

На правах рукописи

Орлов Вячеслав Алексеевич

РГБ ОД

- 7 ФЕВ 2000

МЕТОД И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ АДЕКВАТНОСТИ
КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ СОСТОЯНИЮ ОРГАНИЗМА ПИЛОТОВ
СВЕРХСКОРОСТНЫХ САМОЛЕТОВ

Специальность: 05.13.09 - Управление в биологических и медицин-
ских системах (включая применение вычислительной техники)

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

Санкт-Петербург - 2000

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете "ЛЭТИ".

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор Ахутин В. И.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Евграфов В. Г.
кандидат технических наук Монакова А. И.

Ведущая организация - Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Защита состоится "23" 02 2000 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 063. 36.09 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "20" 01 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета


Евладшев З. И.

P124.526-0,0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Тенденция развития современной истребительной авиации идет по пути создания скоростных и маневренных самолетов этого класса за счет увеличения мощности двигательных агрегатов и реализации сложных систем управления полетом и навигации. При этом эволюционное развитие самого человека начинает отставать от технических возможностей этой новой авиационной техники в плане эффективного и быстрого ее управления, выполнения боевых задач и противодействия большим перегрузкам при маневрах самолета.

В связи с этим, актуальной становится работа по исследованию состояния пилота, как одного из звеньев биотехнической системы эргатического типа (БТС-Э) "пилот - самолет - окружающая среда", для обеспечения его надежности. В проблему обеспечения надежности пилота, прежде всего, входит его обучение на тренажерных стендах, обязательный предполетный контроль состояния, а учитывая сложность новых типов самолетов и возникающую при этом опасность для жизни пилота еще и оперативный контроль состояния его организма в течение всего полета. В ряде случаев, для нормализации состояния пилота необходимо вводить ограничения на режимы управления самолетом с помощью результатов оперативного контроля.

Проблемами предполетного контроля занимались и занимаются многие организации бывшего СССР и России: Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации (ГосНИИ ГА), Государственный научно-исследовательский испытательный институт авиационной и космической медицины (ГНИИИАКМ), Государственный институт автомобильного транспорта, Особое конструкторское бюро биологической и медицинской кибернетики (ОКБ БИМК), впоследствии переименованное в Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт биотехнических систем (НИКТИ БТС).

Помимо предполетного контроля длительное время ведутся работы и по контролю состояния пилота на борту самолета. Первым предложил эту проблему решать с помощью системного подхода Б. Ф. Ломов. Далее эти работы были продолжены другими учеными в упомянутых выше организациях. Наиболее серьезные успехи были достигнуты Г. М. Зараковким, В. А. Пономаренко, В. И. Медведевым, П. В. Шлаен и А. И. Губинским. Серьезные результаты в области повышения надежности деятельности операторов ВМФ получены В. В. Кобзевым, В. Г. Евграфовом и др. Но на борту современного истребителя с помощью существующих методов и соответствующих технических средств не представляется возможным корректно решить эту задачу, так как

нет на данный момент методов, которые имели бы минимальное количество физиологических коррелянтов, высокую информативность и возможность быстрой обработки в реальном времени. Кроме того, использование различных модификаций технических диагностических средств на борту самолета и на тренажерных стендах, а также и различного программного обеспечения, делают в ряде случаев невозможным анализ и сопоставление полученных результатов исследований и диагностики состояния организма пилота.

В связи с вышеизложенным, представляется актуальным создание на борту современного самолета соответствующих средств оперативного контроля состояния организма пилота во время полета.

Целью диссертации является разработка метода и технических средств для оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилотов сверхзвуковых самолетов.

С этой целью были решены следующие задачи:

1. Произведен анализ факторов, влияющих на организм пилота при воздействии комплексных нагрузок и реакции организма на эти нагрузки.

2. Разработан метод для оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилота в течение всего полета, включая кратковременные режимы перегрузок при маневрировании, с помощью энергетического подхода на основе характеристик отражающих взаимодействие систем организма и наличия внутреннего резерва энергии.

3. Разработан способ определения момента потери сознания пилота при маневрах сверхзвуковых истребителей.

4. Разработан единый универсальный диагностический комплекс для исследования состояния организма пилотов на борту сверхзвуковых истребителей и при подготовке на тренажерных стендах.

Методы исследования.

Теоретической и экспериментальной базой для выполнения данной диссертационной работы явились положения теории биотехнических систем и метод поэтапного моделирования, предложенный В. М. Ахутиным. В процессе обработки данных был применен современный математический аппарат, типичный для информационных систем медицинского назначения.

Для проведения экспериментальных исследований предложенных методик был разработан универсальный диагностический комплекс "АФИ-Р". Этот комплекс был использован при исследованиях на полунатурном стенде ОКБ им. А. И. Микояна, а также во время натурных испытаний на сверхзвуковом многофункциональном истребителе "МИГ-29".

Основные научные результаты:

1. Предложен энергетический подход для оценки состояния организма пилота на основе показателя характеризующего целостность его организма при наличии внутреннего резерва энергии.

2. Разработан метод оценки адекватности комплексной нагрузки, испытываемой пилотом сверхзвукового самолета, состоянию его организма, основанный на энергетическом обеспечении согласованности функционирования его физиологических систем.

3. Разработан способ получения информации об экстремальном состоянии организма пилота (например, потери сознания) для системы автоматической корректировки режима пилотирования.

4. Предложена методика учета "полетного фактора" при переходе пилотов с подготовки на тренажерных стендах к реальным полетам путем применения разработанного автором единого универсального диагностического комплекса "АФИ-Р".

5. Показаны достоинства и недостатки полипараметрического и монопараметрического методов контроля за состоянием организма пилота, в аспекте особенностей его профессиональной деятельности на борту сверхзвукового многопрофильного самолета.

Практические результаты.

Выполнение диссертационной работы и сопутствующих ей разработок позволило решить следующие практические задачи:

1. Появилась реальная возможность повысить надежность и безопасность биотехнической системы типа "пилот-самолет-окружающая среда" за счет дискретного и непрерывного контроля за наличием резервных энергоресурсов в организме пилота.

2. Это (п.1) было реализовано на практике путем создания универсального диагностического комплекса "АФИ-Р", с помощью которого может проводиться и предполетный контроль перед началом тренировок или полетов с целью определения исходного состояния организма и возможности допуска пилота к реальной деятельности.

3. Применение разработанных методов, реализованных в едином универсальном комплексе "АФИ-Р", позволило проводить непрерывный контроль за состоянием организма пилота на борту сверхзвукового многопрофильного истребителя типа МиГ-29. Учитывая, что полученная информация о состоянии важнейших психофизиологических систем пилота регистрируется в бортовом штатном накопителе (в "черном ящике") - впервые появилась возможность при разборе полетов и особенно при наличии нештатных ситуаций и летных происшествий объективно учитывать роль "человеческого фактора".

4. В случае неадекватной нагрузки состоянию организма пилота или потери сознания появилась возможность выдачи управляющих сиг-

налов в систему автоматической корректировки режимов пилотирования самолета и соответствующей информации по каналу радиосвязи в центр управления полетов. Это обеспечивает повышение надежности и безопасности функционирования всей системы "пилот - самолет - окружающая среда" и особенно при палубной посадке.

5. Разработанные методы и их аппаратно-программная реализация позволяют определять уровень адекватности нагрузки состоянию организма и прогнозировать возникновение стресса и дистресса у пилотов не только в экстремальных условиях полета и посадки самолета на ограниченную аэродромную полосу корабля, но также осуществлять контроль состояния организма космонавтов, проводящих тренировки в гидробассейне при подготовке к работе в открытом космическом пространстве.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Наблюдение за состоянием связанности двух априори связанных физиологических систем организма позволяет косвенно оценить уровень наличия рассеянной в организме энергии, расходуемой для обеспечения адекватности состояния организма, испытываемой им комплексной нагрузки.

2. Этот "энергетический подход" (по п.1), реализованный в аппаратно-программном диагностическом комплексе позволяет на борту сверхскоростного многопрофильного истребителя обеспечить мониторинг состояния организма пилота с прогнозированием возможных стрессов и дистрессов при нарушении условия адекватности нагрузки состоянию организма пилота.

3. Система контроля за состоянием скелетных мышц позволяет определить момент потери сознания пилота под воздействием перегрузок с ускорением при маневрировании сверхскоростного самолета.

4. Применение единой универсальной измерительно-диагностической аппаратуры в совокупности с едиными методами обработки информации на тренажерных стендах и на борту самолета позволяет объективно оценить так называемый "полетный фактор", характеризующий уровень соответствия тренировочного процесса условиям реального полета.

Практическая реализация результатов.

Полученные в диссертационной работе научные, технические и практические результаты были использованы по тематике НИКТИ БТС при выполнении работ для ОКБ им. А. И. Микояна по теме "Разработка БТС управления самолетом с помощью специализированных средств контроля за деятельностью и психофизиологическим состоянием пилота, включая обеспечение посадки на палубу корабля", а также разработанные комплексы (опытная серия была изготовлена в НИКТИ БТС)

применялись при испытаниях новых типов самолетов следующими авиационными фирмами страны:

1. Государственным научно-исследовательским испытательным институтом авиационной и космической медицины (ГНИИИАКМ);
2. Государственным научно-исследовательским институтом гражданской авиации (ГосНИИ ГА);
3. Конструкторским бюро "Скорость" (КБ им. Яковлева).

Также предложенный метод адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилотов был использован в Центре подготовки космонавтов (ЦПК) им. Ю. А. Гагарина при тренировках космонавтов в гидробассейне по отработке приемов работы в открытом космическом пространстве на орбитальных станциях "Мир" и "Альфа" в рамках тем "Разработка и изготовление информационно-измерительного телеметрического комплекса для гидролаборатории" и "Модуль интерфейса физиологического контроля для скафандра ЕМУ", используемого американскими космонавтами по программе "Альфа".

Разработанный универсальный диагностический комплекс "АФИ-Р" и предложенные методы контроля в данной диссертационной работе были реализованы в специализированных комплексах, которые внесены в Энциклопедический справочник "Авионика России", Научной ассоциации авиаприборостроителей. - СПб. - 1999; Раздел 7. Приборные комплексы авиационной и космической медицины:

- "Бортовой биотехнический комплекс для исследования состояния организма летчиков в полете на сверхзвуковых самолетах", - С. 613;
- "Биотехнический комплекс "Нимфа", - С. 612;
- "Модуль интерфейса физиологического контроля космонавтов для подготовки экипажей международной космической станции "Альфа", - С. 616.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международных научно-технических конференциях "Диагностика, информатика, метрология, экология и безопасность" (Санкт-Петербург 1995, 1997 г.), Международной конференции и выставки по морским интеллектуальным технологиям "МОРИНТЕХ-95" (Санкт-Петербург, 1995 г.), Международном семинаре "Инновации в здравоохранении" (Санкт-Петербург 1996 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, в том числе 1 статья и 5 тезисов докладов на конференциях и семинарах, получены 2 авторских свидетельства.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения и списка литературы, включающего 94

наименования. Основная часть работы изложена на 123 страницах машинописного текста. Работа содержит 24 рисунка и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы, определена цель работы и сформулированы задачи исследования, научные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов.

В первой главе рассмотрены основные целевые задачи современных многофункциональных истребителей и приведены летно-технические характеристики для истребителей "МиГ" 2 - 5-го поколений.

Возросший уровень ответственности и сложности решаемых задач фронтовыми истребителями, улучшающиеся их характеристики при существенно усложняемом техническом оснащении и пилотировании при больших скоростях со значительными перегрузками, выдвинули новые требования к пилотам. Это умение быстро решать задачи по управлению самолетом и устойчивость его организма к возникающим перегрузкам при боевых маневрах самолета, от которых порой зависит не только успешное выполнение задач полета, но и сохранение машины и жизни пилота.

Проведен обзор методов и технических средств контроля и исследования состояния организма пилота, в результате которого показано, что в основном психофизиологические исследования проводились для определения критериев переносимости организма пилота экстремальных факторов полета, таких как ускорение, ударные перегрузки, катапультирование и различные аварийные ситуации. При этом все технические средства имели различный состав аппаратного и программного обеспечения для оснащения тренажерных стендов и для размещения на борту самолета, что в ряде случаев сопоставление полученных результатов становилось не совсем корректным.

Рассмотрена система "пилот - самолет - окружающая среда" с позиции биотехнических систем эргатического типа (БТС-Э), надежность которой зависит также от надежности ее биологического элемента - пилота. Международный опыт анализа летных происшествий показывает, что 72% всех катастроф приписывается вине пилота. Таким образом, самым непредсказуемым и самым ненадежным элементом системы "пилот - самолет - окружающая среда" является сам пилот. Поэтому возникает неотложная проблема контроля текущего состояния пилота на борту самолета, но не просто контроля его психофизиологических характеристик и классификации состояний организма, а контроля в реальном масштабе времени за адекватностью нагрузки

состоянию его организма. На основе проведенного анализа определены основные задачи работы.

Вторая глава посвящена разработке метода оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилота.

Рассмотрены комплексные нагрузки действующие на организм пилота на борту современного истребителя при безаварийном полете, которые могут привести к нарушению его работоспособности. К ним относятся рабочая нагрузка по пилотированию самолета и пилотажные перегрузки, возникающие при боевых маневрах. Рабочая нагрузка приводит организм пилота к состоянию напряженности (физической, умственной и эмоциональной), причем основная доля напряженности в полете приходится на эмоциональную составляющую. Большие пилотажные перегрузки с ускорениями могут привести пилота к потере ориентации и сознания, если он не выполнил противоперегрузочные мероприятия по мышечному напряжению.

Комплексные нагрузки выводят организм пилота из состояния его предполетной индивидуальной нормы, и организм начинает адаптироваться к новым условиям, при которых он также способен выполнять функции по управлению самолетом и контроль параметров осуществляется с помощью его "адаптивной нормы" (В. М. Ахутин, Г. Л. Стронгин).

Анализ деятельности пилота на борту скоростного и маневренного истребителя показал, что физиологические процессы его организма являются сугубо не стационарными, а переходными. Применение традиционных полипараметрических методов для вычисления интегральных показателей состояния организма пилота на борту самолета при переходных режимах становится непригодным из-за различных постоянных времени контролируемых одновременно нескольких параметров организма.

Это послужило причиной рассмотрения энергетического подхода, на базе которого был разработан метод оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилота с одним контролируемым физиологическим показателем. В основу подхода положено представление классической физиологии, в частности, И. М. Сеченова, о том, что одним из признаков жизни организма и существования является его целостность, которая предусматривает взаимосвязь взаимодействия между отдельными системами организма. Если организм имеет запас внутренней энергии, идущей на поддержание взаимодействия этих систем и отдельных органов, то организм жив и функционирует нормально. Если же эти системы начинают работать рассогласованно, то это свидетельствует о том, что внутренней энергии не хватает на поддержание целостности в организме, а это признак того, что организм в дальнейшем может выйти из строя. Нарушается принцип

адекватности нагрузки состоянию организма. Далее рассмотрена следующая классическая предпосылка физиолога Э. С. Бауэра о рассеянном резерве энергии в организме. С помощью резерва энергии обеспечивается нормальное функционирование организма в сложных экстремальных ситуациях. Как только этот резерв энергии начинает уменьшаться, то между системами организма наблюдается нарушение взаимосвязи, за которой и необходимо вести наблюдение во время полета. Так, например, с целью наблюдения за динамикой состояния организма человека и прогнозирования его выхода в опасные зоны был предложен В. М. Ахутиным и А. И. Монаховой коммуникационный метод с соответствующим комплексным показателем K_p , основанный на количественной оценке степени взаимосвязи априори связанных подсистем дыхания и кровообращения в единой системе транспорта кислорода к клеткам организма:

$$K_p = \{ N(F_d) - N(F_d/RR) \} / N(RR),$$

где $N(F_d)$ - энтропийная характеристика последовательности фаз дыхания, она формируется по данным пневмограммы в ряде RR интервалов между сокращениями сердечной мышцы и характеризует количество RR- интервалов приходящиеся на фазы вдоха и выдоха; $N(F_d/RR)$ - полная условная энтропия последовательности фаз дыхания относительно последовательности RR-интервалов, $N(RR)$ - энтропийная характеристика кардиоинтервалограммы, нормированного относительно среднего значения.

В процессе работы наблюдается колебательный режим показателя K_p , характеризующий адаптацию организма к изменению нагрузки. При перегрузках показатель K_p необратимо падает, так как израсходован весь энергетический резерв, и организм находится на стадии истощения. Реализация этого метода возможна лишь при обработке довольно продолжительного совместного объема выборки кардиоритмограммы и пневмограммы, достигающей нескольких минут. Это явно превышает по времени отдельные операции по пилотированию истребителей, длящихся всего лишь десяток секунд и следующих друг за другом во время всего полета.

В соответствии с предложенным энергетическим подходом разработан метод оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилотов сверхскоростных самолетов на основе баланса между катаболическими и анаболическими процессами, протекающими в организме человека, за которые отвечает вегетативная нервная система, ее симпатическая и парасимпатическая подсистемы. Наблюдая взаимосвязь взаимодействия между этими подсистемами можно косвенно контролировать резерв энергии в организме пилота, причем за степенью взаимосвязи можно наблюдать с помощью дисперсионных ха-

рактических работ сердца, его колебательного режима. Была предложена функциональная модель энергетического резерва организма пилота при различных нагрузках и рассмотрена адекватность этих нагрузок состоянию его организма. Контролируя энергетический резерв организма пилота оцениваем степень адекватности нагрузки состоянию его организма по работе сердца с помощью математического анализа статистической оценки параметров распределения сердечного ритма. Для устранения влияния дыхательных циклов и медленных волн на результат обработки выбрана оптимальная длина исследуемой реализации динамического ряда последовательности кардиоинтервалов и введена адаптивная величина дифференциальных окон квантования RR-интервалов. Также для устранения случайных колебаний вариационного ряда в анализируемой выборке вместо размаха варьирования введено среднеквадратичное отклонение, которое вычисляется из дисперсии величин этого ряда (В. М. Ахутин, М. Е. Лившиц). Тогда формула принимает следующее выражение:

$$P_{ан} = K * M / (N * \sigma),$$

где $P_{ан}$ - показатель адекватности нагрузки состоянию организма по сердечному ритму; K - коэффициент учитывающий индивидуальные особенности состояния организма пилота в области больших уровней напряженности и находится в пределах $K = (1,0 - 1,25)$ с; M - число наиболее часто встречающихся RR-интервалов; N - число измеренных RR-интервалов (объем выборки); σ - оценка стандартного отклонения RR-интервалов, определяемая выражением $\sigma = \sqrt{D}$; D - оценка дисперсии RR-интервалов.

На основании большого статистического материала, собранного и обработанного по данной тематике в НИКТИ БТС, были установлены количественные значения показателя $P_{ан}$ для различной степени напряженности состояния организма различных групп людей, связанных с активной формой работы.

С помощью данного метода возможен также и предполетный контроль состояния организма пилотов, т.к. он позволяет оценить резерв энергии для предстоящей работы и, следовательно, оценить состояние организма в данный момент времени.

Для повышения надежности работы метода адекватности нагрузки, дополнительно введен канал определения момента потери сознания пилота из-за больших перегрузок с ускорениями при маневрах истребителя. В результате проведенного анализа способов и известных систем контроля предложен способ регистрации электрической активности мышц брюшного пресса и руки пилота с помощью электромиограммы, так как противоперегрузочные мероприятия предусматривают обязательное выполнение мышечного напряжения всех участков

его тела во время действия перегрузок.

Третья глава посвящена синтезу универсального диагностического комплекса состояния организма пилота с позиции БТС.

Рассмотрена блок-схема обобщенной адаптивной БТС-Э с внешним и внутренним контурами адаптации. Произведен анализ управленческого согласования характеристик пилота и управляемого объекта (самолета) с целью возможности устойчивой работы в замкнутой системе при соблюдении двух принципов: принципа адекватности и принципа идентификации информационной среды. Рассмотрена внутренняя адаптивность БТС-Э, реализация которой стала возможной благодаря наличию контура управления адаптацией технических элементов и режимов их функционирования к динамике изменений состояния организма пилота с помощью предложенного метода адекватности комплексной нагрузки (включая и потерю сознания) состоянию его организма.

Для наиболее ответственного этапа палубной посадки рассмотрен метод определения эмоциональной составляющей напряженности организма пилота, с помощью которого при апостериорной обработке можно оценить степень профессиональной подготовки и действий пилота во время этого и других этапов полета. В основу метода положено сравнение физиологических сдвигов, вызванных реальным воздействием, со сдвигом, вызываемыми хорошо дозируемой эталонной нагрузкой, причем в качестве такой эталонной нагрузки предлагается использовать физическую нагрузку (ФН). Вычисление показателя напряженности (ПН) по 1-му параметру g осуществляется по формуле:

$$\text{ПН} = f_{\text{НУ}}^{-1}(g_1),$$

где $f_{\text{НУ}}(g_1)$ - функция регрессии величины параметра g_1 по значению (ФН) при нормальных условиях, т. е. при отсутствии дополнительных нагрузочных факторов. Использование в формуле функции $f_{\text{НУ}}^{-1}(g_1)$, а не функции регрессии величины ФН по значению физиологического параметра g_1 связано со стандартной процедурой физиологического эксперимента, в которой задаваемой величиной является ФН. Регрессионная процедура определения зависимости параметра от нагрузки строится единообразно для всего комплекса физиологических параметров. В случае, когда значения ФН известны в процессе деятельности, то показатель напряженности, обусловленный эмоциональной составляющей напряженности (ЭН), принимает вид:

$$\text{ПН(ЭН)} = f_{\text{НУ}}^{-1}(g_1) - \text{ФН}.$$

где $f_{\text{НУ}}^{-1}(g_1)$ - ПН отражающий суммарную напряженность по параметру g_1 . В практических ситуациях значение ФН не может быть измерено непосредственно, а само определяется по величинам физиологических параметров, хорошо коррелированных с ФН:

$$\text{ПН(ЭН)} = f_{j,\text{НУ}}^{-1}(g_j) - f_{j,\text{НУ}}^{-1}(g_j).$$

В некоторых случаях, когда параметры неопределенны, то по значениям параметров первой группы вычисляется методом множественной регрессии второй член правой части, а по значениям параметров второй группы его первый член. В этом случае:

$$\text{ПН}(g_1, \dots, g_L; g_M, \dots, g_S) = f_{\text{НУ}}^{-1}(g_1, \dots, g_L) - f_{\text{НУ}}^{-1}(g_M, \dots, g_S).$$

В результате анализа выбраны следующие физиологические параметры, отражающие ФН: легочная вентиляция (ЛВ), тепловые потоки (ТП), температура тела (заушная) (Тз) и электромиограмма (ЭМГ). В качестве параметров отражающих суммарную напряженность выбраны частота сердечных сокращений (ЧСС) и показатель $\text{P}_{\text{ЭН}}$.

Исследовательская система в своем составе имеет расширенный набор регистрируемых психофизиологических параметров с пилота для детального исследования состояния его организма по предложенным выше методикам, причем для бортового варианта и тренажерного стенда этот набор параметров и аппаратурная реализация выполнены одинаково, а вычислительное средство обработки одно и тоже.

В исследовательскую систему введен параметр кожно-гальванической реакции по Тарханову (КГР-Т), который не может быть метрологически аттестованным, но может применяться для сравнительной наглядности при апостериорной обработке. Для исследования механизмов кровообращения головы и двигательной активности глаз в момент потери сознания пилота, введены параметры фотоплетизмограммы с ушной раковины (ФПГ) и электроокулограммы (ЭОГ).

Таким образом, в состав исследовательской диагностической системы вошли следующие психофизиологические параметры: ЭКГ в двух отведениях, ЭМГ в трех отведениях, ЭОГ в двух отведениях, КГР-Т, ФПГ, ФПГпл. (плетизмограмма), Тз, ТП в двух отведениях, ЛВ и УР (усилие на ремнях привязной системы пилота, которое регистрируется при торможении самолета на палубе корабля). В этой системе также реализован и оперативный контроль пилота при помощи сигналов ЭКГ и ЭМГ с последующей обработкой в реальном времени на борту самолета или тренажерного стенда. Обработка ЭН и других показателей пилота производится в апостериорном режиме на земле после полета.

В четвертой главе рассмотрена структура универсального исследовательского диагностического комплекса.

Представлена структура универсального исследовательского комплекса, состоящего из бортовой и наземных частей, причем его бортовая часть может быть установлена как на борту самолета, так и на различных тренажерных стендах. Наземная часть комплекса представлена в виде вычислительных средств, с помощью которых производится апостериорная обработка всей записанной на борту или

тренажерных стендах психофизиологической информации с пилота. По электробезопасности структура бортовой части комплекса выполнена в соответствии с ГОСТ Р 50267.0-92 (Изделия медицинской техники. Электробезопасность). В состав устройств комплекса введен стенд контроля наложения датчиков, с помощью которого осуществляется визуальный контроль за качеством наложения датчиков по форме кривых физиологических процессов на экране монитора во время предполетной подготовки пилота.

Рассмотрены требования к составным частям бортовой части комплекса с позиции обеспечения качества съема физиологических сигналов с пилота при минимальном дискомфорте от устройств съема (датчиков, электродов и проводов) как во время полета, так и при катапультировании, причем на пилоте расположены только датчики и электроды.

Рассмотрены требования к измерительным каналам, выбраны их основные характеристики и разработаны структурные реализации, которые обеспечивают оптимальное согласование с датчиками и электродами и наилучшее соотношение сигнал/помеха на выходе.

Программное обеспечение комплекса с помощью пакета прикладных программ обеспечивает в апостериорном диалоговом режиме обработку всей записанной психофизиологической и полетной информации и представление в графическом и текстовом виде материалов о вычисленных параметрах, показателях и составляющих напряженности организма пилота за этапы полета.

Метрологическое обеспечение комплекса включает аттестацию отдельно датчиков на специализированном метрологическом оборудовании и аппаратно-программных средств, которые проводятся в три этапа: проверка всех измерительных каналов с помощью стандартов и методик на эти каналы; проверка программного обеспечения комплекса с помощью специальных цифровых моделей физиологических процессов; проверка технических средств этих каналов и программного обеспечения с помощью тестовых аналоговых физиологических сигналов с метрологически заданными параметрами, которые затем сопоставляются с полученными результатами обработки.

В пятой главе приведены реализация универсального исследовательского диагностического комплекса и результаты экспериментов на тренажерных стендах и в реальных полетах.

Бортовая часть универсального исследовательского диагностического комплекса реализована в блочном исполнении, причем в кабинном отсеке истребителя расположены два малогабаритных блока предварительного усиления, а в приборном отсеке блоки нормирования сигналов, гальванической развязки и штатного магнитного нако-

пилота, выполненных в одинаковых авиационных конструктивах. Использование двух малогабаритных блоков расширяет функциональные возможности применения данного комплекса на любых транспортных средствах для контроля и исследования состояния организма операторов в различных областях деятельности.

Проведена оценка комфортности размещения датчиков на пилоте, которые могут создать дополнительную напряженность состояния его организма, не связанную с рабочей нагрузкой по пилотированию.

Стендовые испытания проведены на комплексном стенде систем контроля и обеспечения жизнедеятельности пилотов на базе ОКБ им. А. И. Микояна. В экспериментах приняло участие 5 штатных пилотов - испытателей этой фирмы, причем пилот "А." и пилот "В." это пилоты высокой квалификации, имеющие большой опыт работы на стенде и реальных полетов с посадкой на ограниченную аэродромную полосу, а пилот "Б." только начал подготовку по освоению этого этапа посадки. Остальные пилоты уже освоили работу на стенде. Каждый из них участвовал в 2-х экспериментах (в разные дни), состоящих из 3-х полетных заданий, каждое из которых включало: тестирование, горизонтальный полет, выполнение комплексов (фигуры пилотажа), горизонтальный полет, заход на посадку, посадка и тестирование. В каждом эксперименте с пилотов снимались следующие психофизиологические параметры: ЭКГ, ЭМГ в двух отведениях, ЛВ, ФПГ и Тз. В процессе эксперимента производился оперативный контроль $P_{ан}$ в реальном времени с помощью бортовой части комплекса, а при апостериорной обработке определялись медианные значения показателей ЭН за этапы полета. Статистическая оценка доверительных интервалов экспериментальных данных выполнена с использованием распределения Стьюдента с надежностью оценки 0,90. Также проверялась имитация определения момента потери сознания пилотами.

В результате проведенных экспериментов установлено, что у пилотов "А." и "В." с высокой квалификацией на этапе посадки значения показателей ЭН существенно ниже, чем у других пилотов, а у пилота "Б.", который только начал подготовку на стенде, значения этих показателей падали от цикла к циклу по мере накопления опыта. Показатели $P_{ан}$ устойчиво регистрировались у всех пилотов, и наблюдался их рост на этапе посадки в зависимости от квалификации пилотов, причем во время увеличения ЧСС наблюдался переходной процесс в значении этого показателя, который затем принимал устойчивое значение. Имитация потери сознания пилотов по мышечно-му расслаблению мускулатуры с помощью ЭМГ показала, что сигнал потери сознания регистрировался во всех экспериментах без задержки во времени.

Натурные испытания проводились на истребителе "МиГ-29", в 2-х полетах принимали участие пилоты "А." и "В." по маршруту: тестирование, взлет, горизонтальный полет с рядом разворотов, заход на посадку, посадка на специальную аэродромную полосу, имеющую ограниченные размеры и тестирование. В результате полетов установлено, что показатели ЭН и $P_{ан}$ у пилотов на одинаковых этапах полета выше, чем эти же показатели в экспериментах на тренажерном стенде. Это обусловлено реальным полетом и довольно сложным этапом посадки на точность приземления. Эта разница в основном обусловлена ЭН пилота, которая относится к так называемому "полетному фактору" реального полета.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.

1. Проведен анализ факторов, влияющих на организм пилота во время полета на сверхзвуковом и маневренном истребителе. Это пилотажные перегрузки и рабочая нагрузка по пилотированию самолетом. Пилотажные перегрузки могут привести пилота к потере сознания и частичному мышечному истощению, а его рабочая нагрузка к состоянию напряженности его организма и дополнительному расходу энергии, причем основная доля напряженности приходится на эмоциональные факторы.

2. Применение полипараметрических методов контроля состояния организма пилота на борту истребителя при неустановившихся переходных режимах и переменных нагрузках полета приводит к ошибочным результатам исследований. Для непрерывного контроля за состоянием организма пилота на борту современного истребителя предпочтение следует отдавать монопараметрическим методам с процессами, отражающими нервное регулирование.

3. Предложен энергетический подход для оценки состояния организма пилота на основе показателя характеризующего целостность его организма при наличии внутреннего резерва энергии.

4. Предложен метод для оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилота сверхзвукового самолета с помощью контроля за энергетическим резервом его организма. При этом удалось минимизировать пространство диагностических признаков, а вычисление показателя адекватности нагрузки производится с помощью математического анализа статистической оценки параметров распределения ритма сердца пилота по характеру колебательного режима.

5. Предложен способ определения момента потери сознания пилота вследствие воздействия перегрузок при маневрах истребителя,

основанный на регистрации ЭМГ. При этом появляется возможность контроля правильности выполнения пилотом противоперегрузочных мероприятий перед маневром самолета и, если, эти мероприятия не выполнены, то своевременно перевести управление самолетом в автоматический режим управления полетом.

6. Предложена реализация структуры управления самолетом с позиции адаптации ее режимов функционирования и технических элементов к динамике изменений состояния организма пилота с помощью метода оценки адекватности комплексных нагрузок состоянию его организма.

7. Предложен метод выделения эмоциональной составляющей напряженности организма пилота, основанный на сравнении уровней напряженности отдельных функциональных систем его организма ответственных за различные виды деятельности. В основу метода положено сравнение физиологических сдвигов исследуемых функциональных систем, вызванных реальным воздействием, со сдвигом, вызванным хорошо дозируемой эталонной нагрузкой.

8. Разработан универсальный диагностический комплекс для контроля и исследования состояния организма пилота в полете на любом типе самолета и на тренажерных стендах, причем предусмотрен в реальном времени оперативный контроль за адекватностью пилотажных нагрузок к состоянию его организма. С помощью программного обеспечения комплекса при апостериорной обработке вычисляются физиологические параметры и показатели общей и эмоциональной напряженности.

9. В результате испытаний универсального диагностического комплекса во время стендовых испытаний и реальных полетов было установлено:

- показатель $P_{ЭН}$ может быть использован для оценки адекватности комплексной нагрузки состоянию организма пилота, а также операторов работающих в экстремальных условиях деятельности, например, космонавтов при тренировках в гидробассейне по отработке приемов работы в открытом космическом пространстве на международной орбитальной станции "Альфа".

- с помощью показателя эмоциональной составляющей напряженности состояния организма пилота можно оценить степень его подготовки и уверенности при выполнении отдельных этапов полета и, в частности, этапа палубной посадки;

- контроль момента потери сознания пилота при перегрузках можно регистрировать по прекращению действия сигналов ЭМГ с мышц его тела;

- предложенная структурная реализация комплекса подтвердила

возможность размещения и эксплуатации блоков бортовой части этого комплекса на сверхзвуковом истребителе, причем блоки и устройства, размещенные в кабине, не создавали дискомфорта в управлении самолетом, а при возможном катапультировании не приведут к травмированию пилота.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Орлов В. А. Биотехнический комплекс для исследования пилота на борту самолета // Диагностика, информатика, метрология, экология, безопасность - 97: Тез. докл. научн. -техн. конф., Санкт-Петербург, 1-3 июля 1997 г. - СПб., 1997. - С. 271-272.
2. Орлов В. А. Биотехнический комплекс для исследования состояния пилота в процессе его реальной деятельности // Диагностика, информатика и метрология - 95: Тез. докл. науч. -техн. конф., Санкт-Петербург, 4-6 июля 1995 г. - СПб., 1995. - С. 302-303.
3. Орлов В. А. Биотехнические системы человек-пилот для корабельной авиации // МОРИНТЕХ-95: Тез. докл. на первой межд. конф., Санкт-Петербург, 11-16 сентября 1995 г. - СПб., 1995. - С. 59.
4. Орлов В. А. Малогабаритный комплекс для контроля состояния пациентов в период активной реабилитации // Диагностика, информатика, метрология, экология, безопасность - 97: Тез. докл. научн. -техн. конф., Санкт-Петербург, 1-3 июля 1997 г. - СПб., 1997. - С. 387-388.
5. Орлов В. А. Система контроля состояния пациента в период активной реабилитации // Инновации в здравоохранении: Тр. междунар. семинара, Санкт-Петербург, 10-12 декабря 1997 г. - СПб., 1995. - С. 59-60.
6. Система входных преобразователей физиологического контроля оператора / Орлов В. А., Берсудский А. Л., Гуназов В. П., Ларионов Л. В. // Вопросы кибернетики. - М., 1978. - Вып. 51: Биотехнические системы в авиационной эргономике. - С. 20-28.
7. А. с. 1133714 СССР, ИКИ А61 В5/02. Устройство для регистрации пульсовых ударов / А. Л. Берсудский, В. А. Орлов, А. Н. Пашковский (СССР). - № 3638509/24-07, Заявл. 15.03.83; Оpubл. 1985, БИ № 1 - 2 с.
8. А. с. 1354391 СССР, МКИ H03 G3/30. Усилительное устройство / В. А. Орлов (СССР). - № 3955019/24-09, Заявл. 11.09.85; Оpubл. 1987, БИ № 43 - 2 с.