2}^3 + P_{S3} + P_{S4}; \quad (14)$$

где  $P_{S4}$  - вероятность безошибочной работы ЭВМ;  $P_{S3}$  - вероятность того, что устройство сопряжения обеспечивает надежную связь средств отображения с ЭВМ;  $P_{S2}^3$  - вероятность того, что ИИМ своевременно обнаруживает ошибки пользователя и выводит подсказки на дисплей.

Для нахождения  $P_{S1}, P_{S2}, P_{S3}, P_{S4}$  составлена система дифференциальных уравнений, полученная на основе разработанной модели следующего вида:

$$\left\{ \begin{aligned} P'_{S1}(t) &= +P_{S1}[\lambda_{12} + \mu_{13}] - P_{S2}\mu_{21}; \\ P'_{S2}(t) &= +P_{S2}[-\mu_{21} + \mu_{23} + \mu_{26}] + P_{S1}\lambda_{12} - P_{S3}\lambda_{32} - P_{S5}\lambda_{52}; \\ P'_{S3}(t) &= +P_{S3}[\lambda_{34} - \lambda_{32}] + P_{S1}\mu_{13} + P_{S2}\mu_{23} - P_{S4}\mu_{43}; \\ P'_{S4}(t) &= +P_{S4}[-\mu_{43} + \mu_{46}] + P_{S3}\lambda_{34} - P_{S5}\lambda_{54}; \\ P'_{S5}(t) &= -P_{S5}[\lambda_{54} + \lambda_{52}] - P_{S7}\mu_{75}; \\ P'_{S6}(t) &= +P_{S6}\lambda_{67} + P_{S4}\mu_{46} + P_{S2}\mu_{26}; \\ P'_{S7}(t) &= -P_{S7}\mu_{75} + P_{S6}\lambda_{67}; \end{aligned} \right. \quad (15)$$

Решение данной системы дифференциальных уравнений относительно значений  $P_{S1}, P_{S2}, P_{S3}, P_{S4}$  определяет значения  $P_{0/ЭВМ}$  и  $P_{ЭВМ/0}$ .

Оптимизация полученных значений, дает возможность сформировать технические требования к разрабатываемому ИИМ.

В четвертом разделе изложены синтез и анализ базовой структуры интеллектуальных индикаторных модулей, решена задача оптимизации информационной насыщенности ИИМ, проведено планирование эксперимента и приведены результаты испытаний.

Предлагаемая базовая структура ИИМ (см. рис. 2) представляет

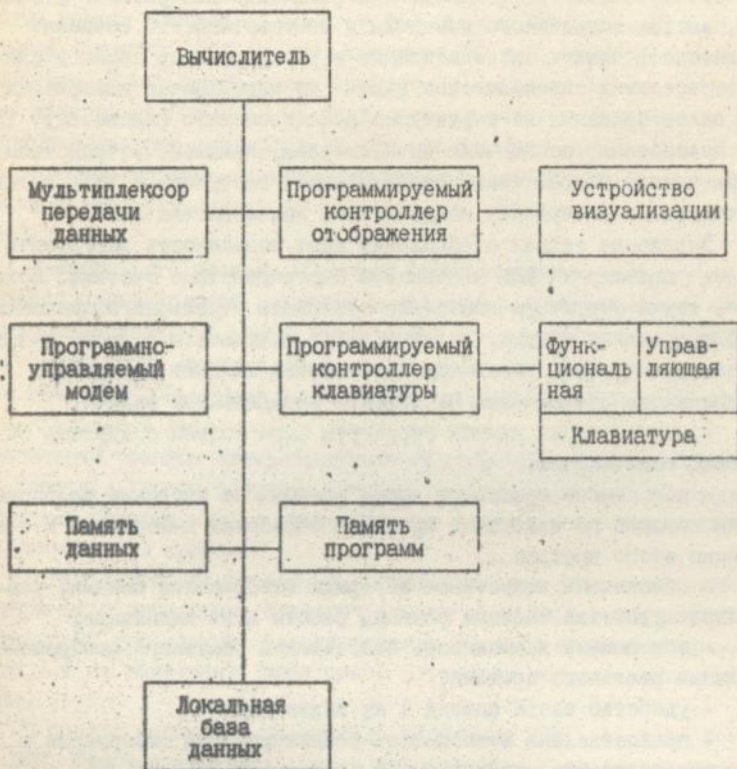


Рис. 2. Базовая структура ИИМ.

собой иерархическую структуру на высшем уровне которой размещается вычислитель, выполняющий роль "ядра" ИИМ, а на низшем — программируемые контроллеры.

С точки зрения разработки высокоэффективных вычислительных сетей, систем управления, информационно-измерительных систем, систем встроенного контроля и диагностики это позволит производить четкую систематизацию и распределение задач в системе, возложив специфические задачи по переработке информации для ее отображения на структурно-локализованную подсистему. Такая подсистема, оснащенная вычислителем, памятью, устройством ввода-вывода и средствами визуализации, выступает в роли интеллектуального интерфейса между мозгом пользователя и ИВС.

Выделение задачи отображения дает возможность разгрузить память управляющей ЭВМ и повысить быстродействие системы. Более того, такие структуры позволяют создавать отдельные законченные унифицированные модули, которые могут влищаться в любые разрабатываемые системы различного назначения за счет настройки программного обеспечения на решение определенной задачи.

При реализации данной структуры были учтены следующие системные особенности:

- обеспечено требуемое время реакции на вводимые пользователем команды по изменению процесса обработки информации и отображению этого процесса;
- обеспечена допустимая задержка отображения данных; реализовано удобство задания режимов работы и их индикация;
- обеспечена возможность воссоздания реального изображения в режиме реального времени;
- удобство ввода команд и их индикация;
- предоставлена возможность редактирования информации и контроля пилотажно-навигационной обстановки.

Одличительными чертами рассматриваемой структуры является ее простота за счет упрощения аппаратной части и более жесткие требования к программному обеспечению. Поэтому успех в проектировании ИИМ указанной структуры определяется оптимальным распределением аппаратных и программных функций.

В данной структуре функции устройства сопряжения с периферией выполняют мультиплексор передачи данных (МПД), обеспечивающий функционирование канала обработки данных, и программируемый

модем. Кроме этого программируемый контроллер отображения обеспечивает функционирование устройства визуализации, а программируемый контроллер клавиатуры обеспечивает функционирование клавиатуры и ее сопряжение с вычислителем.

Анализируя структуру ИИМ сделан вывод, что для нормальной работы модуля необходимо минимум два процессора, а для решения сложных задач по визуализации эволюций ВС их очевидно необходимо больше. Кроме этого оценена разрядность применяемых процессоров, которая оценивалась на основе результатов моделирования и экспериментальных исследований. Из приведенных данных сделан вывод, что оптимальная разрядность вычислителя ИИМ составляет 8, а количество применяемых процессоров для обеспечения визуализации 3-4.

Заметим, что посадка ВС может рассматриваться как операция основной целью которой является вывод самолета в некоторую область представляющую собой окрестность некоторой точки на ВПП (расчетной точки приземления), после достижения которой начинается пробег ВС. В момент касания ВПП параметры движения ВС должны находиться в регламентированных пределах. Иначе говоря, при приземлении границы гиперпространства допустимых отклонений определяются, в первую очередь, продольными отклонениями от расчетной точки приземления, а также боковым отклонением, вертикальной скоростью и креном.

Успех захода на посадку и посадка зависят от ряда отдельных постоянных и переменных факторов (точность вывода и параметры движения ВС, посадочные характеристики ВС, атмосферные условия и т.п.) и их сочетаний, меняющихся случайным непредвиденным образом.

В работе приведены результаты испытаний ИИМ в составе бортовой ИВС. Следует отметить, что в соответствии с требованиями по подготовке летного состава при выполнении посадки место приземления ВС находилось на расстоянии 7 м от торца ВПП для ограниченных площадок и 430 м для нормальных ВПП. Для проведения испытаний привлекались 120 пилотов, имеющих I класс, причем испытания проводились как на тренажерном комплексе, так и в реальных условиях. Точки приземления имеют разброс от среднего значения

не более 2%. Приведена оценка эффективности посадки ЭС с применением ИИМ. Следует отметить, что оценка эффективности производилась при помощи тест-таблиц выводимых на дисплей.

Конструктивно-технологическое обрамление ИИМ имеет два решения, позволяющих обеспечить реализацию в гибридном исполнении без использования корпусов - в монолитном полимерном корпусе и в виде микросборок. Все микросхемы входящие в микросборки бескорпусные и при этом реализованы на базоматричных кристаллах серий К1545 и К1515, что позволяет получить высокую плотность монтажа при минимальных габаритных размерах ГИС (42x52,5мм при шаге выводов 1,25 мм). Для управления ЖИМ типа ИЖГ 77-240x80 и ИЖГ 79-240x80 разработан управляющий контроллер КР1830ВЕ48-015 и контроллер отображения КР1830ВЕ48-024, которые разработаны микросхемы К1545ХМ1-014, К1545ХМ1-040, К1545ХМ1-041 и К1515ХМ1-005.

В приложении размещены результаты испытаний ИИМ в составе бортового ИВС в условиях тренажерного комплекса и в реальных условиях, достигнутый уровень развития ДИСК, акт внедрения.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

1. Проведен теоретический анализ возможности создания ИИМ и выведены соотношения для оценки производительности и эффективности. Разработана математическая модель ИИМ и ИВС в целом. Проведены исследования модели ИИМ и выработаны требования к модулям ИВС.

2. Разработана базовая структура ИИМ и на ее основе структура бортовой авиационной ИВС, определено место включения ИИМ в структуре ИВС и распределены функции между программными и аппаратными средствами модуля.

3. Исследованы и практически внедрены методы оптимального представления отображаемой информации по составу и объему, методы оптимального способа кодирования информации и ее воспроизведения на экране модуля.

4. Разработаны практические схемы модуля и его основных функциональных узлов на основе интегральной технологии. На их основе разработана и изготовлена бортовая ИВС и штурманский прибор, серийно выпускаемые промышленностью.

5. Основные результаты выполненных исследований и работ внедрены и внедряются в промышленности с экономическим эффектом 329 тыс.рублей (в ценах 1990 г.).

По материалам исследований в научных изданиях опубликовано более 10 работ, получено 2 авторских свидетельства. Работа и отдельные ее разделы в период с 1985 по 1992 г. докладывались и обсуждались на ряде международных, всесоюзных, республиканских и ведомственных научных конференциях и семинарах.

Материалы исследований опубликованы в 3 отчетах ИНИИ МП НПО "Микропроцессор" и в следующих основных работах:

1. ОРДИНСКИЙ А.Б., СОБОЛЕВ А.Н., ХОРОШКО В.А. Многоканальное устройство для управления очередностью запросов. Авт.свид. № 1444767. Бюлл.изобр.,1988. №46.

2. КОВТУН В.М., СОБОЛЕВ А.Н., ХОРОШКО В.А. Синтез логической функции проектируемой комбинационной структуры.-Сб.:Математическое и электронное моделирование в информационном обеспечении технических систем. Киев,КИИГА,1989.-С.86-91.

3. ИЛЬНИЦКИЙ Л.Я., СОБОЛЕВ А.Н., ХОРОШКО В.А. Проектирование интеллектуальных индикаторных модулей.-Сб."Совершенствование методов эксплуатации бортовых средств радиотехнического обеспечения полетов". Киев,КИИГА,1990.-С.87-92.

4. КОВТУН В.М., СОБОЛЕВ А.Н., ХОРОШКО В.А. Устройство отображения для интеллектуальных терминалов.-Сб."Адаптивные системы технической эксплуатации авиационного оборудования".Киев, КИИГА,1991.-С.79-86.

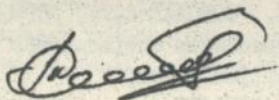
5. СОБОЛЕВ А.Н. Модель интеллектуализированного тракта отображения информации в информационных вычислительных системах.-Сб."Адаптивные системы технической эксплуатации авиационного оборудования", Киев,КИИГА,1991.-С.72-78.

6. ОРДИНСКИЙ А.Б., СОБОЛЕВ А.Н., ХОРОШКО В.А. Устройство для сопряжения датчиков аналоговых сигналов с вычислителем. Авт.свид.№ 1589286. Бюлл.изобр.№ 32,1990.

7. КОВТУН В.И., СОБОЛЕВ А.Н., ХОРОШКО В.А., ЧИРКОВ Д.В.  
Повышение эффективности индикаторных модулей. Тезисы докладов  
II-й Международной НТК "Проблемы совершенствования радиоэлект-  
ронных комплексов и систем обеспечения полетов". Киев, 1992.

8. СОБОЛЕВ А.Н. Распределение функций между программными  
и аппаратными средствами в интеллектуальных индикаторных моду-  
лях. -Сб. "Статистические методы обработки информации в авиа-  
ционных радиоэлектронных системах". Киев, КИИГА, 1993. -С. 89-95.

9. СОБОЛЕВ А.Н. Математическая модель для исследования  
распределения функций оператора и устройств отображения в авиа-  
ционных РЭС". -Сб. "Статистические методы обработки информации в  
авиационных радиоэлектронных системах". Киев, КИИГА, 1993.  
- С. 69-75.



---

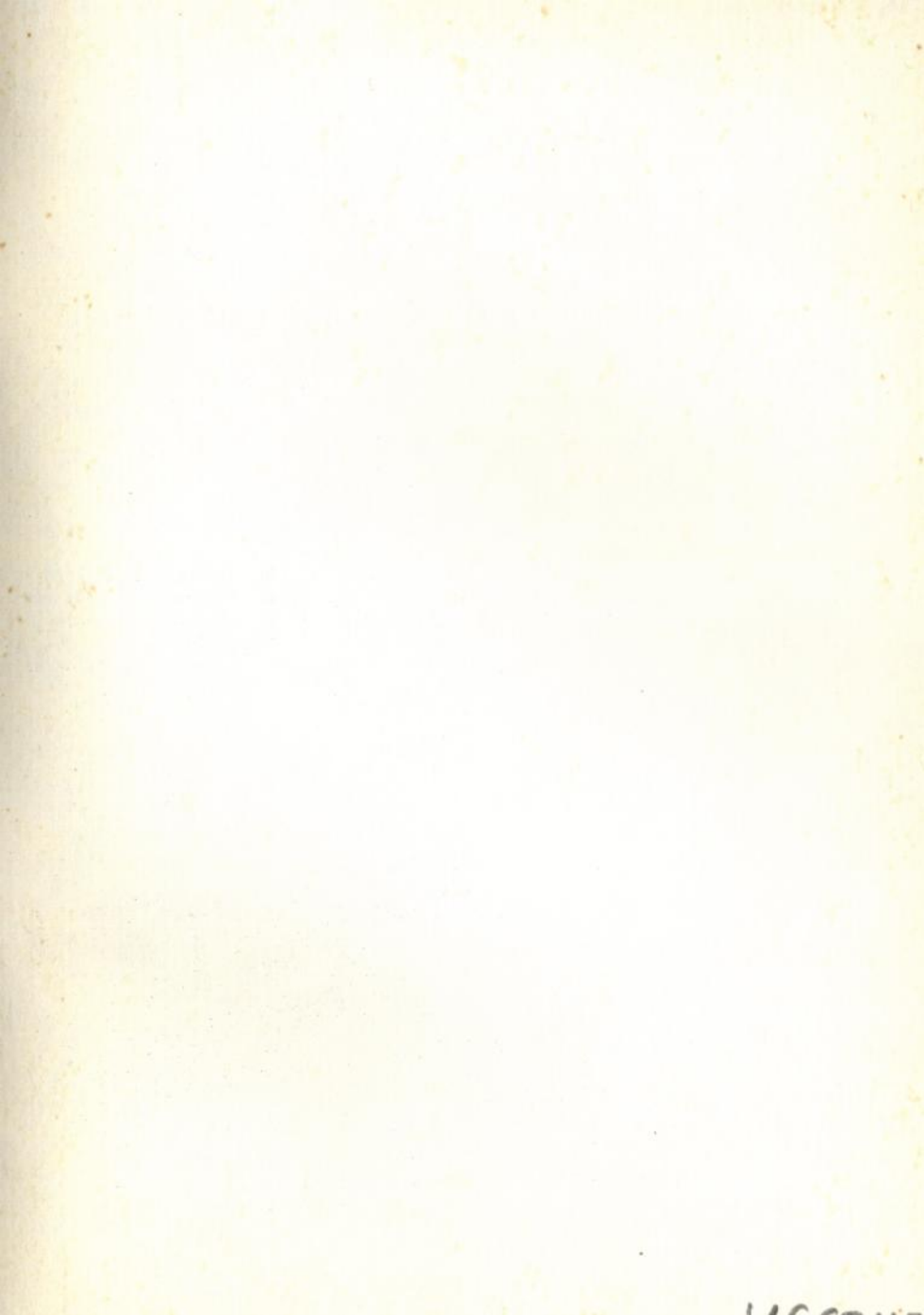
Подписано в печать 02.08.93. Формат 60x84/16. Бумага типогр.  
Офсетная печать. Усл.печ.л. 1,5. Уч.изд.л. 1,39. Тираж 100.  
Заказ № 180-1. Цена Изд. № 412/III

---

Издательство КИИГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, 1





AB 27.947  
**AB 27.947**