

Машиностроение и машиноведение

УДК 004.04

DOI: 10.12737/article_59353e294e4892.44003396

А.В. Пономаренко, В.М. Василец, Д.Н. Левин

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭРГАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Рассмотрено согласование характеристик возможностей человека с характеристиками проектируемого летательного аппарата и их оптимизация проведением исследований на интерактивной системе обучения и тренажа (ИАСОТ), разработанной АО «РСК «МиГ».

Ключевые слова: эргатические характеристики, летательные аппараты, имитационные исследования, интерактивная система обучения и тренажа.

A.V. Ponomarenko, V.M. Vasilets, D.N. Levin

OPTIMIZATION OF AVIATION COMPLEX ERGONOMICS CHARACTERISTICS THROUGH METHOD OF SIMULATION INVESTIGATIONS OF AIRCRAFT SYSTEMS

The matching of human potentiality characteristics with the characteristics of an aircraft designed and their optimization by the fulfillment of investigations on an interactive system of training and education (ISTE) developed by "RDC "MiG" Co. is considered.

Key words: ergonomic characteristics, aircrafts, simulation investigations, interactive system of education and training.

Анализ современных тенденций технического прогресса приводит к выводу, что в авиации проблема «человек – техника» приобретает особо важную роль, так как от ее решения зависит главное – полнота использования экипажем потенциальных возможностей, заложенных в современных авиационных комплексах. С несогласованностью характеристик возможностей человека с характеристиками летательного аппарата (ЛА) связано снижение проектной эффективности и надежности системы «человек – ЛА», увеличение числа ошибок членов экипажа и предпосылки к летным происшествиям. В этой связи становится понятной обязательность инженерно-психологического обеспечения (сопровождения) проектирования перспективных авиационных комплексов, систем обучения и систем тренажа с целью учета человеческого фактора.

Основы теории психофизиологического и инженерно-психологического анализа проектирования и оптимизации деятельности летчиков, космонавтов и спе-

циалистов операторского профиля разработаны в 70-х годах прошлого столетия В.А.Бодровым, Н.Д.Заваловой, Б.Ф.Ломовым, В.А. Пономаренко и другими специалистами НИИИ авиационной и космической медицины [1; 2].

Основными методическими принципами инженерно-психологических исследований систем управления, наряду с известными принципами системного анализа, являются:

- проведение исследований на моделирующих стендах, воспроизводящих основные физические и психологические условия деятельности человека-оператора;

- моделирование с опорой на профессиограмму деятельности экипажа при взаимодействии с оборудованием, а оценивание оборудования – с опорой на эффективность действий человека;

- выбор и моделирование сложных и наиболее типичных с точки зрения использования оборудования условий и режимов полета, в которых человек исчерпывает

свои возможности по компенсации недостатков техники;

- использование комплекса оценок, характеризующих не только технические показатели системы, но и психологическое состояние человека-оператора, что позволяет выявить причины затруднений и ошибок при выполнении операций человеком (принцип комплексной оценки).

Для получения в эксперименте достоверных результатов необходимо добиваться, чтобы условия проведения исследований соответствовали реальным не только по степени сложности внешних

воздействий летчика, но и по внутреннему содержанию деятельности.

При этом предлагается для повышения экономической эффективности, ускорения создания новых и модификации существующих ЛА использовать интерактивную систему обучения и тренажа (ИАСОТ) инженерно-технического и летного состава самолетов серии МиГ. Созданная ИАСОТ (рис.1) основана на принципах формирования повышенной мотивации творческого решения профессиональных задач обучаемого состава [3].



Рис. 1. Структура и состав ИАСОТ

Интерактивное автоматизированное обучение предусматривает осуществление диалога обучаемого с моделями обучающей системы и электронным инструктором (эталонным летчиком), а также воздействия инструктором на процесс обучения через ПЭВМ или непосредственно на обучаемого.

Метод интерактивного обучения с повышенной (управляемой) мотивацией деятельности обучаемого в автоматизированных обучающих системах (АОС) предполагает:

- создание условий диалога обучаемого с АОС;
- гибкое варьирование характеристик ЛА, состава и вида представления инфор-

мации о состоянии управляемого процесса, способов решения задач в АОС;

- предъявление на информационном поле в соответствии с методикой обучения информации об оптимальных управляющих воздействиях (управляющих сигналах) и рациональных алгоритмах деятельности;

- возможность повторения или изменения способа деятельности с любого момента;

- корректную оценку качества деятельности;

- возможность воспроизведения управляемого процесса на информационном поле в натуральном масштабе времени по данным тренировочного полета (по ре-

зультатам выполненного тренировочного упражнения);

- возможность перехода в любой момент тренировочного упражнения на этапное автоматизированное управление процессом эксплуатации ЛА.

Своевременное создание такой обучающей системы или ее отдельных элементов наряду с комплексными тренажерами и применением летно-эксплуатационной подготовки является первоочередной задачей перед началом эксплуатации различных модификаций самолетов фронтовой авиации, что единодушно признается авиационными специалистами всего мира.

Работы по концептуальной проработке и разработке методологических основ обоснования облика системы первичного обучения инженерно-технического и летного состава, а также по созданию ее конкретных элементов (подсистем, решающих локальные задачи) ведутся на протяжении последнего десятилетия как за рубежом, так и в России (НИИАС, ВВИА им. проф. Н.Е.Жуковского, НИИАО, РСК «МиГ», АОТ ОКБ «СУ» и других исследовательских институтах МО).

Однако известные сегодня по материалам открытой печати зарубежные и ряд отечественных разработок первичного обучения ориентированы самое большее на компьютеризацию учебников и инструкций по эксплуатации.

Вместе с тем сегодня даже в мирное время до 60% всех авиационных аварий и катастроф происходит из-за ошибок управления ЛА при пилотировании и его наземной подготовки к полетам. Поэтому актуальной является задача разработки такой активной системы обучения, как ИА-СОТ.

Основой подобной системы должны стать разработка системы представления информации, обеспечение адекватности реакции систем ЛА на управляющие воздействия органов управления и выполнение работ по обслуживанию в реальном масштабе времени, программно-аппаратное обеспечение процесса обучения (вопросы – ответы) и контроль препода-

вателя за процессом освоения программ обучения.

Для того чтобы моделировать адекватные реальным условиям деятельности и ее внутреннюю структуру, проведению инженерно-психологического исследования должны предшествовать анализ этих условий и составление профессиограммы специалиста, взаимодействующего с оцениваемым оборудованием. В процессе такого анализа выявляются предполагаемые особенности воздействия, критические моменты деятельности, наиболее трудные этапы использования оборудования, что оценивается при планировании экспериментов по его оценке.

При проведении эксперимента для получения данных, которые могут быть положены в основу инженерно-психологических требований к технике, необходимо использовать методические приемы усложнения условий деятельности, в которых оператор вынужден использовать резервы своих психофизиологических возможностей. В условиях полета средней сложности нивелируются различия во взаимодействии летчика с более или менее совершенным оборудованием, то есть недостатки оборудования могут компенсироваться усилиями летчика. Кроме того, неожиданное усложнение условий — нередко предпосылка летного происшествия, поэтому исследование влияния усложнения на летчика дает знание об особенностях действий летчика при наступлении аварийной ситуации, об изменении структуры деятельности, характеристик восприятия и мышления, позволяет определить, что является критическим компонентом деятельности, что именно нарушается во взаимодействии летчика с самолетом, какой компонент деятельности необходимо обеспечить в первую очередь усиленной подготовкой и техническими средствами. Усложнение условий деятельности является одним из основных способов выявления преимущества одного из нескольких вариантов или систем управления ЛА при сравнительных исследованиях [4 – 8].

Очень важно в процессе проведения имитационных исследований поддержи-

вать также высокую мотивацию испытуемых. Как правило, сохранение мотивации обеспечивается осознанием оператором значимости исследования, естественным стремлением показать себя с хорошей стороны.

Для системных инженерно-психологических исследований необходимы дидактические моделирующие комплексы ЛА, позволяющие изучать деятельность человека в системе «летчик – ЛА – среда» во всем многообразии фактов, присущих реальному полету, а также отрабатывать перспективные системы обучения и тренажа. Такой комплекс должен обладать:

- полнотой и точностью моделирования режимов полета, гибкой структурой математической модели, позволяющей оперативной изменять характеристики моделируемого объекта и бортовых систем;

- информационным и динамическим подобием систем полуавтоматического управления, возможностью варьировать состав, содержание и форму представления информации;

- надежной и гибкой системой управления экспериментом, позволяющей варьировать условия его проведения, методику исследований;

- развитой системой регистрации, сбора и автоматизированной обработки полетной и психофизиологической информации, позволяющей использовать различные методы оценки.

Широкое использование ЭВМ при разработке систем управления (СУ) стимулирует применение методов имитационного моделирования для решения различных задач: анализ эффективности альтернативных режимов управления, исследование влияния факторов полета на систему и операторскую деятельность летчиков, обучение летчиков, отработка нестандартных ситуаций, анализ работоспособности и уровня подготовки летчиков, оптимизация параметров системы и др.

Итак, имитационное моделирование предполагает, по существу, не только полунатурное моделирование объектов исследования, но и моделирование психоло-

гических аспектов взаимодействия человека с управляемым объектом.

Сам процесс разработки методики имитационного исследования должен обязательно предусматривать: во-первых, проведение исследования в условиях, психологически подобных реальным, т.е. в условиях загрузки внимания, лимита времени, при неожиданных осложнениях обстановки полета; во-вторых, анализ реакции оператора, как сложных поведенческих актов, так и более элементарных действий (в зависимости от функций и особенностей использования оборудования основное внимание обращается либо на двигательные реакции, либо на процессы сбора информации, принятия решения и т.д.) [9].

Участие человека-оператора в моделировании систем управления ЛА приводит к необходимости учитывать также особенности операторской деятельности, ее зависимость от возмущающих воздействий (особенно от факторов полета и энергичного маневрирования ЛА фронтовой авиации), состояние человека-оператора, участвующего в эксперименте (общее состояние здоровья, слуха, зрения, утомляемости и т.д.), уровни тренированности и профессиональной подготовленности (понимание процессов управления, навыки управления и др.), длительность работы системы. Поэтому при отработке и оптимизации систем основным видом моделирования является имитационное. При принятии решения о моделировании, создании моделирующего стенда той или иной сложности исследователь должен решить ряд вопросов, связанных с выбором технических средств моделирования и разработкой плана эксперимента.

При организации моделирования СУ необходимо учитывать способность к адаптации и вариабельности деятельности человека, проявляющейся в изменении его характеристик при повторении опытов, способности самообучаться и использовать дополнительную информацию в процессе моделирования.

Моделирование СУ на экспериментальных стендах с имитацией возмущающих воздействий позволяет получить отве-

ты на вопросы, касающиеся оптимизации структуры и параметров системы, и учитывать влияние факторов полета на работу системы при анализе ее эффективности, а также обеспечить лучшую взаимосвязь человека и автоматических элементов системы.

Следует отметить, что исследование на любом моделирующем комплексе не исключает проведения чисто математического моделирования на этапах подготовки и последующих натурных испытаний системы.

Для сокращения затрат и сроков экспериментального исследования на комплексе целесообразно использовать достижения теории планирования эксперимента и математической статистики, позволяющие уменьшить объем работ и получить данные о точности и надежности результатов.

Мощные вычислительные средства с развитым математическим обеспечением, входящие в состав комплекса, позволяют существенно повысить степень автоматизации и управления исследованием. В данном случае имеется в виду возможность проводить исследование в автоматическом, интерактивном и диалоговом режимах и при комбинации этих режимов; представлять информацию при помощи графических и алфавитно-цифровых дисплеев на любом этапе исследований; оперативно вмешиваться в ход исследования вплоть до изменения темпа, алгоритма и т.д.; легко переводить ЭВМ из режима управления в режим консультации и наоборот; автоматизировать контроль за ходом исследования на отдельных этапах и в целом.

В первую очередь возникает вопрос о возможности экспериментальных исследований для решения поставленной задачи и целесообразности сочетания экспериментальных и аналитических методов. Исследователь должен при этом использовать накопленный опыт, интуицию, а также экспертные оценки специалистов в области решаемых проблем. Поэтому операции на первом этапе подготовки исследования плохо формализуются и пока практически не автоматизированы.

При проектировании систем обучения и тренажа основная трудность заключается в том, что отсутствует эффективная оценка качества этих систем. В ряде случаев сравнительную оценку вариантов систем представления информации оператору, вариантов систем автоматизации решения ряда других задач и т.д. можно получить, используя косвенные показатели: количество ошибок, совершаемых оператором при решении предъявляемых ему задач управления; время обнаружения оператором отклонения от заданного режима работы объекта; точность выполнения заданной программы; характеристики психофизиологического состояния оператора (неравномерность пульса, изменения кровяного давления); интенсивность глазодвигательной активности и т.д. Эти показатели легко регистрируются в ходе исследования. В качестве факторов, определяющих численные значения этих показателей, могут рассматриваться характеристики системы представления информации, вид возмущения, вид режима управления, степень автоматизации, характеристики диалогового режима моделируемых систем, структура системы и т.д.

Целью первых этапов исследования является проверка гипотезы о зависимости функций отклика измеряемых показателей от факторов, выбранных по предварительным соображениям для решения поставленной задачи. При экспериментальных исследованиях широкое распространение получили полиномиальные модели, связывающие выбранные показатели с варьируемыми. Параметрами модели являются коэффициенты полинома, определяющие вклады факторов функции связи (функции откликов), и средние квадратические отклонения, характеризующие погрешности определения коэффициентов и аппроксимации.

Если ограничить полином заданием конечного значения порядка и ввести соответствующие дополнительные обозначения, то полином будет записывать однородные линейные уравнения, переменными которых являются исследуемые факторы.

Выбор полиномиальной модели диктуется сложностью изучаемых процессов, недостаточностью их знания, удобством применения статистических методов при обработке результатов исследования, возможностью уточнения модели (путем повышения порядка полинома), линейностью полинома относительно коэффициентов.

Обработка результатов эксперимента позволяет получить численные данные по точности и достоверности искомых зависимостей. Интерпретация результатов исследования, а также выводы об успешном решении поставленной задачи основываются на анализе этих зависимостей.

Рассмотрим упрощенную структурную схему типовой модели системы полуавтоматического управления ЛА. В эту модель входит модель кабины ЛА, оборудованная элементами, с которыми взаимодействует человек-оператор (пульт управления, информационные приборы, оптические приборы, органы управления СУ и органы управления оптическими или другими элементами бортового оборудования).

Кабину ЛА можно закрепить на плече центрифуги для моделирования перегрузок, являющихся важным фактором, который влияет на процесс управления при выполнении фигур пилотажа на самолете.

Для имитации динамики управления, а также для обеспечения ощущений, возникающих при управляющих воздействиях, модель кабины может разворачиваться вокруг осей ориентации и продольно перемещаться по всем осям с помощью специального привода, управляемого вычислителем, в соответствии с программой моделирования и динамикой процесса управления.

Параметры процесса управления, характеристики систем и функциональное состояние оператора регистрируются и обрабатываются в блоке регистрации и вычисления данных эксперимента. Этот блок обычно представляет собой часть аналого-цифрового комплекса, дополненного специальной аппаратурой для регистрации психофизиологических показателей деятельности человека-оператора.

Возможность создания перегрузок, имитации движения кабины, шумов и т.д. приводит к тому, что летчик получает дополнительную информацию для построения своей концептуальной модели процесса управления. Это позволяет ему более полно формировать такие психические образования, как знание, навык и умение.

Возможность формирования у оператора концептуальной модели с помощью физического моделирования и с применением реальной аппаратуры определяет его преимущество по сравнению с математическим.

Концепция построения системы психофизиологической оценки подготовленности летчика на пилотажных тренажерах определяет комплекс характеристик, который следует использовать для повышения объективности самой оценки. Этот комплекс должен включать характеристики:

- эффективность выполнения полетного задания;
- степень нервно-эмоционального напряжения;
- резервные возможности летчика.

Наиболее сложным является вопрос учета данных психофизиологического контроля при комплексной оценке качества деятельности и уровня обученности летчика на тренажере. Элементы и последовательность объективной оценки подготовленности летчика (курсанта) на тренажере в самом общем виде представлены на рис. 2.

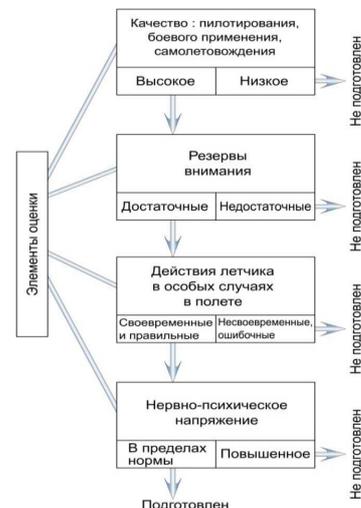


Рис. 2. Последовательность объективной оценки подготовленности летчика на тренажере

Как видно на рис. 2, решение о готовности летчика может быть принято лишь в том случае, когда его показатели по всем четырем элементам оценки будут соответствовать нормативным требованиям. Однозначное заключение о слабой подготовке летчика должно быть сделано, когда качество пилотирования низкое, а показатели нервно-психического напряжения выходят за их нормативные значения. В том случае, если у летчика при хорошем качестве пилотирования психофизиологические показатели выше нормы, целесообразно продолжить тренировки в целях

снижения высокого нервно-психического напряжения. В противном случае вопрос о готовности летчика должен решаться с участием специалиста авиационной медицины.

Дальнейшее развитие этого направления должно идти по линии уточнения критериев психофизиологической оценки готовности летчика на тренажере и разработки, создания и внедрения в практику комплексной автоматизированной (инструментальной) системы объективной оценки, контроля и управления обучением летчика на тренажере (рис. 3 и 4).

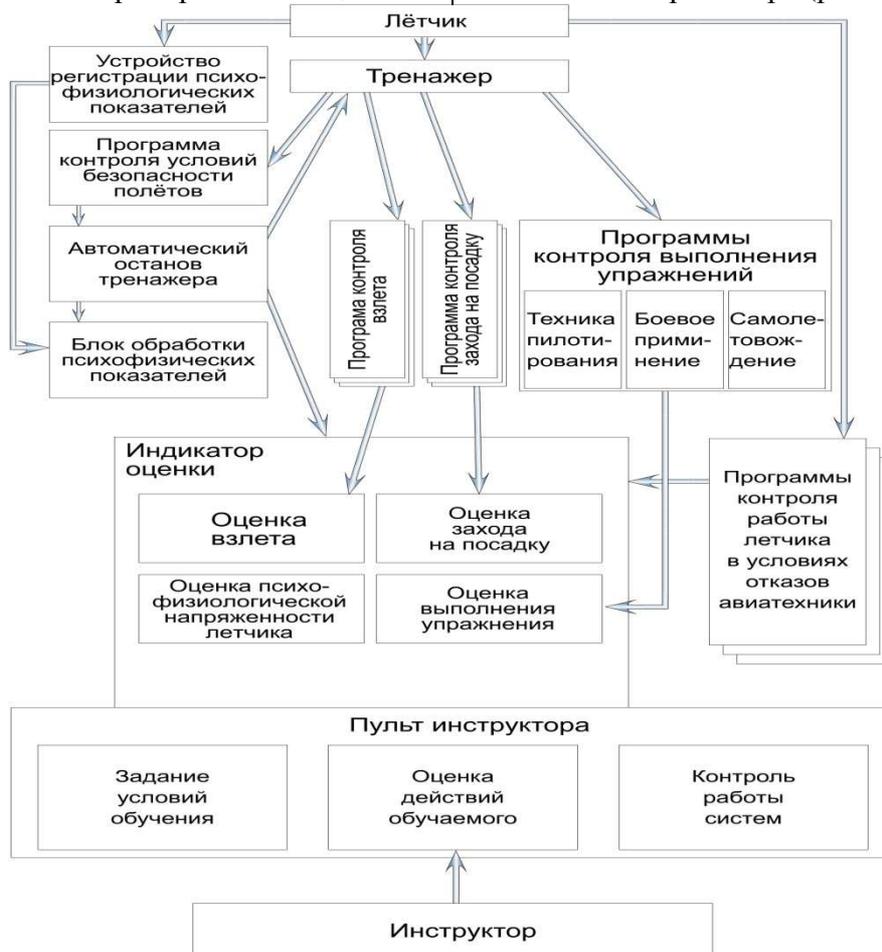


Рис. 3. Система объективной оценки качества выполнения упражнений на тренажере

Нетрудно заметить, что широкое использование данной системы объективной оценки и контроля процесса тренировки летного состава предполагает обязательную автоматическую обработку показателей качества пилотирования и нервно-эмоционального напряжения летчика. Такая система объективной оценки, контроля

и управления обучением летчика на тренажере обладает еще одним важным свойством - дает возможность накапливать достоверные данные, позволяющие раскрыть психофизиологическую природу навыка летчика, эффективно управлять процессом его формирования.

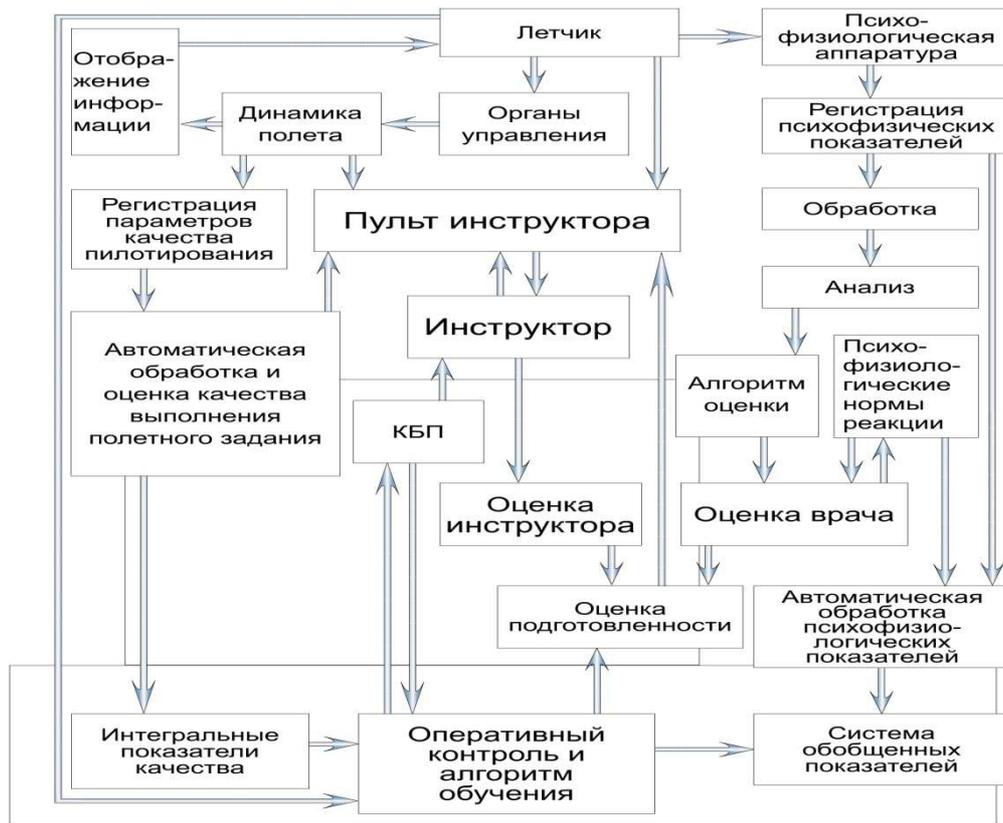


Рис. 4. Система объективной оценки, контроля и управления обучением летчика на тренажере

Однако следует помнить, что объективная система оценки и контроля степени подготовленности летчика или курсанта на тренажере ни в коем случае не должна полностью заменить инструктора. Она может и должна лишь расширить возможности инструктора, повысить надежность его заключений.

В зависимости от признака свойств реальной системы, воспроизводимых в модели, можно выделить взаимосвязи между элементами системы, человеком и системой. При таком моделировании воспроизводятся связи человека-оператора не только с исследуемой СУ по управлению конкретным режимом полета ЛА, но и со всеми системами в процессе подготовки и проведения режима полета, а также с последующими операциями, которые выполняются после исследуемого режима. Выполнение при моделировании управляемого полета всего цикла операций и подготовки придает определенную эмоциональную окраску операторской деятельности и

позволяет оптимизировать порядок и время выполнения операций.

Функциональное моделирование позволяет исследовать поведение системы в различных условиях и при этом оценить изменение характеристик системы.

Системы управления ЛА функционируют в условиях, когда априорная информация до полета известна только частично. Например, при управлении ЛА приходится считаться с тем, что его характеристики не постоянны во время полета в результате расхода топлива, движения средств поражения и др. Поэтому во время полета осуществляется автоматическое пополнение информации об изменении внешних условий и параметров объекта управления в процессе работы системы. На основе полученной информации появляется возможность варьировать параметры, структуру и алгоритмы системы таким образом, чтобы обеспечивалось увеличение эффективности применения системы, т.е. в таких системах реализуется адаптивное управление, а сами системы принято называть

адаптивными (самоадаптивными, самоорганизующимися, самообучающимися).

Новым классом систем управления, обеспечивающих высокую эффективность в условиях неопределенности, являются интеллектуальные. К этому классу систем управления относятся системы, в которых не только анализируются отдельные параметры и процессы внешних условий функционирования системы, но и распознаются ситуации, в которых функционирует система. Решение задачи распознавания ситуации позволяет реализовывать в системе управления такие решающие устройства, которые в зависимости от определенной ситуации формировали бы новую цель управления. Изменение цели управления может приводить к смене критерия оптимизации. Реализация интеллектуального управления повышает оперативность ре-

шения задач, и на основе этого открываются определенные возможности по повышению эффективности полета.

Таким образом, в настоящее время для повышения эффективности и качества операторской деятельности летчика при создании систем полуавтоматического и автоматизированного управления значительно возрастает роль ПМС, особенно содержащих имитационные системы неинструментальной информации. Следует отметить, что моделирование не заменяет полностью летные испытания в качестве окончательного этапа процесса разработки СУ. В качестве промежуточных исследований большая роль в отработке СУ отводится моделированию в полете с использованием самолетов-имитаторов, которое составляет очень важную и интересную часть программы разработки СУ ЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодров, В.А. Экспериментально-психологическое исследование совмещенной операторской деятельности / В.А.Бодров // Методология инженерной психологии, психологии труда и управления. – М.: Наука, 1981. – С. 192-209.
2. Бодров, В.А. Информационный стресс./ В.А. Бодров М.: Пер Сэ, 2000.
3. Пономаренко, А.В. Автоматизированная система обучения с процедурным тренажером для изучения авиационной техники инженерно-техническим и летным составом / А.В.Пономаренко, В.Б.Калмыков, В.С.Калабухов, В.М.Халтобин// Труды международного юбилейного симпозиума «Актуальные проблемы науки и образования» (АПНО – 2003).
4. Красовский, А.А. Основы теории авиационных тренажеров / А.А. Красовский. – М.: Машиностроение, 1995.
5. Сильвестров, В.Ю. Концепция построения специализированных компьютерных тренажеров для летного и инженерно-технического состава модернизируемых и перспективных ЛА / В.Ю.Сильвестров // Автоматика и телемеханика. – 2001г. – №7.
6. Вопросы разработки автоматизированных систем обучения / под ред. В.М.Ветошкина; ВВИА им. Н.Е. Жуковского, – 1999.
7. Доброленский, Ю.П. Методы инженерно-психологических исследований в авиации / Ю.П.Доброленский, Н.Д.Завалова, В.А.Пономаренко, В.А.Туваев. – М.: Машиностроение, 1975.
8. Theurerbf-104dsidestickcontrolsyste // thesosietyofexperimentaltestpilotstechnicalrevue. – №2. – 1979.
9. Завалова, Н.Д. Образ в системе психической регуляции деятельности / Н.Д.Завалова, Б.Ф.Ломов, В.А.Пономаренко. – М.: Наука, 1986.
1. Bodrov, V.A. Experimental-psychological investigation of consistent operator activity/ V.A.Bodrov // *Methodology of Engineering Psychology, Psychology of Labour and Management*. - М.: Science, 1981. – pp. 192-209.
2. Bodrov, V.A. *Information Stress*/ V.A.Bodrov. - М.: Per Se, 2000.
3. Ponomarenko, A.V. Automated system of training with procedure training simulator for study of aeronautical engineering by flight-technical staff/ A.V.Ponomarenko, V.B.Kalmykov, V.S.Kalabukhov, V.M.Khaltobin // *Proceedings of the Inter. Jubilee Symposium "Current Problems of Science and Education"* (CPSE – 2003).
4. Krasovsky, A.A. *Fundamentals of Theory of Aircraft Simulators* / A.A.Krasovsky. - М.: Mechanical Engineering, 1995.
5. Silvestrov, V.Yu. Concept of special computer simulators for flight and engineering staff for updated and promising aircrafts / V.Yu.Silvestrov // *Automation and Remote Control*. - 2001. - № 7.
6. *Problems of Automated Training Systems* / under the editorship of V.M.Vetoshkin; Zhukovsky Air Force Academy. - 1999.

7. Dobrolensky, Yu.P. *Methods of Engineering-Psychological Researches in Aeronautics/* Yu.P.Dobrolensky, N.D.Zavalova, V.A.Ponomarenko, V.A.Tuvayev. - M.: Mechanical Engineering, 1975.
8. The urer b f-104d side stick control system // The society of experimental test pilots technical review. - 1979. - №2.
9. Zavalova, N.D. *Image in System of Psychological Control of Activities/* N.D. Zavalova, B.F. Lomov, V.A.Ponomarenko. - M.: Science, 1986.

Статья поступила в редколлегию 7.12.2016.

Рецензент: д.псих.н., профессор Брянского государственного технического университета Спасенников В.В.

Сведения об авторах:

Пономаренко Андрей Владимирович, д.т.н., профессор, нач. отделения АО «РСК «МиГ», г. Москва.
Василец Валерий Михайлович, д.т.н., профессор, гл. специалист АО «РСК «МиГ», г. Москва.

A.V. Ponomarenko, D. Eng., Prof., Chief of the Dep. RDC “Mig” Co., Moscow.

V.M. Vasilets, D. Eng., Prof., Chief Specialist “RDC “MiG” Co., Moscow.

Левин Дмитрий Николаевич, к.т.н., зам. нач. отдела филиала ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», г. Москва.

D.N. Levin, Can. Eng., Deputy Chief of the Dep. of the Branch PA Co. “Sukhoy” “JDB of Sukhoy”, Moscow.