

При использовании материалов статьи необходимо использовать данную ссылку:

Шеповалов Е.М. Технологическая схема структурно-функционального анализа авиационных многофункциональных тренажеров // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 4. (56). С. 53-63

УДК 004.056

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА АВИАЦИОННЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Шеповалов Е.М.

Предлагается технологическая схема анализа авиационных многофункциональных тренажеров (АМТ) для подготовки экипажей воздушных судов в виде логически обоснованной последовательности выполнения операций. Обосновывается концептуальная модель анализа АМТ в виде объединенной единством цели иерархической системы методов, моделей и методик исследования его облика по информационным, информационно-системным и системным показателям эффективности. Приводится декомпозиция описательной модели применения АМТ на иерархическую систему элементарных, простых, сложных и целевой ситуаций, вытекающих из результатов структуризации выполнения им определенного множества учебных задач и связанных с выполнением тренажером элементарных технологических операций, отдельных, совокупности и системы программных компонент при модельном представлении элементарных фрагментов подзадач, подзадач, одной и системы учебных задач, соответственно. Основу реализации технологической схемы структурно-функционального анализа АМТ составляют положения теорий анализа сложных систем, принятия решений, распределения ресурса, оптимизации, иерархической декомпозиции, графов, методы Парето, дерева целей, логико-эвристические и экспертные методы и аналитические расчеты.

Ключевые слова: авиационный многофункциональный тренажер, структурно-функциональный облик, учебная задача, технологическая схема анализа, концептуальная модель, элементарная технологическая операция, программная компонента, информационный, информационно-системный и системный показатели эффективности, критерий эффективности, моделирование.

Общие положения

1 Современный уровень развития образовательной среды, компьютерной техники и информационных технологий позволяет моделировать практически любой вид деятельности человека, связанный с обработкой информации на основе разработки различного типа информационных систем (ИС), к которым можно отнести и авиационные многофункциональные тренажеры (АМТ) [1, 2]. Под понятие АМТ попадает широкий круг ИС, предназначенных для реализации задач планирования и управления ресурсом аппаратных и программных средств (АПС) при решении учебных задач (УЗ) подготовки экипажей воздушных судов (ВС). Они характеризуются наличием большого количества технологических операций по анализу и обработке информации, многообразием типов

АПС, множеством вариантов их использования и специфичностью условий протекания информационных процессов при решении АМТ учебных задач. Основу их разработки составляет задача принятия оптимальных решений по многокритериальному обоснованию облика (состава, порядка функционирования и технических характеристик) АМТ, возникающая в интересах: а) модернизации и реконфигурации морально устаревших авиационных тренажеров (АТ) при их использовании в структуре АМТ для выполнения УЗ; б) анализа и согласования иерархической системы показателей эффективности АМТ на определенном множестве УЗ для формирования «индивидуального» вектора критериев эффективности решения каждой УЗ; в)

Шеповалов Евгений Михайлович ВУНЦ ВВС "Военно-воздушная академия", начальник летного тренажера
г. Воронеж

преодоления «проклятой» размерности задачи, обусловленной: разноплановостью УЗ; циркуляцией в контурах принятия решений при моделировании УЗ разнородной качественно-количественной информации; сетевой структурой технологических процессов, состоящих в наличии множества элементарных технологических операций (ЭТО) и технологических циклов их анализа, распознавания, сборки, повторения и разветвления при формировании программных компонент (ПК) в характерных узлах маршрутов полета ВС в интересах решения каждой уникальной в своем роде УЗ; оптимального распределения ресурса применяемых АПС, а также различного типа технологических потерь при переходе от одной операции к другой в процессе функционирования [2, 3]. Основу ее решения составляет задача анализа облика АМТ, которая, с одной стороны, позволяла бы с инвариантных позиций решать эту задачу независимо от типа и эффективности АПС устаревших АТ, а с другой – обеспечила возможность их модернизации (реконфигурации) для решения УЗ в структуре АМТ. Наиболее экономичным путем создания АМТ является совершенствование интеграционных процессов за счет разработки и оптимизации аппаратно-программного обеспечения (АПО) с учетом возможности использования (модернизации) устаревшего аппаратного оборудования.

В общем случае, под АМТ понимается совокупность объединенных единством цели обучения элементов управления, информационного обеспечения и исполнения (на основе АПС), предназначенных моделирования (решения) определенного множества УЗ. Основу облика АМТ составляют допустимые варианты требований по составу и структуре, порядку функционирования и основным техническим характеристикам, определяющих его эффективность применения. Допустимость вариантов облика АМТ характеризуется условиями, ограничивающими их реализацию при формировании технического задания на создание и применение. Такими ограничивающими условиями являются стоимостные, энергетические, вычислительные, технологические и эксплуатационные ресурсы, выделяемые на создание АПС и пространственно-временные ограничения на применение (реализацию основного предназначения) АМТ.

Разнообразие и сложность моделей построения АМТ, множество процедур, операций и приемов, используемых при разработке общей и частных моделей АМТ, широкое использование методов и моделей

анализа облика предопределили актуальность построения согласованной по показателям эффективности АМТ логически обобщенной последовательности проведения исследований. Это предопределило цель и содержание статьи, направленной на разработку технологической схемы структурно-функционального анализа АМТ для решения УЗ в интересах подготовки экипажей ВС.

2. Концептуальная модель структурно-функционального анализа облика АМТ

Обоснование необходимости разработки АМТ начинается с формирования его структурно-функционального облика – совокупности взаимосвязанных, взаимообусловленных и взаимосогласованных функций, посредством которых достигается решение заданной номенклатуры (типа и количества) УЗ по подготовке экипажей ВС. Исследования по формированию функций облика АМТ определяют структурно-функциональным анализом, цель которого состоит в раскрытии его строения, поскольку функции определяются структурой (совокупностью и взаимосвязями) используемых программных и аппаратных средств.

Задача структурно-функционального анализа облика АМТ в содержательном смысле может быть сформулирована в следующих понятиях. Пусть определена цель создания АМТ и условия (ограничения), применительно к которым он будет создаваться и применяться. Требуется определить такую совокупность функций АМТ, различного типа и взаимосвязей программных и аппаратных средств и порядок их функционирования, которые обеспечивают достижение цели решения не менее определенного числа УЗ.

Основу анализа АМТ составляет в соответствии с [3] исследование типа и состава программных средств, функций управления (F_y) и переходов (F_n) при решении i -ых УЗ. Функция управления F_y осуществляет централизованное распределение ресурса программных средств при управлении очередностью выполнения УЗ или управление внешней гибкостью (адаптацией) технологической схемы АМТ за счет оптимального распределения ресурса программных средств. Функция переходов F_n осуществляет управление очередностью и оптимизацией ЭТО и ПК при выполнении каждой i -ой УЗ или управление внутренней гибкостью АМТ. Определение функций начинается с этапа структурно-функционального анализа АМТ на

основе формирования состава АПС и установления между ними внутрисистемных связей по управлению, информационному обеспечению и исполнению при решении УЗ.

В общем случае, задача анализа облика АМТ представляется задачей исследования расходов на разработку облика (типа и S взаимосвязей программных средств) V^* и F_y , F_n функций управления ресурсом R программных средств, т.е. такой организации его программной реализации в предположении определенной конфигурации аппаратных средств, которая обеспечивает решения заданной W номенклатуры УЗ на множестве U условий применения и в общем виде представляется зависимостью:

$$V^{D*} = \text{Arg } C(V^D, R, S, F_y, F_n, U), \quad (1)$$

$$\{V^D\}_D = \{V^D : V^D \in V = (V^D, F_y, F_n),$$

$$, R(V^D, U) \subseteq R, S = S^* = \text{const}\},$$

где C – функция затрат на реализацию структурно-функционального облика АМТ в интересах обеспечения решения применения W УЗ в заданных условиях U образовательной среды; V^D – множество параметров, характеризующих структурно-функциональный облик (состав и взаимосвязи) АМТ; $\{V^D\}_D$ – множество допустимых вариантов структурно-функционального облика АМТ; F_y, F_n – множества параметров, описывающие стратегии действий АМТ при решении W множества и одной УЗ, соответственно; $W(V, U)$ – показатель эффективности применения АМТ; $R(V^D, U)$ – ресурс программных средств, необходимый для реализации структурно-функционального облика V^D АМТ при решении УЗ в условиях U .

Строго математически получить решение задачи (1) практически невозможно вследствие её большой размерности, сложной взаимосвязи переменных в функциональных зависимостях и наличия ряда неопределенных факторов, многие из которых носят стохастический характер. Такая ситуация вполне естественна для стадии анализа любой сложности системы. Основным методом решения задачи структурно-функционального анализа облика АМТ является её декомпозиция на систему частных задач. Иерархическая декомпозиция обеспечивает возможность разделения задачи анализа АМТ на основе

принципа “целое-часть”, а также реализацию принципов “права вмешательства верхнего уровня” и “зависимости верхнего уровня от нижних уровней” [3]. С использованием принципа “целое – часть” общая задача анализа АМТ представляется в виде системы взаимосвязанных общей и частных задач анализа, совместное решение которых является одновременно решением общей задачи. “Право вмешательства верхнего уровня” реализуется путем определения на верхнем уровне анализа АМТ для задач нижних уровней иерархии соответствующих целей, ресурса программных средств, ограничений и условий применения. “Зависимость верхнего уровня от нижних уровней” реализуется путем передачи на верхний уровень иерархии задачи анализа АМТ результатов решений задач нижних уровней и предложений по корректировке целей, ресурса программных средств, ограничений и условий, определяемых верхним уровнем для задач нижних уровней, поскольку реальными физическими переменными управляет нижний уровень, а верхний – согласовывает обобщенные параметры.

Моделирование задачи анализа АМТ исходит из необходимости решения им определенного множества УЗ и обеспечения реализации функций работы обслуживающих сотрудников. То есть АМТ предназначен для автоматизации всех функций целевого применения и охватывает весь функциональный спектр деятельности всех сотрудников на жизненном цикле решения УЗ. Это позволяет анализ АМТ рассматривать как процесс исследования функций целевого применения на определенном множестве подлежащих решению УЗ в форме оптимально-временного распределения ресурса АПС. Он предполагает установление причинно-следственных взаимосвязей (отношений) между ресурсом АПС, в том числе динамики таких взаимосвязей (временного ресурса) на основе реализации определенной системы функций, процедур и операций.

Основу анализа АМТ составляет решение задачи исследования характеристик его облика через формирование системы целей в форме целенаправленной деятельности, тесно связанных с процессом принятия решений. Вследствие возможности представления АМТ через систему типа «вход-выход» в виде тех или иных решающих правил, то цель его анализа может быть определена через систему решаемых задач, поэтому считается цель достигнутой, если найдено решение соответствующих задач. То есть из соотношения

между целями и решениями задач следует, что процесс последовательной детализации задачи анализа АМТ представляется деревом декомпозиции цели его исследований.

Специалисты анализа ИС, АМТ в частности, оперируют своим набором понятий и имеют собственное представление о его предметной области и связанных с ней задачах. На основе этих представлений у них формируется некая система видения – ментальная модель анализа АМТ в виде иерархической системы простых для понимания и решения задач. Средством для формализации ментальных моделей и их представления служит концептуальная модель анализа. В ходе ее построения осуществляется переход от описательного представления знаний и данных к их формальному представлению на декларативном языке, допускающем единственную интерпретацию.

Концептуальная модель описывает в декларативной форме множество действий, которые покрывают цель анализа АМТ и практически характеризуется анализом корректности описания его модели применения по решению определенного множества УЗ. Это следует из иерархического построения АМТ в виде управляющей, информационно-обеспечивающих и исполнительных (на основе АПС) подсистем, обеспечивающих решение некоторых функциональных задач его целевой задачи. Действия по решению некоторой задачи АМТ в концептуальной модели анализа декларируется как процесс. Если в модели АМТ обеспечено корректное описание процессов на любом уровне иерархии, то концептуальная модель обеспечит корректное декларативное описание действий по решению всех его функциональных задач, обеспечивающих достижение требуемого результата целевой задачи.

Когда определена цель анализа АМТ, то его концептуальная модель формируется в процессе последовательной декомпозиции целевой задачи на более простые задачи, представляемые в виде графа. Терминальные вершины графа образуют множество примитивов концептуальной модели на нижних уровнях которой формируется множество неделимых в пределах данной модели задач. Глубина декомпозиции цели анализа АМТ определяется по одному из критериев:

для задач, полученных в ходе декомпозиции, существует известный метод и средства их решения;

при дальнейшей декомпозиции задача теряет возможность интерпретации в рамках

рассматриваемой предметной области.

В результате декомпозиции цели АМТ формируется множество относительно простых задач, находящихся в транзитивных иерархических отношениях типа «композиция» или «классификация» с целевой задачей. Исходя из этого, концептуальная модель АМТ реализуется в виде одного или нескольких взаимосвязанных древовидных графов, представляющих состав и структуру образующих его АПС. Каждой вершине графа АМТ приписывается некоторый набор атрибутов, обеспечивающих его идентификацию и характеризующих индивидуальные свойства АПС.

Основу концептуальной модели составляет установление отношений по управлению, информационному обеспечению, взаимодействию и следованию между подсистемами и АПС. В отличие от отношений управления и взаимодействия процессов и данных, отношения следования задают частичный порядок выполнения процессов. Для отношений следования так же, как и для отношений управления и взаимодействия, введено обобщенное отношение – транзитивное следование: процесс А следует за процессом Б, если для них непосредственно задано отношение следования, либо между этими процессами существует цепочка процессов, связанных отношениями следования. Отношение автоматически распространяется на все подчиненные процессы: отношения следования не могут связывать процессы, подчиненные друг другу отношениями иерархии; отношения следования не могут задаваться перекрестно для различных иерархических уровней и противоречить друг другу [4].

Построение концептуальной модели АМТ считается завершенным, когда определены все компоненты его структуры, декларированные в схеме концептуальной модели анализа, и их атрибуты. При этом должна быть получена формальная модель, адекватная представлению об облике АМТ и отражающая информационный контекст, на фоне которого реализуется информационный процесс обучения экипажей ВС решению УЗ. Модель подвергается формальному анализу дня проверки целостности, включающей исследование полноты (наличие всех элементов и связей, необходимых для эксплуатации модели), связности (отсутствие элементов, структурно не относящихся к цели) и корректности (логическая непротиворечивость).

Концептуальная модель анализа, описывая структуру предметной области АМТ, не

накладывает существенных ограничений на выбор методов и средств проведения исследований. Это позволяет для обработки данных, представленных в концептуальной модели, использовать различные методы моделирования: аналитические, статистические, логические и имитационные.

Учитывая, что анализ АМТ главным образом связан со структурно-функциональным исследованием его предметной области, осуществим анализ существующих подходов к его моделированию. В литературе встречаются различные подходы к построению концептуальных моделей анализа ИС, АМТ в конкретном случае. Все эти подходы отражают, как правило, одну определяющую из многих отличительных особенностей построения и применения ИС, которая в свою очередь служит методологической основой моделирования функциональных процессов на основе моделей, ориентированных на процесс и результат [5]. В моделях, ориентированных на процесс, анализ АМТ основывается на выполнении тех или иных функций (процедур, операций), определенных его целевым назначением в предположении определенных цели и структуры АМТ. Модели, ориентированные на получение результатов, отражающих эффективность достижения целей его функционирования, являются наиболее обобщенным представлением АМТ и включают в себя модели, ориентированные на процесс, как частный случай.

Модели АМТ, ориентированные на результат, составляют основу анализа его облика в виде концентрированного выражения информации, представлений и гипотез в виде математических соотношений. Для их построения привлекается все многообразие средств формального математического аппарата – алгебры, геометрии, теории дифференциального и интегрального исчисления, теории вероятностей и математической статистики, теории графов, оптимального распределения ресурса, управления и т.д. Формальные модели анализа АМТ – это основной инструмент, позволяющий оценить его эффективность по количественным показателям качества (эффективности). Основу их составляет представление моделей в аналитической форме, обеспечивающих явное выражение выходных параметров АМТ как функции входов и переменных состояния при моделировании функционального, структурного и параметрических аспектов [6]. При этом их основу составляют: аналитические методы для установления явных зависимостей, связывающих искомые характеристики с начальными

условиями, параметрами и переменными состояния АМТ; численные методы для получения результатов при конкретных начальных данных не имея математического аппарата решения уравнений в общем виде; качественные методы на основе методов мозговой атаки, сценариев, экспертных оценок, дерева целей и морфологических методов для нахождения некоторых результатов решений, не имея их в явном виде. Основными моделями, адекватно отражающими подходы к анализу АМТ являются модели логико-эвристического моделирования, модели на основе методов теорий принятия решений, оптимального распределения ресурсов и модели на основе методов математического моделирования.

При логико-эвристическом моделировании проводится анализ целей разработки АМТ на основе изучения опыта разработки находящихся в эксплуатации АТ в предположении учета причин успеха и неудач, равно как и предпринимавшихся попытках создания конкретных АМТ – это позволяет применять эффективные методы для анализа АМТ, моделируя конкретные случаи, делая определенные выводы и обобщения, используемые в качестве руководящих принципов и методических основ их построения.

Для моделей анализа АМТ на основе методов теории принятия решений характерно детализация процесса анализа на совокупность частных моделей и интеграции получаемых результатов в общей модели принятия решений на основе решения задач оптимального распределения ресурса АПС. Исходя из этого, при анализе АМТ системообразующим звеном моделирования является общая модель принятия решений, а все остальные частные модели обеспечивают ее применение на основе моделирования информационных и / или информационно-системных показателей эффективности.

Моделирование АМТ на основе методов математического моделирования базируется на предположении, что поскольку его анализ представляет собой некий логический процесс, то он может быть выражен математическими зависимостями в виде системы математических моделей и процессов. Это позволяет разработать концептуальную модель с помощью которой задачу анализа АМТ можно выразить в виде основных взаимосвязей (отношений) и определенных целей.

Моделирование же АМТ, направленное на процесс обучения, обуславливает необходимость разработки моделей, ориентированных на операциональный учет поведения отдельных обучаемых, а соответствующая технология

исследований является инструментарием по результатам.

Модели, ориентированные на поведение отдельных обучаемых, основываются на положении о том, что поскольку существо обучения заключается в выполнении каких-либо действий обучаемыми в процессе выполнения УЗ, то алгоритмы функционирования АМТ должны базироваться на учете человеческого фактора и принципах моделирования, учитывающих совместную работу обучаемых для достижения тех или иных, в том числе и групповых целей.

Модели операционного моделирования исходя из целей ЛПР позволяют систематизировать подлежащие выполнению УЗ на основе системного сопоставления с функциональной деятельностью обучаемых. При этом объединяются все методические подходы, используемые для моделирования АМТ, которые могут принести им наибольшую пользу в физичности сущности понимания решаемых задач. То есть такие модели рассматриваются как средство организации знаний и опыта ЛПР в интересах улучшения практики обучения с помощью исследований, эмпирической проверки принципов и методов.

Специфика предметной области АМТ состоит в самом моделировании его как уникального объекта исследований, учета в этом описании не только его специфической структуры и особенностей функционирования, но и поведения обучаемых при выборе методов принятия решений и возможностей его развития (модернизации) во времени. При этом необходимо применение такого методического подхода, который на едином языке давал бы возможность описывать его как объект санализа в динамике функционирования с учетом адаптивных процедур управления им. Именно таким подходом и является смешанное аналитико-имитационное моделирование.

В общем случае, при формальном представлении концептуальной модели решение задачи анализа АМТ может быть получено на основе формализованного описания последовательности происходящих процессов и явлений. При этом различают два типа математических моделей, описывающих функционирование АМТ. Первый тип моделей носит событийный характер – ему соответствует такая схема моделирования, при которой на рассматриваемом временном отрезке отмечаются непосредственно только моменты начала и окончания моделируемых процессов. Согласно второму типу моделей, данный временной отрезок делится на определенные интервалы,

каждый из которых подвергается рассмотрению независимо от того, происходят ли в нем исследуемые процессы или нет, то есть для такого типа моделей характерен пошаговый характер.

В [7] рассматриваются модели анализа систем на основе которых возможно проводить имитацию функционирования АМТ событийным или пошаговым способом. Это – системы, построенные на основе методов теорий принятия решений, оптимального распределения ресурсов, графов, экспертных оценок, методов Марковских и полумарковских процессов, динамического программирования и т.д. Как и в задачах статической оптимизации, все эти модели ориентированы на использование различного типа автоматизированных процедур, позволяющих реализовывать сложные задачи аналитико-имитационного моделирования. В зависимости от типа исследуемого процесса (дискретный, непрерывный) и целей моделирования выбираются те или иные модели, описывающие функционирование АМТ. Анализ особенностей применения АМТ [1, 2] обусловил отказ от линейно-статистических моделей операций и замену их динамическими моделями, учитывающими интегральные эффекты в результате его применения. При этом для элементов АМТ, функционирование которых описывается дифференциальными уравнениями, наиболее практичными имитационными моделями являются модели системной динамики. Для процессов, характеризующихся большим многообразием предваряющих события условий, а также действием сложной и запутанной системы причин и следствий, наиболее предпочтительны модели на методов оптимального распределения ресурсов и динамического программирования. В более простых случаях, когда условия наступления следующего события определяются только выполнением всех предшествующих ему событий в сети, можно воспользоваться моделями на основе теории графов, Марковских и полумарковских процессов и динамического программирования. В этом состоят отличительные особенности моделей исследования АМТ, существом реализации которых является частичная модификация известных и широко используемых принципов, методов, моделей и методик, основными положениями которых являются исследуемые принципы декомпозиции и логического описания функциональных процессов.

Концептуальный анализ различных подходов к моделированию облика АМТ показывает, что разработка его концептуальной

модели анализа должна базироваться на организационном, функциональном, структурном и параметрическом аспектах [6], которые на практике достаточно проблематично абсолютно разделить, т.к. они взаимно обуславливают друг друга и имеют множество содержательных пересечений, но с точки зрения формирования концептуальной модели АМТ имеет смысл рассмотреть их до некоторой степени автономно. То есть, для моделирования АМТ применяется система методов, основанная на выделении функций управления, информационного обеспечения и исполнения, их анализа, формулировки принципов, методов, моделей и алгоритмов исследования функциональных процессов. Основу системы моделей составляет концептуальная модель анализа АМТ, предназначенная для исследования процесса его анализа (инвариантная для оценки эффективности АПС) на основе иерархически взаимосвязанных системных, информационно-системных и информационных показателей эффективности. Она с одной стороны является инструментом для проведения структурно-функционального анализа его облика, а с другой стороны, будучи абстрактным и предустановленным, позволяет устанавливать закономерности изучаемых процессов и явлений и, тем самым, обеспечивать наилучшие условия их реализации. Ее построение позволяет осуществить преобразование информации, составляющей основу анализа текущего состояния АМТ и траектории ее изменения в результате применения тех или иных действий при решении УЗ.

3. Основные положения технологической схемы анализа АМТ

Эффект применения АМТ основывается на результатах обучения экипажей ВС принятию в минимальные (определенные) сроки обоснованных решений по выполнению УЗ. Структурно АМТ представляет четырехуровневую иерархическую систему: уровень ЭТО – для представления элементарных действий для формализованного описания элементарных фрагментов УЗ; уровень ПК – для формирования программных компонент на основе определенной совокупности ЭТО в интересах модельного представления выполняемых учебных подзадач ВС при выполнении полетного задания; уровень системы ПК – для модельного представления

решения одной УЗ и уровень АМТ – для решения определенного множества УЗ [3].

Сложность рассматриваемых вопросов, с одной стороны, и необходимость оценки влияния на эффективность АМТ различных вариантов состава, отдельных характеристик и порядка функционирования применения АПС, то есть необходимость детального анализа, с другой стороны, предопределили применение на этапах анализа иерархической структуры методов и моделей математического моделирования в качестве основного аппарата исследований. В соответствии с [8] структура методов исследования эффективности АМТ включает четыре иерархических уровня исследований:

отдельных ЭТО по информационным показателям при формировании ПК на основе аддитивной смеси параметров ЭФ УЗ;

отдельных ПК по информационным показателям при моделировании учебных подзадач в узловых точках выполнения полетного задания ВС на основе конъюнктивной свертки определенных функциональных групп ЭТО;

системы ПК по информационно-системным показателям при моделировании каждой специфической УЗ на основе конъюнктивной свертки определенных функциональных групп ПК учебных подзадач;

АМТ по системным показателям эффективности при комплексном решении определенного множества УЗ на основе аддитивной смеси конъюнктивной свертки ПК отдельных УЗ.

Технологическая схема анализа облика АМТ представляет поступательный процесс принятия решений в виде формализованных процедур (см. рисунок 1), позволяющий создать конструктивные математические модели и методики оценки решения УЗ и включает последовательное поэтапное решение следующих основных задач.

На первом этапе анализа (обоснования объективного противоречия) осуществляется формулировка цели анализа АМТ на основе исследования возможностей выполнения существующими АТ определенного множества УЗ и выделения проблемной ситуации, обеспечивающих формулировку физической постановки задачи.

Второй этап анализа основной, ориентирован на разработку методического аппарата.

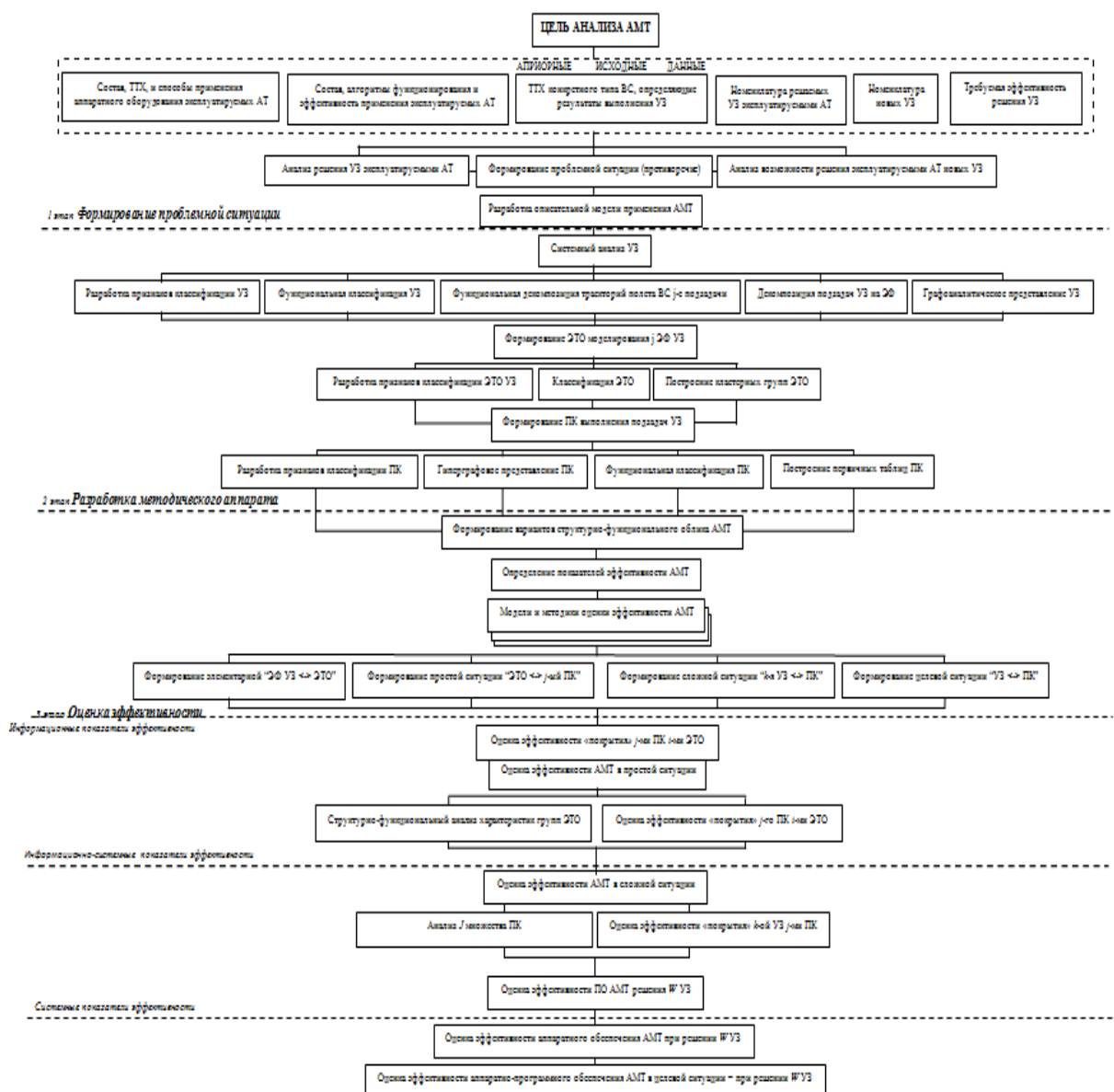


Рисунок 1. Технологическая схема анализа структурно-функционального облика АМТ

1. Проведение системного анализа множества УЗ, подлежащих решению АМТ применительно к конкретным типам и вариантам оснащения ВС на основе совокупности функций, процедур и операций, направленных:

- на осуществление функциональной классификации УЗ на множестве признаков распознавания;
- проведение детализации УЗ на взаимосвязанную систему учебных подзадач, вытекающих из основных способов выполнения ВС полетных заданий;
- структурную декомпозицию учебных подзадач на систему элементарных фрагментов (ЭФ) – параметров, характеризующих приемы выполнения ВС того или иного способа;
- формализованное представление УЗ в графоаналитическом виде.

2. На основе декомпозиции учебных подзадач на совокупность ЭФ осуществляется [8]:

- структурное группирование ЭФ в виде некоторого конечного кластерного множества, подлежащих выполнению средствами ПО;
- классификации ЭФ на характерные функциональные группы на множестве признаков распознавания;
- системное покрытие ЭФ совокупностью ЭТО с проверкой полноты и логической непротиворечивости. При этом под ЭТО понимается некоторая минимальная аддитивная порция данных, содержащая необходимую информацию о параметрах ЭФ и достаточная для реализации операций их моделирования.

3. Классификация и формирование множества ЭТО выполнения УЗ обеспечивает непосредственный переход к формированию средств программного обеспечения,

представляемых в виде ПК и являющихся программными эквивалентами соответствующих учебных подзадач. ПК представляет элементарный информационный поток данных на основе конъюнктивной свертки функциональных групп УЗ, достаточный для моделирования характеристик подзадач, выполняемых ВС в рассматриваемой точке полетного задания. Для проверки полноты и их непротиворечивости на основе системного покрытия учебных подзадач осуществляется выделение структурно-функциональных признаков классификации и проведение классификации ПК на функциональные группы с формализованным описанием их модельного представления.

4. Решение всех приведенных операций обеспечивает переход к формированию описательной модели применения АМТ в виде системного представления отношений декомпозированных УЗ с соответствующими элементами АМТ на уровнях: элементарной ситуации типа “ u -ый фрагмент УЗ $\Leftrightarrow i$ -ая ЭТО”; простой ситуации типа “совокупность i -го ЭТО $\Leftrightarrow j$ -ый ПК”; сложной ситуации “совокупность j -го типа ПК $\Leftrightarrow k$ -ая подзадача УЗ” и целевой ситуации “система j -го ПК k -ых подзадач УЗ \Leftrightarrow множество УЗ”. Это обеспечивает адаптацию АМТ к решению множества, в том числе, и вновь появляющихся УЗ, и внутрисистемную (переходную в рамках одной УЗ) оптимизацию всех АПС для решения каждой УЗ.

5. Обоснование системы показателей эффективности АМТ, вытекающих из иерархического представления описательной модели применения и раскрывающих целевое предназначение его структурных элементов.

6. Генерация и определение по периодам разработки АПС вариантов облика АМТ, концептуально вытекающих из цели его синтеза с учетом достижимого уровня технических характеристик и множества различного типа ограничений допустимых вариантов облика АМТ, конкурирующих по ожидаемой эффективности.

7. Разработка иерархической системы математических моделей и методик оценки качества (эффективности) вариантов АМТ как функции набора варьируемых параметров и ограничений, составляющих структурно-параметрическую модель его анализа, результаты применения которой составляют основу выбора его оптимального варианта.

8. Формализация задачи анализа, то есть получение строгой математической формулировки, обеспечивающей формирование области поиска решения и формализацию системы предпочтений и принципов

оптимальности при оценке эффективности АМТ, позволяющих приблизиться к принципам оптимальности Заказчика на его разработку.

На третьем этапе осуществляется оценка качества (эффективности) вариантов облика АМТ на уровнях типовых элементарных, простых, сложных и целевых ситуаций, ранжирование результатов вычислений и разработка предложений для выбора его предпочтительных вариантов.

В заключение следует отметить, что предложенная технологическая схема анализа АМТ обеспечивают проведение исследование основных технических характеристик его облика для обеспечения решения определенного множества УЗ применительно к конкретному типу ВС и вариантам его оснащения. **iea**

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М. Особенности обоснования решений по разработке авиационных многофункциональных тренажеров // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации. Сборник трудов VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции 14-16 октября 2019 г. – Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации), – 2019. – С. 77-84.
2. Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М. Основы принятия решений по разработке (модернизации) авиационных многофункциональных тренажеров // Успехи современной радиоэлектроники.– 2019. – №6. – С. 66-76.
3. Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М. Метод синтеза функционального облика авиационных многофункциональных тренажеров // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2020. – № 2 (54). – С. 47-57.
4. Емельянов С.В., Олейник А.Г., Попков Ю.С., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления. – М.: УРСС, 2004. – 398 с.
5. Смирнов Э.А. Разработка управленческих решений: Учебник для ВУЗов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 271 с.
6. Мистров Л.Е., Сербулов Ю.С. Методологические основы синтеза информационно-обеспечивающих функциональных организационно-технических систем. – Воронеж: Научная книга, 2007. – 232 с.

7. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с. программно обеспечения авиационных многофункциональных тренажеров // Успехи современной радиоэлектроники. – 2020. – №4-5. – С. 61-75.
8. Мистров Л.Е., Мишин А.В., Шеповалов Е.М. Метод структурно-параметрического синтеза

TECHNOLOGICAL SCHEME OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ANALYSIS OF AVIATION MULTIFUNCTIONAL SIMULATORS

Shepvalov Yevgeniy Mikhaylovich, VUNC VVS "VVA", Voronezh

A technological scheme for the analysis of multifunctional aviation simulators (AMT) for training aircraft crews in the form of a logical sequence of operations is proposed. The conceptual model of AMT analysis is substantiated in the form of a hierarchical system of methods, models and methods for studying its appearance by information, information-system and system indicators of efficiency, united by the unity of the goal. The decomposition of the descriptive model of the AMT application into a hierarchical system of elementary, simple, complex and target situations arising from the results of structuring the performance of a certain set of educational tasks and related to the execution of the simulator of elementary technological operations, individual, aggregate and system of software components with a model representation of elementary fragments of subtasks is given, subtasks, one and the system of educational tasks, respectively. The basis for the implementation of the technological scheme of the structural and functional analysis of AMT is the provisions of the theories of analysis of complex systems, decision making, resource allocation, optimization, hierarchical decomposition, graphs, Pareto methods, goal trees, logical-heuristic and expert methods, and analytical calculations.

Key words: aviation multifunctional simulator, structural and functional appearance, educational task, flow chart of analysis, conceptual model, elementary technological operation, software component, information, information system and system performance indicators, efficiency criterion, modeling

REFERENCES:

1. Mistrov L.Ye., Shepvalov Ye.M. Osobennosti obosnovaniya resheniy po razrabotke aviatsionnykh mnogofunktsional'nykh trenazherov [*Features of the substantiation of decisions on the development of aviation multifunctional simulators*] // Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya grazhdanskoy aviatsii. Sbornik trudov VIII Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiyem nauchno-prakticheskoy konferentsii 14-16 oktyabrya 2019 g. [*Actual problems and prospects for the development of civil aviation. Proceedings of the VIII All-Russian with international participation scientific and practical conference October 14-16, 2019*] – Irkutskiy filial Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii [*Irkutsk branch of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*], – 2019. – pp. 77-84.
2. Mistrov L.Ye., Shepvalov Ye.M. Osnovy prinyatiya resheniy po razrabotke (modernizatsii) aviatsionnykh mnogofunktsional'nykh trenazherov [*Fundamentals of decision-making on the development (modernization) of multifunctional aviation simulators*] // Uspekhi sovremennoy radioelektroniki [*Successes of modern radio electronics*]. – 2019. – №6. – pp. 66-76.
3. Mistrov L.Ye., Shepvalov Ye.M. Metod sinteza funktsional'nogo oblika aviatsionnykh mnogofunktsional'nykh trenazherov [*Method of synthesis of functional appearance of multifunctional aviation simulators*] // Informatsionno-ekonomicheskiye aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya [*Information and economic aspects of standardization and technical regulation*]. – 2020. – № 2 (54). – pp. 47-57.
4. Yemel'yanov S.V., Oleynik A.G., Popkov YU.S., Putilov V.A. Informatsionnyye tekhnologii regional'nogo upravleniya [*Information technologies of regional administration*]. – М.: URSS, 2004. – 398 p.
5. Smirnov E.A. Razrabotka upravlencheskikh resheniy: Uchebnik dlya VUZov [*Development of management decisions: A textbook for universities*]. – М.: YUNITI-DANA, 2000. – 271 p.

6. Mistrov L.Ye., Serbulov YU.S. Metodologicheskiye osnovy sinteza informatsionno-obespechivayushchikh funktsional'nykh organizatsionno-tekhnicheskikh sistem [*Methodological foundations for the synthesis of information-supporting functional organizational and technical systems*]. – Voronezh: Nauchnaya kniga, 2007. – 232 p.
7. Buslenko N.P. Modelirovaniye slozhnykh system [*Modeling of complex systems*]. – M.: Nauka, 1978. – 400 p.
8. Mistrov L.Ye., Mishin A.V., Shepovalov Ye.M. Metod strukturno-parametricheskogo sinteza programmogo obespecheniya aviatsionnykh mnogofunktsional'nykh trenazherov [*Method of structural-parametric synthesis of software for multifunctional aviation simulators*] // Uspekhi sovremennoy radioelektroniki [*Success of modern radioelectronics*]. – 2020. – №4-5. – pp. 61-75.