

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ АВИАЦИОННЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Мистров Л.Е., д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Центрального филиала «РГУП им. В.М. Лебедева» (г. Воронеж)

Кучевский К.В., начальник учебно-тренировочного комплекса ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Проводится концептуальный анализ условий и аварийных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации воздушных судов (ВС) и показано, что основной их причиной является человеческий фактор, а одним из актуальных направлений их снижения является применение авиационных тренажеров (АТ) для подготовки экипажей воздушных судов (ЭВС). Предлагается проведение модернизации устаревшего парка процедурных, тактических и комплексных АТ исходя из возможности обеспечения ими решения ЭВС частных учебных задач (УЗ) и обоснованный переход к синтезу авиационных многофункциональных тренажеров (АТМ). Особенностью АТМ является решение стоящего перед ЭВС расширяющегося множества УЗ, решаемых одновременно и/или параллельно различным составом экипажа. Приводится физическая и математическая постановка решения поставленной задачи синтеза структурно-функционального облика АТМ на основе оптимального распределения ресурса средств аппаратного и программного обеспечения (АПО) как функция расширяющейся номенклатуры УЗ. Показано, что основу решения оптимизационных задач распределения ресурса АПО составляет формализованное представление АТМ в виде многоцелевой иерархической системы и разработка математической модели оптимального распределения ресурса аппаратных и программных средств, обеспечивающей решение определенного количества, типа и структурной сложности УЗ. Предлагается стратегия построения АТМ, которая в условиях неопределенности решаемых УЗ основывается на принципе открытой архитектуры распределением модулей АПО для решения различного приоритета задач. Введение целочисленной функции управления АТМ позволило формализовать процесс распределения разнородного ресурса АПО, обеспечивая тем самым возможность перехода ЭВС к последовательному решению УЗ. Это обеспечило представление каждого варианта облика АТМ в виде вектора показателей качества (эффективности), ресурса и стратегий управления. В предположении определенности частных показателей качества АТМ определена область определенности как функция оптимального ресурса средств АПО. Для решения приведенных оптимизационных задач предложена технологическая схема исследований, обеспечивающая алгоритмическую реализацию процесса синтеза (модернизации устаревших АТ) облика АТМ.

Ключевые слова: воздушное судно, экипаж воздушного судна, учебная задача, авиационный тренажер, авиационный многофункциональный тренажер, аппаратное и программное обеспечение, оптимизация.

Цитирование: Мистров Л.Е., Кучевский К.В. Принципы и методические подходы к синтезу авиационных многофункциональных тренажеров // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 2 (83). С. 33–43.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Авиация является существенной составляющей экономического развития России при решении различного рода социально-экономических задач, актуализируя задачу обеспечения безопасности полетов воздушных судов (ВС). Эта задача является комплексной, так как ее решение зависит от качества работы всех составных элементов авиационной системы: эксплуатируемой авиационной техники, летного и технического

персонала, наземной техники и персонала служб управления воздушным движением и обеспечения полетов.

В целях управления безопасностью полетов ВС осуществляется в установленном Правительством Российской Федерации порядке сбор и анализ данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов ВС, хранение этих данных и обмен ими в соответствии с международными стандартами Международной организации гражданской авиации [1]. Для проведения анализа состоя-

ния безопасности полетов ВС используется комплексный статистический показатель безопасности полетов, представляющий средневзвешенный относительный статистический показатель количества особых ситуаций. Под особой ситуацией понимается событие, характеризующееся как усложнение условий полета, аварийная или катастрофическая ситуация, возникновение которой связано с воздействием неблагоприятных факторов или их сочетания на любом из этапов полета, приводящих к снижению безопасности полетов ВС. В основу их определения положено определение причин летных происшествий и предпосылок к ним, классификация которых по группам причин летных происшествий на основе многолетнего опыта эксплуатации отечественных и зарубежных ВС приведена в табл. 1. Каждая группа включает причины, обуславливающие появление в полете особых ситуаций, порождающих предпосылки к летным происшествиям или летные происшествия.

Причины особых ситуаций (по десятилетиям), приведшие к смертельным исходам, по данным [1] приведены в табл. 2 и 3, а распределение числа погибших по фазам полета – на рис. 1 [1]. Таблицы составлены на основе анализа данных 1085 аварий, причина которых была установлена. При

этом табл. 2 содержит данные по причинам авиационных аварий, а табл. 3 – причины смертельных случаев в авариях (необработанные данные / в процентах). Данные об авиационных авариях в таблицах были квалифицированы следующим образом: а) время анализа с 1.01.1950 по 6.03.2019; б) ВС, способные перевозить не менее 19 пассажиров; в) аварии с не менее чем 2 смертельными исходами; г) военные вертолеты и частные самолеты из рассмотрения исключены. Причины аварий в соответствии с табл. 1 были классифицированы на пять категорий: ошибка пилота, механика или технические отказы ВС, погода, саботаж (терроризм) и другое. Поскольку большинство авиационных аварий обусловлено несколькими причинами, была выбрана основная, или инициирующая, причина.

Как показывает анализ результатов авиационных аварий в особых ситуациях, причиной большинства (около 50%) летных происшествий является «человеческий фактор» (причиной большинства (около 80%) летных происшествий в России является «человеческий фактор» [2]), и эта тенденция сохраняется в настоящее время. Существенное усложнение авиационной техники, массовая замена существующего устаревшего парка ВС на современные модели,

Таблица 1

Основные причины летных происшествий

ГРУППА ПРИЧИН ЛП	СУЩНОСТЬ ПРИЧИН ЛП	СОДЕРЖАНИЕ ПРИЧИН ЛП
1	Происшествия, вызванные недостатками организации полетов, управления воздушным движением и работой наземных служб	Недостатки в организации предварительной и предполетной подготовки экипажей ВС (ЭВС): неудовлетворительная организация контроля работы ЭВС при выполнении полетов; выпуск в полет ЭВС в условиях, не соответствующих уровню их подготовки; неподготовленность руководителей полетов; незнание метрологических условий по трассе или пренебрежение ими; допуск к полетам при неудовлетворительном состоянии ВПП и неподготовленность радиотехнических средств для обеспечения полетов; неудовлетворительный медицинский контроль ЭВС
2	Происшествия, вызванные ошибками членов экипажа, нарушением наставления по производству полетов и руководства по летной эксплуатации и недисциплинированностью	Нарушения и ошибки, допускаемые в полете членами ЭВС, – ошибки летчиков в технике пилотирования и использования функциональных систем при возникновении опасных или аварийных ситуаций; нарушение требований руководящих документов; недисциплинированность, нарушение режима труда и предполетного отдыха, снижение работоспособности в связи с заболеванием, недостатки, которые не были обнаружены своевременно в процессе обучения или переучивания на новую технику и т.д.
3	Происшествия, возникающие из-за отказов функциональных систем ВС в полете по вине обслуживающего инженерно-технического состава	Нарушения и ошибки, допущенные инженерно-техническим составом, приводящие к отказам авиационной техники, связанные с нарушением действующих руководящих документов, низким качеством выполнения работ при техническом обслуживании и подготовке ВС к полету, недостатками в организации контроля выполняемых работ, недостаточной квалификацией отдельных исполнителей, слабой подготовкой воспитательной работы среди инженерно-технического состава
4	Происшествия, происходящие из-за отказов авиационной техники вследствие конструктивно-производственных недостатков или неудовлетворительного ремонта, неисправности	Отказы авиационной техники из-за конструктивно-производственных недостатков или недоброкачественного ремонта – разрушение отдельных агрегатов, узлов и деталей планера, взлетно-посадочных устройств, системы управления гидравлической, воздушной, топливной и других систем; неисправности наземного оборудования по обеспечению полетов – отказы радиомаяков, средств связи и радиотехнического обеспечения, системы управления
5	Происшествия, вызванные неблагоприятными условиями полета	Неблагоприятные условия полета – высокая турбулентность атмосферы, столкновение с птицами и воздушными шарами, попадание в спутную струю впереди летящего ВС, а также нарушение работоспособности летного состава в полете, которое невозможно предвидеть до вылета, и т.д.

Таблица 2

Причина авиационных аварий				
ПРИЧИНА АВАРИИ ОШИБКА ПИЛОТА	МЕХАНИЧЕСКИЕ	ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ	САБОТАЖ, ТЕРРОРИЗМ	ДРУГИЕ
Неправильная процедура управления ВС	Отказ двигателя	Сильная турбулентность	Угон	Ошибка УВД
Полеты по ПВП в условиях ППП	Отказ оборудования	Сдвиг ветра	Сбит	Ошибка наземного экипажа
Управляемый полет на местности	Разрушение конструкции	Горная волна	Взрывное устройство на борту	Перегруженный
Спуск ВС ниже минимумов	Недостаток дизайна	Плохая видимость	Самоубийство пилота	Неправильно загруженный груз
Пространственная дезориентация		Сильный дождь		Столкновение с птицами
Преждевременный спуск		Сильные ветры		Загрязнение топлива
Превышение скорости приземления		Глазурь		Потеря дееспособности пилота
Пропущенная взлетно-посадочная полоса		Грозы		Препятствие на взлетно-посадочной полосе
Нехватка топлива		Удар молнии		Столкновение в воздухе, вызванное другими ВС
Ошибка навигации				Пожар/дым в полете
Неправильный взлет/посадка на ВПП				Ошибка обслуживания

Таблица 3

Причины смертельных несчастных случаев (по десятилетиям)								
ДЕСЯТИЛИТИЕ	1950-е годы	1960-е годы	1970-е годы	1980-е годы	1990-е годы	2000-е годы	2010-е годы	ВСЕГО
Ошибка пилота	82/50%	119/53%	112/49%	67/42%	77/49%	48/50%	28/57%	533/49%
Механический	43/26%	62/27%	45/19%	36/22%	35/22%	22/23%	10/21%	253/23%
Погода	25/15%	15/7%	22/10%	22/14%	10/7%	8/8%	5/10%	107/10%
Саботаж	6/4%	9/4%	20/9%	20/12%	13/8%	9/9%	4/8%	81/8%
Другой	9/5%	21/9%	31/13%	16/10%	22/14%	10/10%	2/4%	111/10%
Всего	165	226	230	161	157	97	49	1085



Рис. 1. Число погибших по фазам полета

значительное удорожание в последние 10–15 лет процесса обучения в реальном полете в результате возросшей стоимости топлива усугубили ситуацию. Изменить эту тенденцию к лучшему возможно в результате тренировок экипажей воздушных судов (ЭВС) на авиационных тренажерах (АТ) и отработки их действий в наземных условиях.

Анализ приведенных на рис. 1 данных показывает, что количество аварийных ситуаций со смертельным исходом практически одинаково на всех этапах полета ВС, что обуславливает постоянное и непрерывное совершенствование летных навыков и повышение квалификации ЭВС, уделяя при этом одинаковое количество времени для отработки всех этапов полета, достигаемых по результатам тренировок в процессе выполнения соответствующих учебных задач. Под учебной задачей (УЗ) понимается стоящая перед обучаемым определенная совокупность операций, направленных на выполнение поставленной целевой задачи с заданной (нормативной) эффективностью в определенных условиях.

Обучение ЭВС проводится в целях поддержания и повышения уровня знаний в вопросах теории и практики техники пилотирования, воздушной навигации, применения авиационных средств поражения, необходимых для выполнения своевременных и оптимальных действий ЭВС в штатных условиях и особых ситуациях, обеспечивающих высокую степень боеготовности ВС и безопасности полетов.

Подготовка ЭВС проводится в соответствии с утвержденными нормативно-правовой базой, программами, инструкциями и курсами учебно-летной подготовки и в общем случае основывается на принципах:

- осознанного и интенсивного участия ЭВС в учебном процессе;
- эксплуатационной направленности процесса подготовки ЭВС, главной целью которой является приобретение (поддержание) знаний и выработка практических умений ЭВС действовать безошибочно и своевременно в штатных ситуациях и при возникновении особых случаев в полете;
- использования технических средств обучения в учебном процессе, что, в свою очередь, позволяет учитывать индивидуальные особенности ЭВС;
- постоянной самостоятельной подготовки ЭВС на протяжении всей летной деятельности в целях поддержания полученных профессиональных знаний и практических навыков на уровне, обеспечивающем высокую степень безопасности полетов;
- применения дистанционных обучающих систем в подготовке ЭВС.

Целью теоретической подготовки ЭВС является формирование и совершенствование знаний, умений и навыков, необходимых для успешной летной работы, грамотной

эксплуатации авиационной техники, глубокого усвоения организации летной работы и обеспечения безопасности полетов. Ключевым видом подготовки ЭВС является самостоятельная подготовка [3].

Цель практических занятий состоит в отработке умений и навыков ЭВС по технике пилотирования, воздушной навигации, безошибочному и своевременному выполнению необходимых действий при усложнении условий полета или отказе бортовых систем с использованием АТ. Основной задачей тренировки является поддержание и повышение уровня профессиональной подготовки ЭВС, проведение проверки теоретических и практических знаний и умений ЭВС на АТ [4].

Подготовка ЭВС осуществляется с помощью АТ, которые разделяются на несколько категорий:

- процедурные тренажеры, предназначенные для отработки экипажем порядка действий с органами управления и оборудованием;
- специализированные АТ, предназначенные для отработки навыков отдельных членов экипажа (например, штурмана, воздушного радиста), привития соответствующих навыков;
- комплексные АТ, предназначенные для формирования и отработки полетного задания.

Международной организацией гражданской авиации (ICAO) определены критерии для оценки и квалификации тренажеров. В действующей редакции Руководства по критериям квалификационной оценки пилотажных тренажеров ICAO Doc 9625, носящее рекомендательный характер, в котором устанавливаются требования к характеристикам и документации, необходимые для квалификационной оценки пилотажных тренажеров, используемых для подготовки и периодических проверок ЭВС. Его цель — предоставить ведомству гражданской авиации государства методы квалификационной оценки АТ путем первоначальной и последующих периодических его оценок, что позволяет ведомствам гражданской авиации других государств признавать квалификационную оценку, данную государством, проводившим первоначальную и периодические оценки тренажера [5].

В России вопросы стандартизации качества выпускаемых АТ регламентируются на основе следующих документов:

- стандарт по квалификационной оценке авиационных тренажеров самолетов «Нормы годности авиационных тренажеров самолетов для подготовки авиационного персонала на воздушном транспорте»;
- требования к пакету исходных данных для проектирования авиационного тренажера в соответствии с IATA Flight Simulator Design and Performance Data Requirements 7th edition;

- методы оценки соответствия авиационных тренажеров самолетов требованиям НГАТ.

Для гражданской авиации значения отношения количества эксплуатируемых самолетов к количеству используемых тренажеров следующие: США – 14,1, Канада – 38,6, Евросоюз – 16,9, Россия – 77,0. Считается, что для нормального процесса подготовки экипажей требуется не менее одного АТ на 20 ВС [6].

Анализ применения АТ в США и странах НАТО при боевой подготовке ЭВС показывает, что они используются на основных этапах полета:

- при отработке первоначальных навыков пилотирования, действий в нештатных ситуациях и умений управлять учебным ВС, включая отработку первичных навыков пилотирования;
- при отработке навыков и умений управлять боевым ВС;
- при совершенствовании навыков и умений управлять боевым ВС, а также для поддержания и восстановления этих навыков.

Опыт боевого применения ВВС стран НАТО показывает, что обеспечение высокой эффективности тренажерной подготовки ЭВС к боевому применению по наземным целям составляет одну из наиболее сложных в техническом отношении задач.

На рис. 2 приведены данные о влиянии предварительной тренажерной подготовки ЭВС на результативность стрельбы по наземным целям (с малым углом атаки) экипажа штурмовика А-10 [7]. Верхняя кривая соответствует действиям летчиков (тренажерная группа), прошедших

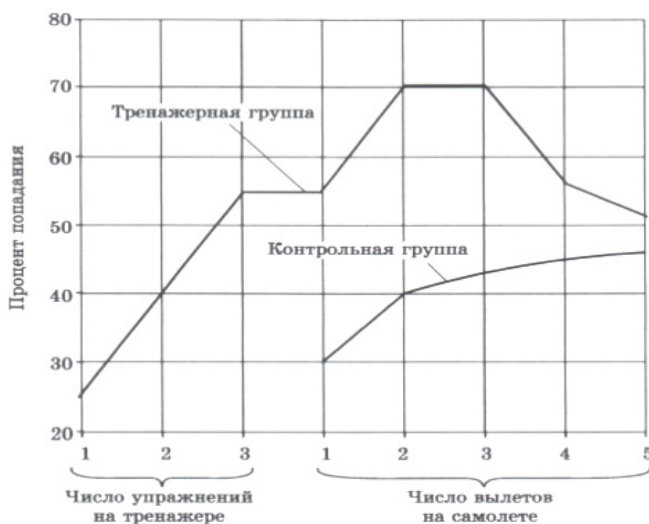


Рис. 2. Влияние тренажерной подготовки экипажей штурмовика А-10 на эффективность стрельбы по наземным целям

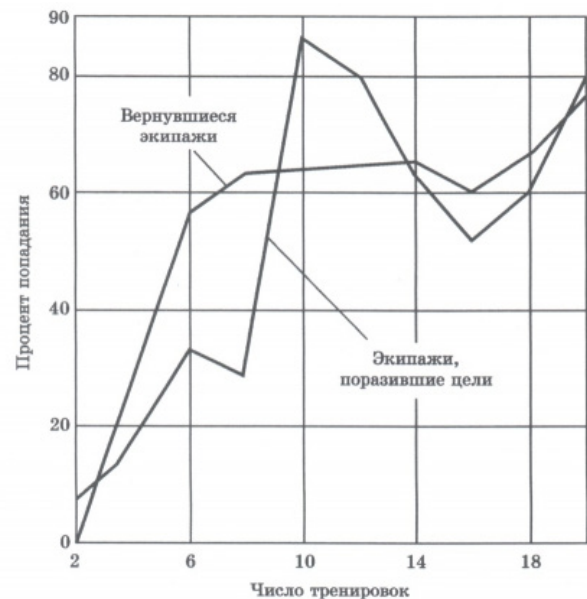


Рис. 3. Динамика изменения «боевых потерь» при увеличении числа тренировок выполнения боевого задания на тренажере

предварительную тренажерную подготовку (при тренировке в стрельбе по наземным целям). Нижняя кривая соответствует действиям группы летчиков, не проходивших тренажерную подготовку (контрольная группа). При этом в пяти учебно-боевых вылетах тренажерная группа показала существенно более высокие результаты, чем контрольная.

На рис. 3 приведены результаты повышения уровня подготовки летных экипажей, безопасности и выживаемости в результате тренировок на тренажере самолета А-10 при преодолении ПВО и поражении наземных целей. Динамика изменения доли «вернувшихся экипажей» и доли экипажей, «поразивших цели», убедительно показывает эффективность тренировок [7].

Основным показателем оценки качества АТ является соотношение стоимости эксплуатации тренажера и моделируемого ВС. С точки зрения экономической эффективности тренажерной подготовки отмечается, что отношение стоимости одного часа эксплуатации комплексного АТ к стоимости одного часа полета имитируемого ВС составляет от 1/3 до 1/30. Анализ соотношения времени обучения на тренажерах характеризуется ростом: с 6:7 до 8:1 [7].

В настоящее время вузы подготовки ЭВС в недостаточной степени укомплектованы АТ, обеспечивающими подготовку ЭВС для решения всего многообразия решаемых УЗ. В большинстве случаев используются процедурные и тактические АТ, рассчитанные на решение ЭВС конкретных задач обучения для одного типа ВС и определенных УЗ. Это обуславливает задачу модернизации существующего парка АТ на основе существующих аппаратных средств

и разработки новых авиационных многофункциональных тренажеров (АТМ) – АТ, которые в отличие от комплексных тренажеров могут при неизменном составе элементов программного и аппаратного обеспечения, за счет изменения их функций и формирования новой структуры связей между ними адаптивно менять стратегию обучения.

Модернизацию АТ целесообразно выполнять на основе: а) повышения надежности, удешевления эксплуатации, снижения габаритов и энергопотребления, частичного расширения функциональных возможностей тренажера путем замены вычислительного комплекса и системы имитации визуальной обстановки и б) доведения характеристик АТ до современного облика. Следует заметить, что вопросам модернизации АТ, и особенно тренажеров, обеспечивающих привитие летному составу навыков боевого применения с использованием АУР, также уделяется большое внимание в США и других странах НАТО.

Главные трудности при создании современных АТ состоят в разработке математических моделей создания и модернизации существующего парка АТ, обусловленных необходимостью учета действия большого количества факторов определяющих процессов в сложных технологических системах и необходимостью быстрого получения надежных результатов, т.е. обеспечения работы тренажера в реальном и ускоренном масштабе времени. Выполнение этих условий возможно на основе разработки новых методов и реализующих их алгоритмов, ориентированных на решение задач высокой размерности, уровень сложности которых должен определяться физиологическими возможностями восприятия среды человеком-оператором. Это обуславливает поиск новых методических подходов к разработке методов, обеспечивающих реализацию принципов построения АТМ, что определило цель и содержание предлагаемой статьи.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ АТМ

АТМ представляет собой симулятор полета ВС для закрепления теоретических вопросов и практического освоения ЭВС в наземных условиях различных образцов авиационной техники, овладения и повышения навыков пилотирования, подготовки к полетам и тренировки выполнения УЗ полетного задания. С этой целью на АТМ осуществляется имитация функционирования динамически взаимосвязанных информационных систем и аппаратного оборудования ВС, динамики полета ВС на основе специальных моделей, реализованных с помощью программного обеспечения (ПО).

Задача разработки АТМ обусловлена требованиями подготовки ЭВС применительно к одному/нескольким типам ВС и различным вариантам их оснащения или способных обеспечивать подготовку ЭВС к действиям в составе однородных и разнородных авиационных групп. Это обуславливает необходимость не просто иметь отдельные АТ для подготовки ЭВС только одного типа ВС, а создавать и при-

менять в многопроцессорные, многофункциональные учебно-тренировочные системы в виде АТМ ВС. Структурно такие АТМ включают автоматизированное рабочее место (АРМ) руководства обучением (рабочее АРМ руководителя обучения), необходимое количество рабочих АРМ помощников руководителя обучения в зависимости от моделируемого ВС и АРМ обучаемых. Рабочее АРМ обучаемого обеспечивает предоставление обучаемому информации о реально-имитируемой обстановке и необходимых средствах управления в соответствии с его функциональными обязанностями, то есть информационная модель – рабочее АРМ обучаемого должно быть в основном адекватно соответствующим реальным рабочим местам в ВС. Количество рабочих АРМ создается в зависимости от моделируемых одиночных и/или групповых действий на базе однотипных или разнотипных ВС.

Реализация функций АТМ обеспечивает эффективное решение УЗ практической подготовки ЭВС:

- подготовка и проверка оборудования кабин ВС перед вылетом;
- отработка способов и приемов пилотирования на всех этапах и режимах в нормальных и усложненных условиях выполнения полета с рабочих мест летчика и оператора;
- отработка способов и приемов маневрирования при атаке наземных и воздушных целей на пределе эксплуатационных ограничений;
- подготовка и выполнение маршрутного полета с выходом в заданные районы с применением радиотехнических средств навигации;
- закрепление навыков срочных действий в характерных особых ситуациях;
- управление средствами огневого поражения объектов в условиях деструктивного воздействия условного противника с рабочих мест летчика и оператора;
- отработку способов маневрирования при преодолении зон действия зенитных ракетно-артиллерийских комплексов;
- ведение двухсторонней радиосвязи между членами ЭВС и руководителем полетов.

Опыт разработки ПО АТ для подготовки ЭВС показывает, что комплексы обучающих программ должны состоять из компонент, обеспечивающих реализацию основных функций, выполняемых ЭВС в соответствии с его функциональными обязанностями.

Принятие решений по разработке современных АТМ, ориентированных на решение задач наземной подготовки ЭВС различного типа и оснащения ВС, имеет многоцелевой характер, что обусловлено необходимостью его гибкой приспособляемости (адаптации) к частой смене параметров заданий учебных программ обучения в зависимости от опре-

деленных задач подготовки ЭВС для одного типа, нескольких типов и групп ВС одного рода авиации. Это позволяет АТ по данному признаку обучения классифицировать на однопроцессорные, процессорные и многофункциональные.

Однопроцессорные (процедурные, тактические) АТ характеризуются тем, что каждая УЗ, реализуемая соответствующим ПО на одном типе ВС, основывается на своем комплексе переналаживаемого аппаратного оборудования и программных средств в виде функционально-ориентированных модулей.

Процессорные (комплексные) АТ подразделяются на два основных типа. К первому типу относятся АТ, реализуемые на основе пакетных технологий ПО, на которых все моделируемые УЗ заданной номенклатуры проходят одинаковые стадии реализации, т.е. характеризуются одинаковым технологическим маршрутом обучения ЭВС применительно к возможным вариантам оснащения одного типа ВС. Их функционирование основывается на последовательном выполнении УЗ после окончания предыдущей задачи. Ко второму типу относятся АТ, реализация которых осуществляется исходя из принципа аппаратной архитектуры, на которых возможно последовательное и параллельное моделирование УЗ, когда маршруты обучения приемов выполнения УЗ содержат как совпадения, так и различающиеся участки с учетом занятости отдельных элементов программных средств и аппаратного оборудования появляется возможность организации одновременного выполнения ЭВС УЗ на нескольких типах ВС.

Многофункциональные АТ предназначены для обучения ЭВС решению различного функционального назначения УЗ в зависимости от решаемых группой ВС тех или иных УЗ. Переход от обучения решению одного типа УЗ к другому осуществляется за счет изменения технологических маршрутов и быстрой переналадки программных средств и аппаратного оборудования на другой технологический процесс. Другими словами, многофункциональный АТ реализует исходя из принципа открытой архитектуры такую технологическую схему, которая адаптивно при неизменном составе элементов программного и аппаратного обеспечения за счет изменения их функций и формирования новой структуры связей между ними может целенаправленно менять стратегию обучения [8, 9].

Исходя из этого комплекс программ вычислительно-моделирующего комплекса АТ должен обеспечивать программную реализацию моделей развития условий изменения информационно-целевой обстановки, динамические характеристики объектов, действий взаимодействующих сил и средств, а также моделей, описывающих деструктивные действия условного противника и т.д. Он строится исходя из принципа открытой архитектуры по функционально-модульному принципу в целях моделирования множества условий применения реальных пилотажно-навигационных

комплексов в штатном режиме и изменения их работы при различных режимах функционирования; контроля работы по отработке различных плановых заданий; выбора и реализации с помощью программных моделей штатных средств управления режимами работы; отслеживания работы обучаемых при действии в сложных ситуациях.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ АТМ

Постановка задачи разработки АТМ, облика (средств аппаратного и программного обеспечения (АПО), их характеристик и алгоритмов функционирования) для решения задач подготовки ЭВС различных типов ВС на основе различных форм технологических схем обучения формулируется следующим образом:

обосновать оптимальный вариант облика АТМ, обеспечивающий обучение ЭВС различных типов ВС решению множества $W_1, W_2, \dots, W_N$ типов N УЗ.

Для решения данной задачи представим, исходя из анализа типа, содержания и структуры множества УЗ, облик АТМ в виде многоцелевой иерархической системы (МИС), предназначенной для решения N количества определенных $W = \{W_l\}$, $l = \overline{1, N}$ задач обучения. Очевидно, что в различные дискретные моменты времени обучения ЭВС перед системой ставятся различные УЗ, поэтому предполагается, что важность целей, стоящих перед МИС, является не постоянной, а изменяется во времени. Для представления об их степени важности и приоритете рассмотрим функцию степени важности цели $\alpha(t_0)$, зависящую как от времени обучения ЭВС, так и от выполняемых подзадач при выполнении УЗ. В этом случае в каждый момент времени t_0 перед МИС возникает некоторое множество УЗ: $Z(t_0) = \{Z_l(t_0)\}$, $l = \overline{1, N}$, где $Z(t_0) = \alpha_l(t_0)\hat{W}_l$; $W_l \leq W$; $\alpha(t_0)$ – весовая функция УЗ, причем $\sum_{l=1}^N \alpha_l(t_0) = 1$, $\hat{W}_l$ – объем реализации АТМ l -го типа УЗ, $Z(t_0)$.

Для случая, когда перед МИС в момент времени t_0 стоит одна k -я УЗ, множество $Z(t_0)$ реализует только один процесс (элемент), так как $Z_l(t_0) = \alpha_l(t_0)\hat{W}_l$; $\alpha_n(t_0) = 1$, а $\alpha_i(t_0) = \emptyset$; $i = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, N$, то $Z(t_0) = \{Z_n(t_0)\} = \alpha_k(t_0)\hat{W}_k = \{\hat{W}_k\}$; $Z_k(t_0) \Leftrightarrow W_k$.

При разработке (модернизации устаревших типов АТ) АТМ на этапе концептуального синтеза, функции степени важности целей $\alpha_l(t)$, как правило, заданы нечетко и некорректно, сформулированы в общем виде и количественно не определены. Приняв их равными константе $\alpha_l(t) = \text{const}$ (например, для однопроцессорного случая $\text{const} = 1/N$), получим, что множество решаемых МИС $Z(t)$ УЗ эквивалентно множеству W поставленных целей.

Пусть $Y = \{Y_i\}$, $i = \overline{1, M}$ есть множество рассматриваемых стратегий разработки и реализующих их вариантов

построения (модернизации устаревших типов АТ) облика АТМ, относящихся по типу организации к одному из перечисленных их видов. Каждая стратегия Y_i представляет собой некоторую совокупность m -го числа элементов y_j^i , $j = \overline{1, m}$, т.е. $Y_i = F(y_j^i)$, где y_j^i – отдельный элемент ПО, аппаратного оборудования (АО), набор элементов (выполняющих определенную функцию), информационно-технологического процесса; F – некоторый закон формирования вариантов АТМ. Каждый из элементов $y_j^i \in Y_i$ реализует одну или несколько целей $W^i \in W$, $\bigcup_{j=1}^m W_j^i = W$.

Определим на множестве W целочисленную функцию управления распределением $E(W)$ ресурса средств АПО на начальном этапе исследований, пока неоднозначную, принимающую значения $1, 2, \dots, m$. Тогда каждому элементу y_j^i варианта информационно-технологической схемы АТМ ставится в соответствие его область Дирихле D_j из W , в точках которой функция управления $E(W)$ принимает значение, равное j : $D_j = \{W_i \in W \mid E(W_i) = j\}$, $j = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, M}$.

Очевидно, что при разработке (модернизации устаревших типов АТ) АТМ для любого варианта $Y_i \in Y$ ее построения (при однозначной $E(W)$) области Дирихле не пересекаются, а их объединение определяет множество реализуемых задач (целей) АТМ. Функция управления $E(W)$ характеризует гибкость разрабатываемого (модернизируемого устаревшего типа АТ) АТМ при переходе от решения одного типа УЗ к другому. При этом возможны два случая:

- а) переход от одного типа W_i к W_j в пределах множества W : $W_i \in W$ и $W_j \in W$;
- б) переход от типа $W_i \in W$ к $W_n \notin W$.

В общем случае функция управления $E(W)$ предназначена для распределения средств АПО при определенной очередности выполнения вышеприведенных УЗ (в общем случае представляется функцией переходов $\hat{E}(W)$) и управления общими программными и аппаратными ресурсами, или внешняя адаптивная гибкость (адаптация) информационно-технологического процесса реализации УЗ (она представляется функцией адаптации $\tilde{E}(W)$) при решении задач достижения выполнения учебного плана подготовки ЭВС.

Функция $\hat{E}(W)$, характеризуется возможностью перехода в рамках рассматриваемого облика АТМ к реализации очередной УЗ $W_i \in W$, определяет его внутреннюю гибкость, а функция $\tilde{E}(W)$, которая характеризует возможность достижения целей $W_n \notin W$, определяет адаптацию (внешнюю гибкость) на основе оптимального распределения общих ресурсов средств АПО.

Такой подход обеспечивает представление каждого элемента y_j^i разрабатываемого (модернизируемого устаревшего типа АТ) варианта облика АТМ в виде вектора $\{W, y_j^i, E(W)\}$. Для его решения определим векторные функ-

ционалы $q = q(W_i, y_j^i, M(D_j))$, $q = (q^1, q^2, \dots, q^S)$, значения которых характеризуются целью $W_i \in W$, элементом стратегии $Y_i \in Y$ и мерой $M(D_j)$ области Дирихле (W полагаются количественно измеримы) с элементом $W_i \in W$. Компоненты $q^1, q^2, \dots, q^S$ являются локальными показателями эффективности достижения цели W_i элементом y_j^i варианта $Y_i \in Y$ разрабатываемого (модернизируемого устаревшего типа АТ) облика АТМ. К их числу можно отнести вероятность выполнения обучаемым УЗ, стоимость элемента АО; эксплуатационные расходы на реализацию УЗ элементом y_j^i цели W_i ; коэффициент использования; приведенные затраты и т. д.

Предположим, что частные показатели эффективности рассматриваемого облика АТМ определены для любых $y_j^i \in Y_i$, $Y_i \in Y$, $j = \overline{1, m}$ и $M(D_j) \geq 0$, но в общем случае не для любых $W_i \in W$, так как элемент y_j^i облика Y_i АТМ не может реализовать все $W_i \in W$. Эта особенность учитывается при разработке МИС путем формирования областей определения $J(y_j)$, которые являются функцией соответствующих y_j^i .

Исходя из этого для обеспечения гарантирования реализации всех целей $W_i \in W$ при любом решении относительно облика АТМ, необходимо потребовать выполнения условия: $D_j \subset J(y_j)$ для $j = \overline{1, m}$; $i = \overline{1, M}$. Предположим, что существует правило, обеспечивающее вычисление вектора эффективности на основе объединения подмножеств W_k через значения показателей эффективности на этих множествах: $\hat{q} = \hat{q}(W_k, Y_p, E(W))$, $\hat{q} = (\hat{q}^1, \hat{q}^2, \dots, \hat{q}^S)$. Это обеспечивает задание вектора эффективности варианта информационно-технологического процесса: $Q = Q(W, Y, E(W))$, $Q = (Q^1, Q^2, \dots, Q^S)$, обеспечивающего формализацию задачи разработки (модернизации устаревших типов АТ) оптимального облика АТМ.

В качестве показателей эффективности Q^k , $k = \overline{1, S}$ облика АТМ возможно рассмотрение показателей оценки:

- выполнения основных УЗ определенной номенклатуры в требуемые временные интервалы;
- экономических затрат – расход материальных и энергетических ресурсов;
- надежности функционирования;
- адаптивности и гибкости решения АТМ новых УЗ и т.п.

В этих условиях решение задачи оптимальной разработки (модернизации устаревших типов АТ) облика АТМ заключается в выборе таких реализаций Y_i , для которых соответствующие им векторы эффективности $Q_i = (Q_i^1, Q_i^2, \dots, Q_i^S)$ образовывали множество Парето.

В общем случае формализованный подход к решению задачи разработки (модернизации устаревших типов АТ) об-

лика АТМ основывается на следующих вариантах поиска оптимального решения.

1. Задача оптимального распределения ресурса средств АПО $\bar{E}(W)$ при разработке (модернизации устаревших типов АТ) однопроцессорного облика АТМ состоит в нахождении оптимального количества УЗ обучения ЭВС применительно к одному типу ВС при заданных номенклатуре УЗ W и Y_k вариантах их реализации информационно-технологическим процессом (схемой) в виде:

$$Q = Q(W, Y_k, \bar{E}(W)) = \text{opt}\{Q(W, Y_k, E(W))\} \quad \text{для } \forall E(W). \quad (1)$$

2. Задача оптимизации стратегии разработки (модернизации устаревших типов АТ) многопроцессорного облика АТМ для определения оптимального облика $\bar{Y}$ и функции управления распределением $\bar{E}(W)$ АПО, т.е. такой организации программной и аппаратной реализации решения УЗ элементами АТМ, при котором вектор эффективности достигает своего оптимального значения при заданных номенклатуре УЗ W и множестве вариантов облика АТМ, состоящей из совокупности определенного числа элементов m программных и аппаратных средств, в виде:

$$j: D_j = \{W_l \in W \mid E(W_l) = j\}, \quad j = \overline{1, m}; \quad l = \overline{1, N} \quad \text{для } \forall E(W), \quad Y_i \text{ и } m = \text{const}. \quad (2)$$

3. Задача разработки (модернизации устаревших типов АТ) оптимального облика многофункционального АТМ основывается на определении оптимального варианта $\bar{Y}$ построения АТМ и функции управления распределением $\bar{E}(W)$ его ресурсов при заданном множестве вариантов облика АТМ и номенклатуре решаемых им УЗ в виде:

$$Q = Q(W, \bar{Y}, \bar{E}(W)) = \text{opt}\{Q(W, Y, E(W))\} \quad \text{для } \forall E(W) \text{ и } Y_i \in Y. \quad (3)$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ АТМ

Задача нахождения оптимального облика разрабатываемого (модернизации устаревших типов АТ) АТМ решается в несколько этапов.

На первом этапе осуществляется анализ исходного облика МИС в интересах упрощения поиска ее решения на основе логически связанных элементов АПО для достижения искомого результата. Если вектор эффективности, характеризующий ее, имеет лишь одну компоненту,

т.е. $S = 1$ и $Q = Q(W, Y, E(W)) = Q^1(W, Y, E(W))$, – рассматривается однопроцессорный АТМ. В этом случае облик МИС определяется количественно на основе методов скалярной оптимизации. Рассмотрение такой скалярной МИС, у которой множество состоит из одной цели $W = W_1$, а каждая рассматриваемая стратегия содержит лишь информационно-технологический процесс решения УЗ на одном типе ВС (т.е. $m = 1$), приводит к решению обычной задачи оптимизации известными методами.

Для других информационно-технологических схем АТМ рассматриваются все возможные альтернативные варианты построения его облика, отвечающие предъявляемым требованиям и представляющие собой некоторый граф вариантности. Задача принятия решений по определению облика АТМ заключается в выборе таких путей на графе, которые обеспечивали бы реализацию УЗ на основе целей W_i и оптимума вектора Q . В общем случае определение таких вариантов облика АТМ и выделение в них оптимальных по Парето осуществляются методами математического программирования с локальной оптимизацией частных задач. Окончательное решение о выборе оптимального облика АТМ на полученном множестве его вариантов принимает лицо, принимающее решение.

Решение задачи разработки (оптимизации) оптимального облика АТМ основывается на информационно-технологической схеме в виде определенной совокупности алгоритмических этапов исследований.

На первом этапе на основе планов подготовки ЭВС осуществляется выбор номенклатуры УЗ, включающей постановку, исходные данные, критерий эффективности ее решения и требования к ней (определяют, как правило, временные ограничения на ее решение), решение которой обеспечивает цели обучения ЭВС.

Второй этап исследований направлен на разработку обобщенной схемы плана работы по подготовке ЭВС исходя из определения концептуальной стратегии реализации сценария учебной деятельности.

Построение оценочной функции, по изменению которой обучаемые могут судить о правильности своих действий в процессе решения УЗ составляет основу третьего этапа исследований.

На четвертом этапе исследований проводится детализация плана решения УЗ с целью детального определения способов ее решения обучаемыми. Описание плана позволяет одновременно с детализацией учебной работы определить форму человеко-машинного интерфейса АТМ, основные его функции и состав элементов АПО.

На пятом этапе исследований на основе плана учебной деятельности и функциональной схемы АТМ осуществля-

ется разработка ПО с использованием специализированных инструментальных средств.

Разработка систем управления АТМ осуществляется на базе современных вычислительных систем, которые характеризуются близостью (похожестью) пультов и органов управления вычислительной техникой общепромышленного исполнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные принципы и методические подходы синтеза АТМ обеспечивают реализацию оптимальных способов совместного и координированного управления (распределения) ресурсом средств АПО для реализации

расширяющегося множества различной структурной сложности УЗ, решаемых последовательно и/или параллельно различным составом ЭВС для различных условий формируемых типовых учебных ситуаций. Они позволяют провести обоснование требований к системе управления АТМ, количественно-качественный анализ и разработку предложений по разработке гибких информационно-технологических схем в реальном масштабе времени с учетом изменяющейся номенклатуры УЗ, уровня подготовки ЭВС, а также обеспеченности необходимой априорной и текущей информацией.

Список использованных источников и литературы

1. Causes of Fatal Accidents by Decade (percentage). PlaneCrashInfo.com. – 01.01.2010. (архивировано 11.02.2013).
2. Абасова А.В. Анализ статистических данных крушений воздушных судов за 2021 год // Молодой ученый. 2022. № 42 (437). С. 63–64.
3. Новокрещенов А.В. Современное состояние и перспективы развития тренажерной подготовки в авиационных вузах // Журнал педагогических исследований. 2021. Т. 6, № 3. С. 57–62.
4. Мистров Л.Е. Метод синтеза функционального облика авиационных многофункциональных тренажеров / Л.Е. Мистров, Е.М. Шеповалов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 2 (54). С. 47–57.
5. ICAO Doc 9625 VOLUME I-2015 Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices – Volume I – Aeroplanes // Руководство по критериям для квалификации устройств обучения полетному моделированию. – Т. 1 – Самолеты / Международный (зарубежный) стандарт. – ICAO. – 01.01.2015.
6. Бюшгенс А.Г. Российский тренажёрный рынок на пути к мировым стандартам // Агентство АвиаПорт. – 20.01.2012 (архивировано 18.06.2012).
7. Салаватов Т.Х. Сборник «Проблемы безопасности полетов» // ВИНИТИ, 2005. № 4. С. 25–33.
8. Мистров Л.Е. Метод синтеза авиационных многофункциональных тренажеров // Научные технологии. 2021. № 6. С. 5–18.
9. Мистров Л.Е. Основные положения метода обоснования требований к многофункциональным информационным тренажерам // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 1(76). С. 51–62.

PRINCIPLES AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO SYNTHESIS AVIATION MULTIFUNCTIONAL SIMULATORS

Mistrov L.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the VUNTS Air Force “Air Force Academy named after. prof. NOT. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» (Voronezh), Central branch of «RGUP named after V.M. Lebedeva” (Voronezh)

Kuchevsky K.V., head of the training complex of the VUNTS VVS “VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”, (Voronezh)

A conceptual analysis of the conditions and emergency situations that arise during the operation of aircraft is carried out and it is shown that their main cause is the human factor, and one of the current directions for reducing them is the use of aviation simulators (AS) for training aircraft crews (AC). It is proposed to modernize the outdated fleet of procedural, tac-

tical and complex ASs, based on the possibility of them providing solutions to the AC of private training tasks (PTT) and a justified transition to the synthesis of multifunctional simulators (SMS). A special feature of the SMS is the solution of the expanding set of problems facing the AC, which are solved simultaneously and/or in parallel by different crew members. A physical and mathematical formulation of the solution to the problem of synthesizing the structural and functional appearance of SMS is given based on the optimal distribution of the resource of hardware and software (HW) as a function of the expanding range of TT. It is shown that the basis for solving optimization problems of HW resource distribution is a formalized representation of AMS in the form of a multi-purpose hierarchical system and the development of a mathematical model for the optimal distribution of hardware and software resources, providing a solution to a certain number, type and structural complexity of the management system. A strategy for building an SMS is proposed, which, in conditions of uncertainty of the TT to be solved, is based on the principle of an open architecture by distributing HW modules to solve different priority tasks. The introduction of an integer SMS control function made it possible to formalize the process of distributing heterogeneous HW resources, thereby providing the possibility of transitioning the AMS to a consistent TT solution. This ensured the representation of each variant of the SMS appearance in the form of a vector of quality (efficiency) indicators, resource and management strategies. Assuming the certainty of private SMS quality indicators, the area of certainty is determined as a function of the optimal resource of HW tools. To solve the above optimization problems, a technological research scheme has been proposed that provides an algorithmic implementation of the process of synthesis (modernization of outdated AS) of the appearance of the SMS.

Keywords: aircraft, aircraft crew, training task, flight simulator, multifunctional flight simulator, hardware and software, optimization.

For citation: Mistrov L.E., Kuchevsky K.V. Principles and methodological approaches to synthesis aviation multifunctional simulators. *Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation*. 2025; 2(83): 33–43. (In Russ.)

References

1. Causes of Fatal Accidents by Decade (percentage). PlaneCrashInfo.com. – 01.1./2010 (Archived 02.11.2013).
2. Abasova A.V. Analysis of statistical data on aircraft crashes for 2021 / A.V. Abasova. – Text: immediate. *Young scientist*, 2022, no. 42 (437), pp. 63–64.
3. Novokreshchenov A.V. Current state and prospects for the development of simulator training in aviation universities. *Journal of Pedagogical Research*, 2021, vol. 6, no. 3, pp. 57–62.
4. Mistrov L.E., Shepvalov E.M. Method of synthesis of the functional appearance of aviation multifunctional simulators. *Information and economic aspects of standardization and technical regulation*, 2020, no. 2 (54), pp. 47–57.
5. ICAO Doc 9625 VOLUME I-2015 Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices – Volume I. Aeroplanes. Manual of criteria for the qualification of flight simulation training devices. Vol. 1. Aircraft. International (foreign) standard: ICAO. 01.1.2015.
6. Byushgens A.G. Russian training market on the way to world standards. AviaPort Agency. 01.20.2012 (Archived 06.18.2012).
7. Salavatov T.H. Collection “Problems of Flight Safety. VINITI, 2005, no. 4, pp. 25–33.
8. Mistrov L.E. Method of synthesis of aviation multifunctional simulators. *Science-intensive technologies*, 2021, no. 6, pp. 5–18.
9. Mistrov L.E. Osnovnye polozheniya metoda obosnovaniya trebovaniy k mnogofunkcional'nym informacionnym trenazheram. *Information and economic aspects of standardization and technical regulation*, 2024, no. 1(76), pp. 51–62.