

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ТРЕНАЖЕРАМ

Мистров Л.Е., д-р техн. наук, проф., проф. кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Центрального филиала «РГУП», гл. спец. ФГБУ «Институт стандартизации»

Предложен метод проектирования многофункциональных информационных тренажеров подготовки специалистов по применению специальных объектов в соответствующих предметных областях. Приведена физическая и математическая постановка задачи функционально-структурного проектирования многофункциональных информационных тренажеров на основе оптимального распределения ресурса аппаратных и программных средств для выполнения заданного множества учебных задач. Для решения поставленной задачи предложена технологическая схема проектирования многофункциональных информационных тренажеров, обеспечивающая алгоритмическую реализацию процесса их разработки. Метод проектирования основывается на временном (стадии) и детальном (аспекты, уровни) представлении процесса развертывания проектирования до уровня аппаратно-программных средств. В его основу положено использование положений теорий иерархических многоуровневых систем, исследования операций, системного анализа, оптимального распределения ресурсов, графов, методов.

Ключевые слова: объект, учебная задача, многофункциональный информационный тренажер, проектирование, аспекты проектирования, аппаратные и программные средства, метод, моделирование, оптимизация.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Современный уровень развития образовательной среды, компьютерной техники и информационных технологий позволяет моделировать практически любой вид деятельности человека, связанный с обработкой информации на основе проектирования различного типа информационных систем, к которым можно отнести и многофункциональные информационные тренажеры (МИТ) [1, 2]. Их применение направлено на повышение эффективности приобретения обучающимися знаний и навыков эксплуатации одного или класса специальных объектов в соответствующей предметной области, например, при подготовке летчиков [3], космонавтов [4], а также учитывая поведение самого летчика [5] или оператора управления беспилотным летательным аппаратом [6]. Под понятие МИТ попадает широкий круг тренажеров, предназначенных для решения задач планирования и управления аппаратным и программным ресурсом средств при решении учебных задач (УЗ) подготовки обучаемых к обслуживанию и эксплуатации специальных объектов.

В современных условиях при проектировании МИТ с учетом возможности технологического перевооружения морально устаревших тренажеров в интересах расширения

вида и количества решаемых ими УЗ, возникают новые, разноплановые задачи, решение которых следует из особенностей технологического процесса решения УЗ, к которым относятся: их разноплановость; циркуляция различного вида объектно-ориентированной информации в иерархической структуре контуров принятия решений; сетевая структура технологических процессов, обусловленная наличием множества разнообразных элементарных технологических операций (ЭТО) [7] и технологических циклов сборки, повторения и разветвления операций при формировании структуры программных компонент (ПК) на маршрутах решения каждой уникальной в своем роде УЗ [7, 8] и универсальность применяемых аппаратно-программных средств (АПС) при ее выполнении. Наличие таких особенностей существенно усложняет процесс принятия решений задачи проектирования облика программно-аппаратного обеспечения МИТ, которая, с одной стороны, позволяла бы с инвариантных позиций решать эту задачу независимо от типа и эффективности устаревшего программно-аппаратного обеспечения, а с другой – обеспечила возможность его модернизации (реконфигурации) для решения УЗ в структуре МИТ. Это и предопределило цель и содержание статьи, направленной на разработку основных положений метода обоснования требований к МИТ для решения задач подготовки

специалистов к эксплуатации специальных объектов в соответствующей предметной области.

ОБОБЩЕННЫЙ ПОДХОД ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЛИКУ МИТ

Обоснование метода представления облика (состава, структуры, основных характеристик и алгоритмов функционирования) МИТ, под которым понимается совокупность принципов и категорий, раскрывающих общее содержание, состав и структуру синтеза и определяющих общую постановку задачи и метод ее решения [9, 10].

Совокупность задач, которые предполагается выполнять МИТ, в обобщенном виде выражается в цели ее создания – достижение желаемого результата. В цепочке «цель–система–результат» цель выполняет роль фактора системной упорядоченности различных мероприятий и актов (операций), совершаемых МИТ для ее достижения, а результат есть мера полноты достижения цели. Упорядоченная совокупность мероприятий и актов (операций) системы образует способ ее действий. МИТ может действовать различными способами, каждый из которых может представлять собой комбинацию нескольких простых способов. Будем рассматривать МИТ для случая, когда он действует одним способом, поскольку полученные результаты нетрудно интерпретировать и на другие случаи.

Расхождение между результатом и целью МИТ служат мотивацией для корректировки цели, способа действий либо облика системы. Цель МИТ задается Заказчиком и практически не подлежит изменению. Поэтому при обосновании МИТ может корректироваться способ его действий и функциональный облик.

Способ действий МИТ является той конструктивной основой, на базе которой разрабатываются функции, определяется их содержание и осуществляется их системная упорядоченность в виде функциональной структуры. Вариации способа действий МИТ обуславливают соответствующие изменения реализующей его совокупности функций. Одному и тому же способу действий МИТ могут соответствовать различные совокупности его функций. И наоборот. Функциональный облик МИТ более консервативен, чем способ его действий, поскольку функции «привязываются» к соответствующим его материальным компонентам.

Основные элементы способа действий МИТ в общем случае соответствуют вопросам: «на что, кто» (объект действий), «что» (вещество, энергия, информация), «как» (посредством какого эффекта или явления) и «в каких условиях» (пространственных, временных, ресурсных и т. д.). Исходя из этого, способ действий МИТ может быть представлен в виде

$$S = f(O, A, E, U), \quad (1)$$

где O – наименование объекта действий;

A – поток энергии или информации;

E – наименование операции, представляющей получение требуемого эффекта;

U – условия реализации операции E .

Каждая функция МИТ также может быть представлена в виде

$$F = f(\tilde{O}, A, E, U). \quad (2)$$

В ходе МИТ элементы (1) и (2) последовательно раскрываются и наполняются конкретным содержанием. В общих чертах это процесс представляется в виде следующей логической последовательности. Исходной мотивацией МИТ и внешним требованием к его функциональному облику является его цель. В соответствии с целью обосновывается предпочтительный способ действий МИТ в предположении, что облик его реализуем.

Первоначально в (1) определяется (уточняется) объект воздействия O . Далее, на основе анализа свойств и характеристик объекта обосновываются виды факторов A и операций E , посредством которых объект O будет переводиться в соответствии с целью (задачами) МИТ в желаемое состояние. При этом вначале предполагается, что условия U осуществления операций E не оказывают заметного влияния на эти операции. На заключительном шаге исследований на основе учета условий U уточняются объект O , факторы A и операции E . Образующаяся таким образом последовательность процедур обоснования способа действий МИТ составляет цикл, который должен повторяться до достижения необходимой полноты представлений о способе его действий. Функциональный облик МИТ вовлекается в обоснование способа его действий через элементы A , E и U . После предварительного выявления предпочтительного способа процесс обоснования МИТ концентрируется на обосновании его функций, которые разделяются на внешние и внутренние. Внешние функции непосредственно связаны со способом его действий. Внутренние же функции МИТ являются обеспечивающими по отношению к его внешним функциям.

Выражение (2) в общем виде представим, как имеет

$$F_y = f(O, A, E, U), \quad (3)$$

соответствующей внешним функциям МИТ, содержанием элемента O будет являться совокупность всех возможных факторов A в (2), а элементы A и E будут представлять множества факторов и операций, осуществляемых тренажером в отношении этого объекта O .

Условия U для F_y внешних функций МИТ будут включать часть условий, входящих в состав U в (1) и общих для тренажера и объекта его действий, а также условия, определяемые собственно обликом и порядком функционирования.

По аналогии с (3) представим описание внутренних функций МИТ в виде

$$F_n = f(O, A, E, U), \quad (3a)$$

в котором в качестве объекта O рассматриваются факторы A и операции E , осуществляемые внешними функциями МИТ и входящие в состав (3), а в качестве факторов A и операций E – те, которые осуществляются его внутренними функциями в отношении его внешних функций. Условия U для внутренних функций МИТ образуются из части условий внешних функций и собственно внутренних условий, определяемых его устройством и порядком функционирования. Совместно процедуры обоснования способа действий и функций МИТ образуют итерационный процесс, завершающийся результатами обоснования его облика.

Основу проектирования облика МИТ составляет обоснование типа и состава АПС, внешних функций – управления (F_y) и внутренних функций – переходов (F_n) при решении i -ых УЗ. Функции управления F_y обеспечивают реализацию централизованного распределения ресурса АПС при управлении очередностью выполнения УЗ или внешнесистемное управление (адаптация) технологической схемы проектирования МИТ за счет оптимального распределения ресурса АПС. Функции же переходов F_n обеспечивают реализацию процесса управления (оптимизации) ресурса ПК для выполнения каждой i -ой УЗ или внутрисистемное управление МИТ. Определение функций начинается с этапа структурно-функционального проектирования МИТ на основе обоснования состава АПС и установления между ними внутрисистемных связей по управлению, информационному обеспечению и исполнению (на основе АПС) при решении УЗ.

В общем случае, задача проектирования МИТ может быть сформулирована следующим образом. Пусть определена цель создания МИТ и условия (ограничения), в которых он будет создаваться и применяться. Требуется определить такую совокупность F_y внешнесистемных функций (управления) и F_n внутрисистемных функций распределения ресурса R программных средств и порядок его функционирования, которые обеспечивают оптимальное значение $W(V, U)$ показателя эффективности решения УЗ не менее требуемого W_{TP} на множестве U условий применения и в общем виде математически представляется зависимостью:

$$V^{D*} = \text{Arg} \min_{V^D \in \{V^D\}_D} C(V^D, R, S, F_y, F_n, U), \quad (4)$$

$$\{V^D\}_D = \{V^D : V^D \in V = (V^D, F_y, F_n), W(V, U) \geq W_{TP}, R(V^D, U) \subseteq R, S = S^* = \text{const}\},$$

где C – функция затрат на реализацию МИТ в интересах обеспечения моделирования применения специального объекта в определенных U условиях;

V^D – множество параметров АПС, характеризующих облик МИТ;

$\{V^D\}_D$ – множество допустимых вариантов облика МИТ;

F_y, F_n – множества параметров, описывающие адаптивные способы применения МИТ при решении W множества и одной УЗ, соответственно;

$W(V, U)$ – показатель эффективности применения МИТ;

W_{TP} – требуемое значение интегрального показателя эффективности применения МИТ;

$R(V^D, U)$ – ресурс АПС, необходимый для реализации V^D облика МИТ в интересах решения УЗ в U условиях.

Строго математически решить задачу (4) фактически невозможно вследствие ее значительной размерности, сложной взаимосвязи переменных в функциональных зависимостях и наличия целого ряда неопределенных факторов, многие из которых носят вероятностный характер. Основным методом приближенного поиска решения задачи проектирования МИТ является его декомпозиция на систему частных задач на основе использования принципов теории иерархических многоуровневых структур [9]. Иерархическая декомпозиция задачи проектирования МИТ позволяет не только разукрупнить задачу на основе принципа «целое-часть» на счетное количество задач «допустимой» сложности, но и реализовать принципы «право вмешательства верхнего уровня» и «зависимость верхнего уровня от нижних уровней».

С использованием принципа «целое-часть» общая задача разработки МИТ (4) представляется в виде системы взаимосвязанных частных задач проектирования, совместное решение которых является решением общей задачи. «Право вмешательства верхнего уровня» достигается путем определения на верхнем уровне для задач нижних уровней иерархии соответствующих целей, ресурсов, ограничений и условий применения МИТ. Принцип «зависимость верхнего уровня от нижних уровней» реализуется путем передачи на верхний уровень иерархии результатов решений задач нижних уровней и предложений по корректировке целей, ресурсов, ограничений и условий, определенных верхним уровнем для задач нижних уровней.

Осуществим исходя из данных принципов в соответствии с [10, 11] декомпозицию задачи проектирования (4) с использованием иерархических структур: аспектов, уровней и стадий разработки облика МИТ. При этом в качестве основных рассматриваются процессуальный, операционный, структурный и параметрический аспекты проектирования облика МИТ (см. рис. 1). Это обеспечивает представление облика МИТ в виде $V^D = (V_A^D, V_E^D, V_S^D, V_X^D)$, включающем совокупность множеств, описывающих функциональные свойства, порождающие факторы $A(V_A^D)$ и относящиеся к операциям $E(V_E^D)$, структуру функций (V_S^D) , характеристики и параметры функций (V_X^D) МИТ.

В зависимости от начального состояния проработки функционального облика МИТ и целей исследований в процессе его разработки между аспектами могут устанавливаться различные иерархические отношения. Применительно к случаю, представленному на рис. 1, декомпозиция задачи (4) преобразуется к виду:

задача определения действующих факторов МИТ

$$V_A^{D*} = \text{Arg} \min_{V_A^D \in \{V_A^D\}_D} C(V_A^D, \tilde{V}_E^{D*}, \tilde{V}_S^{D*}, \tilde{V}_X^{D*}, U), \quad (5)$$

$$\{V_A^D\}_D = \{V_A^D : V_A^D \in V^D = (V_A^D, \tilde{V}_E^{D*}, \tilde{V}_S^{D*}, \tilde{V}_X^{D*}), W(V, U) \geq W_{\text{тр}}, R(V_A^D, U) \subseteq R\};$$

задача определения операций, реализуемых МИТ

$$V_E^{D*} = \text{Arg} \min_{V_E^D \in \{V_E^D\}_D} C(\tilde{V}_A^{D*}, V_E^D, \tilde{V}_S^{D*}, \tilde{V}_X^{D*}, U), \quad (6)$$

$$\{V_E^D\}_D = \{V_E^D : V_E^D \in V^D = (\tilde{V}_A^{D*}, V_E^D, \tilde{V}_S^{D*}, \tilde{V}_X^{D*}), W(V, U) \geq W_{\text{тр}}, R(V_E^D, U) \subseteq R\};$$

задача определения структуры функций МИТ

$$V_S^{D*} = \text{Arg} \min_{V_S^D \in \{V_S^D\}_D} C(\tilde{V}_A^{D*}, \tilde{V}_E^{D*}, V_S^D, \tilde{V}_X^{D*}, U), \quad (7)$$

$$\{V_S^D\}_D = \{V_S^D : V_S^D \in V^D = (\tilde{V}_A^{D*}, \tilde{V}_E^{D*}, V_S^D, \tilde{V}_X^{D*}), W(V, U) \geq W_{\text{тр}}, R(V_S^D, U) \subseteq R\};$$

задача определения параметров МИТ

$$V_X^{D*} = \text{Arg} \min_{V_X^D \in \{V_X^D\}_D} C(\tilde{V}_A^{D*}, \tilde{V}_E^{D*}, \tilde{V}_S^{D*}, V_X^D, U), \quad (8)$$

$$\{V_X^D\}_D = \{V_X^D : V_X^D \in V^D = (\tilde{V}_A^{D*}, \tilde{V}_E^{D*}, \tilde{V}_S^{D*}, V_X^D), W(V, U) \geq W_{\text{тр}}, R(V_X^D, U) \subseteq R\}.$$

Последовательное решение задач в виде (5)–(8) образует цикл итерационного процесса решения задачи проектирования МИТ (4). При невозможности получения приемлемого решения какой-либо одной из этих задач осуществляется уточнение решения других задач проектирования, а также условия и ограничения.

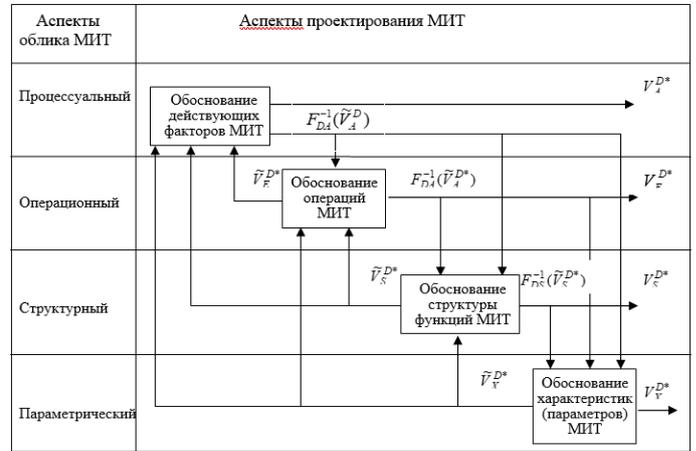


Рис. 1. Декомпозиция общей задачи проектирования МИТ по аспектам

Для выявления взаимосвязей между множествами описаний облика МИТ на аспектах проектирования исследуем функции агрегирования и дезагрегирования множеств описаний облика на процессуальном F_{DA}, F_{DA}^{-1} , операционном F_{DE}, F_{DE}^{-1} , структурном F_{DS}, F_{DS}^{-1} и параметрическом F_{DX}, F_{DX}^{-1} аспектах, а также введем в рассмотрение функции обобщения его облика по аспектам G_{DA}, G_{DE}, G_{DS} и G_{DX} . С использованием этих функций применительно к приведенному на рис. 1 иерархических отношений аспектов взаимосвязь множеств описания облика МИТ можно представить зависимостями:

$$\begin{aligned} V_A^D &= G_{DA} \{ \tilde{V}_A^{D*}, F_{DA}(V_E^D, V_S^D, V_X^D) \}, \\ V_E^D &= G_{DE} \{ \tilde{V}_E^{D*}, F_{DE}[F_{DA}^{-1}(V^D), V_S^D, V_X^D] \}, \\ V_S^D &= G_{DS} \{ \tilde{V}_S^{D*}, F_{DS}[F_{DE}^{-1}(V^D), V_X^D] \}, \\ V_X^D &= G_{DX} \{ \tilde{V}_X^{D*}, F_{DX}[F_{DS}^{-1}(V^D)] \}, \\ V_D &= (V_A^D, V_E^D, V_S^D, V_X^D). \end{aligned} \quad (9)$$

Декомпозиция же общей задачи проектирования МИТ по уровням разукрупнения основывается на следующих физических предпосылках. Функция управления F_y МИТ проявляется (см. рис. 2) в реализации способа его функционирования так как ее содержание определяется процессуально и операционно-моделируемым способом выбранным действия специального объекта. Кроме того, ее содержание определяется также внутренними функциями МИТ, которые по отношению к ней выполняют обеспечивающую роль. Аналогично, функция переходов F_n МИТ также структурируется по общности. Более крупные, обобщающие функции, имеют характер внешних функций по отношению к менее крупным, входящих в их состав частным функциям. Количество уровней разукрупнения функций МИТ определяется необходимой глубиной проработки его облика.

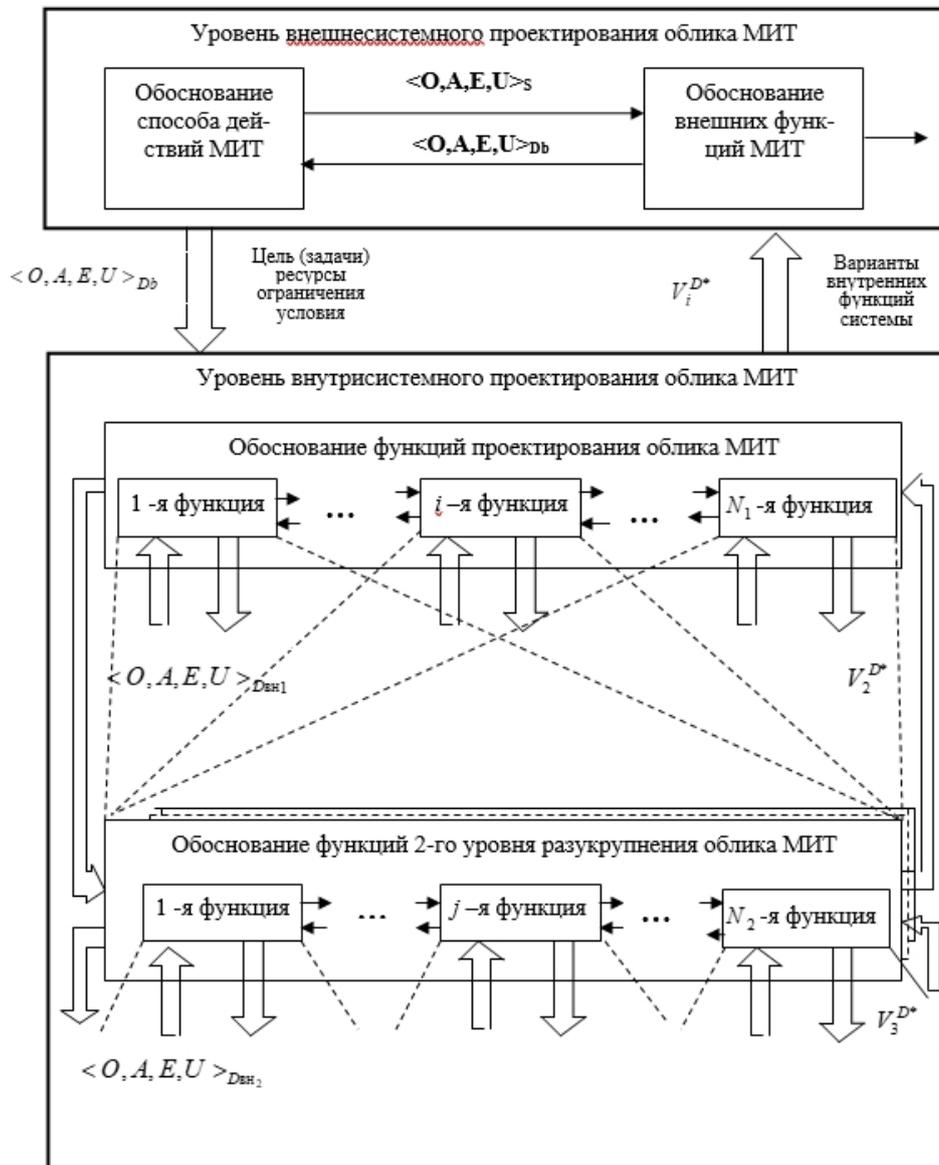


Рис. 2. Декомпозиция задачи проектирования МИТ по уровням разукрупнения

Уровням разукрупнения облика МИТ ставятся в соответствие уровни проектирования, которые разделяются на внешне-системный и внутрисистемные уровни. Уровень внешнесистемного проектирования направлен на определение внешних функций и способов функционирования МИТ, а также согласование и системную увязку всех его функций, их свойств, параметров и принципов функционирования, обоснование которых осуществляется на уровнях внутрисистемного проектирования. С уровня внешнесистемного проектирования начинается процесс проектирования МИТ и на нем же и заканчивается.

В результате неоднократного перехода от уровня к уровню проектирования в прямом и обратном направлении достигается соответствие между функциональными свойствами,

строением и функционированием МИТ, а также между параметрами отдельных функций и всего его облика в целом.

Аналогично, как и при проектировании МИТ в целом, между множествами описаний его облика по уровням разукрупнения можно установить следующие соотношения:

$$V_l^D = \Phi_{D_l} [H_{D(l-1)}^{-1}(V_{l-1}^D), H_{D_l}(V_{l+1}^D)], \quad l = 1, 2, \dots, \quad (10)$$

где V_l^D – множество, описывающее на l -ом уровне разукрупнения внутрисистемного проектирования облика МИТ;

Φ_{Dl} – функция обобщения описания на l -ом уровне разукрупнения облика МИТ;

$H_{Dl}, H_{D(l-1)}^{-1}$ – соответственно функции агрегирования и дезагрегирования множества, описывающего на l -ом и $(l-1)$ -ом уровнях разукрупнения облика МИТ;

V_0^D – множество, описывающее на уровне внешнесистемного проектирования облика МИТ.

При фиксированном уровне разукрупнения облика МИТ дальнейшая структуризация функций осуществляется «по горизонтали» на совокупность не связанных иерархическими отношениями функций.

Объединение множеств, описывающих их, обеспечивает формирование общего представления облика МИТ на данном уровне разукрупнения вида:

$$V_l^D = (V_{1l}^D, \dots, V_{jl}^D, \dots, V_{N_l l}^D), \quad (11)$$

$$V_{jl}^D = \Phi_{jl}[H_{j(l-1)}^{-1}(V_{l-1}^D), H_{jl}(V_{l+1}^D)],$$

где $V_{j l}^D$ – множество, описывающее j -ю функцию l -го уровня разукрупнения облика МИТ;

N_l – общее количество функций l -го уровня разукрупнения облика МИТ;

Φ_{jl} – функция обобщения описания j -ой функции l -го уровня разукрупнения облика МИТ;

$H_{j(l-1)}^{-1}$ – функция дезагрегирования множества, описывающего на $(l-1)$ -м уровне разукрупнения облика МИТ, применительно к j -й функции l -го уровня;

H_{jl} – функция агрегирования множества, описывающего на $(l+1)$ -м уровне разукрупнения облика МИТ, применительно к j -й функции l -го уровня.

В результате структуризации задачи проектирования (4) по уровням разукрупнения облика МИТ формируется семейство иерархически связанных задач его внешнесистемного и внутрисистемного проектирования.

Задача внешнесистемного проектирования МИТ представляется аналогично задаче (4) с той разницей, что вместо V^D в ней приводится V_0^D .

Задачи внутрисистемного проектирования облика МИТ имеют вид:

задача l -го уровня

$$V_l^{D*} = Arg \min_{V_l^D \in \{V_l^D\}_D} C(V_l^D, U), \quad (12)$$

$$\{V_l^D\}_D = \{V_l^D : W(V_l^D, U_l) \geq W_{TP}, R(V_l^D, U_l) \subseteq R_l\},$$

$$l = 1, 2, \dots, R_l \in R = (R_1, \dots, R_l, \dots), V_l^{D*} = (V_{1l}^{D*}, \dots, V_{jl}^{D*}, \dots, V_{N_l l}^{D*}),$$

задача проектирования j -ой функции l -го уровня

$$V_{jl}^{D*} = Arg \min_{V_{jl}^D \in \{V_{jl}^D\}_D} C_{jl}(V_{jl}^D, U_{jl}), \quad (13)$$

$$\{V_{jl}^D\}_D = \{V_{jl}^D : V_{jl}^D \in V_l^D = (V_{1l}^{D*}, \dots, V_{jl}^{D*}, \dots, V_{N_l l}^{D*}), W_{jl}(V_{jl}^D, U_{jl}) \geq W_{TP, jl}, R_{jl}(V_{jl}^D, U_{jl}) \subseteq R_{jl}\},$$

$$j = 1, \dots, N_l, W = W(W_{1j}, \dots, W_{jl}, \dots, W_{N_l j}), C = C(C_{1j}, \dots, C_{jl}, \dots, C_{N_l j}),$$

$$R_{jl} \in R_l = (R_{1j}, \dots, R_{jl}, \dots, R_{N_l j}), U_{jl} \in U_l = (U_{1j}, \dots, U_{jl}, \dots, U_{N_l j}).$$

Ввиду существенной сложности решение задачи проектирования МИТ осуществляется последовательно по временным стадиям проектирования (см. рис. 3). На каждой стадии проектирования формируется новое, более полное представление о функциях МИТ, их взаимосвязях, параметрах и его функционировании.

На начальной стадии проектирования определяется способ функционирования МИТ и концептуальные представления об его облике (обосновываются внешние границы). На ней облик МИТ исследуется в виде целостной системы «идеальных», то есть в принципе реализуемых функций. На второй стадии проектирования осуществляется определение основных функций МИТ, характеризующих его назначение и эффективность применения с учетом в полной мере условий и ограничений реализуемости основных функций, что придает им характер «реальности». В отношении других функций делается предположение, что они как «идеальные» также реализуются в полном объеме.

На последующих стадиях проектирования исследования направляются на определение следующих функций, а также на уточнение функций, определенных на предыдущих стадиях.

На заключительной стадии проектирования облик МИТ рассматривается в полном, как того требуют цели исследований, объеме в виде системы «реальных» функций. При этом акцент делается на обоснование предпочтительных алгоритмов функционирования МИТ. Между стадиями проектирования устанавливаются информационные связи, обеспечивающие выдачу необходимых исходных данных, а также уточнение при необходимости, как постановок задач, так и результатов их решения.

При декомпозиции задачи проектирования МИТ по стадиям частная задача проектирования на i -ой стадии представляется в виде:

$$V_{\exists i}^{D*} = \text{Arg} \min_{V_{\exists i}^D \in \{V_{\exists i}^D\}_D} C(V_{\exists i}^D, U_{\exists i}), \quad (14)$$

$$\{V_{\exists i}^D\}_D = \{V_{\exists i}^D : W(V_{\exists i}^D, U_{\exists i}) \geq W_{\text{ТР}}, R(V_{\exists i}^D, U_{\exists i}) \subseteq R\},$$

$$j = \overline{1, N_j}, \quad W = W(W_{1j}, \dots, W_{jl}, \dots, W_{N_j}), \quad C = C(C_{1j}, \dots, C_{jl}, \dots, C_{N_j}),$$

$$V_{\exists i}^D = \Phi_{\exists i}[F_{\exists(i-1)}^{-1}(V_{\exists(i-1)}^{D*}), F_{\exists i}(\tilde{V}_{\text{зак}}^{D*})],$$

$$\exists_i = \begin{cases} \text{кон}, & i = 0; \\ \text{пр}_i, & i = \overline{1, N}; \\ \text{зак}, & i = N + 1; \end{cases}$$

$$V_{\exists 0}^D = V_{\text{кон}}^D = \Phi_{\text{кон}}[F_{\text{кон}}(\tilde{V}_{\text{пр}_1}^{D*}), \tilde{V}_{\text{зак}}^{D*}], \quad V_{\text{пр}_i}^D = \Phi_{\text{пр}_i}[F_{\text{пр}(i-1)}^{-1}(V_{\text{пр}(i-1)}^{D*}), F_{\text{пр}_i}(\tilde{V}_{\text{зак}}^{D*})], \quad V_{\text{зак}}^D = V_{\text{зак}}^{D*},$$

где $\Phi_{\exists i}$ – функция обобщения представления на i -ой стадии проектирования облика МИТ;

$F_{\exists(i-1)}^{-1}, F_{\exists i}$ – функции дезагрегирования и агрегирования представления на $(i-1)$ -ой и i -ой стадиях проектирования облика МИТ, соответственно;

N – общее количество стадий проектирования облика МИТ.

Как и при проектировании МИТ в целом, декомпозиция общей задачи его проектирования (4) по стадиям проектирования представляет основу, на базе которой проводится дальнейшее развертывание процесса проектирования по аспектам и уровням. При этом частные задачи проектирования по аспектам и уровням, выполняя поочередно иерархически главную роль «вкладываются» друг в друга,

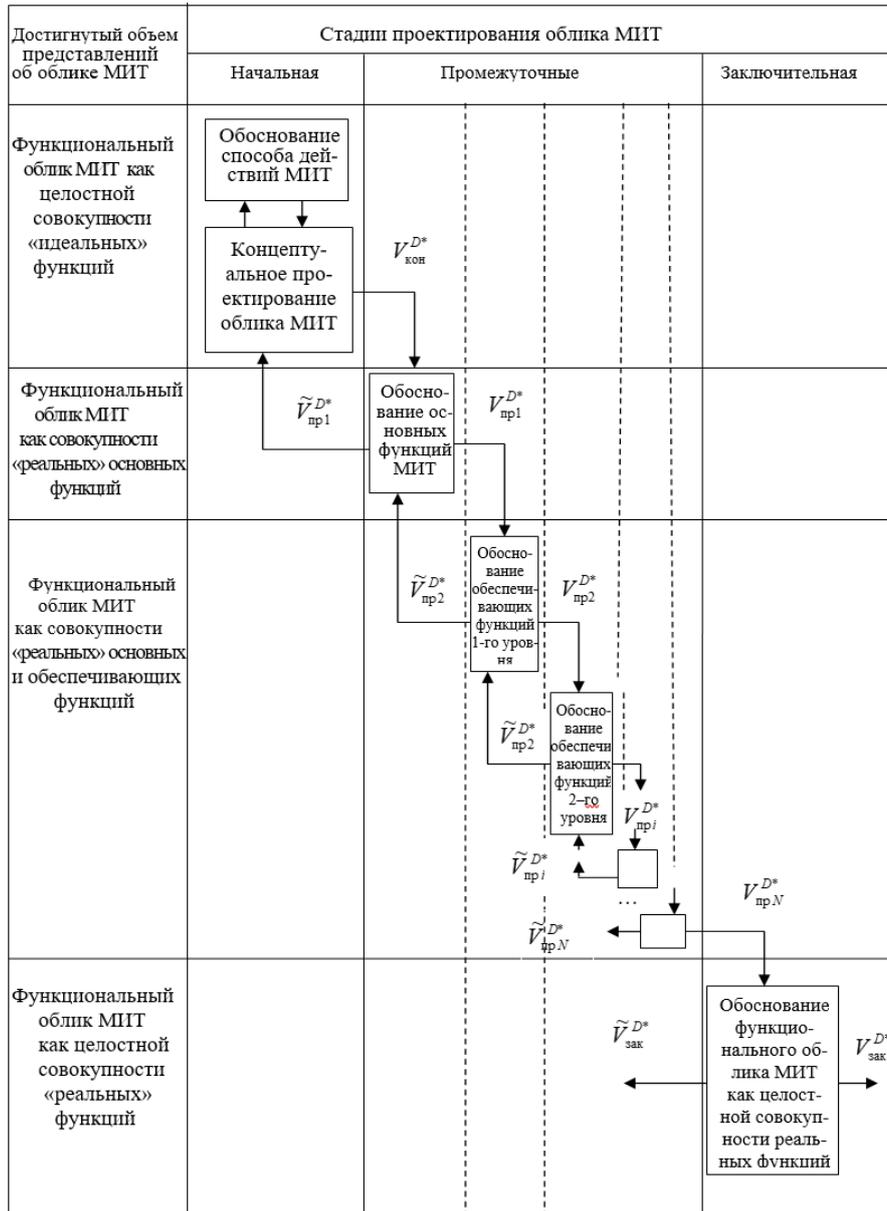


Рис. 3. Декомпозиция задачи проектирования МИТ по стадиям

а вместе – в частную задачу проектирования на рассматриваемой стадии. Внутри каждого вида декомпозиции облика МИТ также поочередно сменяется иерархически главный аспект (уровень, стадия). В результате образуются многоконтурные циклические итерационные процессы, обеспечивающие решение общей задачи автоматизации проектирования МИТ.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МИТ

Метод проектирования МИТ, исходя из целей и системы предпочтений заказчика – желаемого образа будущего его облика в пределах выделенного ресурса АПС, условий и ограничений на применение, формулируемого в виде (4) основывается на алгоритмическом решении взаимосвязанной совокупности следующих основных задач (схематичное представление метода приведено на рис. 4).

1. На основе анализа заданного множества УЗ, выполняемых существующими типами тренажеров, выделяется проблемная ситуация в виде объективного противоречия между требуемым и реальным решением ими УЗ. Установлением причинно-следственных отношений между элементами АПС по управлению, информационному обеспечению и исполнению, проявляющихся в структуре МИТ при выполнении УЗ, осуществляется его функциональный анализ (описание состава, структуры и функциональных связей) и представление в виде описательной модели применения как функции пространственно-временных характеристик условий выполнения задач специалистами конкретного типа специального объекта. Описательная модель МИТ представляет взаимосвязанную систему декомпозированных и взаимообусловленных по уровням исследований типовых целевых ситуаций, отражающих пространственно-временную динамику реализации специалистом способов управления конкретным типом специального объекта при выполнении поставленных задач.
2. На основе априорной информации о подлежащих решению УЗ, характеристиках существующих и перспективных АПС и параметрах описательной модели применения МИТ осуществляется формирование вариантов его облика в виде морфологического множества состава АПС с установлением связей по управлению (между элементами АПС различных уровней), взаимодействию (между элементами АПС одного уровня) и информационному взаимодействию (между элементами АПС различных уровней) с учетом множества информационных, технологических, энергетических, эксплуатационных и пространственно-временных ограничений по способам его применения. Основу при реализации функции переходов F_n составляют связи следования, взаимоисключающие, когда-либо то, либо другое АПС не может выполнить одну и ту же функциональную задачу (деляются на основе декомпозиции УЗ по логическим этапам выполнения АПС) и взаимодействующие, когда и та же задача может выполняться несколькими АПС.
3. Для формального исследования облика МИТ методом инвариантного погружения [12] осуществляется функционально-структурная детализация УЗ на взаимообусловленную систему учебных подзадач, представляющих целостное множество операций, выполняемых специалистами при последовательной реализации способов или приемов выполнения специальным объектом поставленной задачи в виде многомерного вектора элементарных фрагментов (ЭФ) учебных подзадач. ЭФ представляет некоторую взаимосвязанную совокупность параметров реализации тех или иных приемов, выполняемых специалистом специального объекта при выполнении учебной подзадачи. Исходя из их функционального предназначения они объединяются в кластерные группы информационных, тактических и технических параметров для последующей реализации программными средствами. С этой целью проводится структурно-функциональный анализ групп ЭФ учебных подзадач в интересах оценки возможностей ЭТО по их обработке, структуризации и представлению в виде базы данных (системы первичных таблиц) для обоснования и построения информационного банка ЭТО. С помощью итерационных оптимизационных процедур осуществляется проверка условий полноты и логической непротиворечивости систематического покрытия ЭТО всех ЭФ (системная адаптация ЭТО к множеству ЭФ).
4. На основе информационного банка ЭТО с помощью итерационной оптимизационной процедуры методом систематического покрытия проводится формирование адаптивного множества групп ПК для моделирования j-го типа учебных подзадач в виде объединенных единством цели определенных кластерных групп ЭТО и проверка методом логико-эвристического анализа их полноты и непротиворечивости с помощью формализованных условий и аксиоматических правил.
5. Для решения j-го типа учебных подзадач с помощью обоснованной системы ПК осуществляется по системному, информационно-системному и информационным показателям разработка иерархической системы аналитико-имитационных моделей и методик оценки эффективности АПС и МИТ в целом. Разработка моделей (методик) производится на всех иерархических уровнях, начиная с верхнего. Модель каждого уровня специфична: определяет факторы (задачи, ресурсы, ограничения, внешние и внутренние противоречия, связи), присущие уровню. Укрупненная модель верхнего уровня обеспечивает «стыковку» различных математических моделей, разрабатываемых на нижних уровнях.

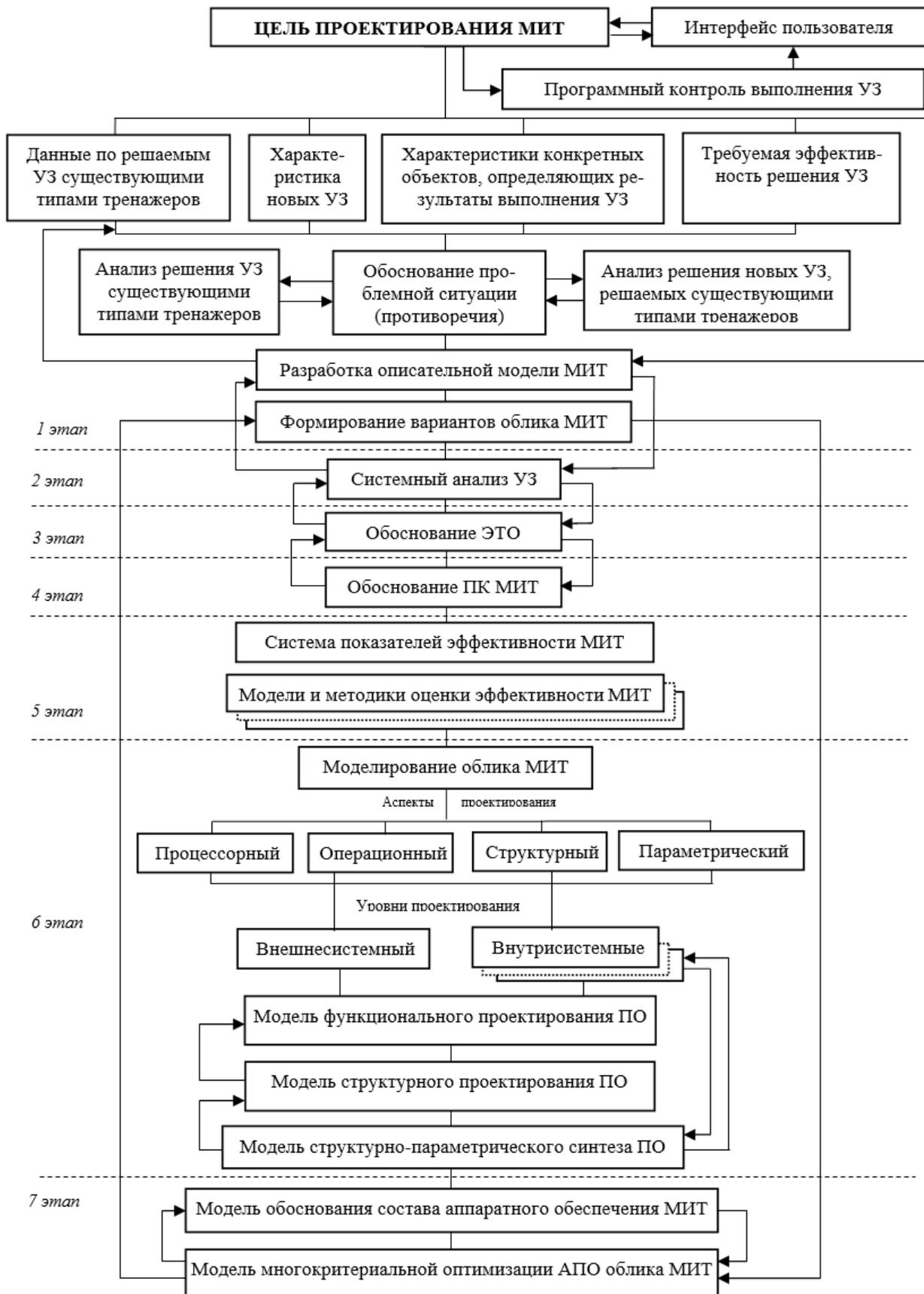


Рис. 4. Метод проектирования МИТ

Структурное представление МИТ в виде системы моделей (методик) позволяет осуществить детализацию цели оценки его эффективности на иерархический ряд подцелей. При этом исходными целями каждого следующего уровня системы моделей (методик) являются декомпозированные конечные цели его предыдущего уровня. Введение и использование в системе моделей количественных показателей эффективности МИТ обеспечивает осуществление непосредственного перехода к решению им УЗ, представленных в виде результатов оценки эффективности вариантов облика и способов функционирования с учетом возможности технической реализации АПС на множестве данных применительно к типовым целевым ситуациям.

6. Нахождение информационно-системных показателей МИТ позволяет установить базисные свойства информационного пространства взаимодействия его элементов на функциональном, структурном и параметрическом аспектах проектирования. Цель моделирования состоит в формировании полной модели фазового пространства состояний АПС при решении каждой УЗ. Оптимизация параметров фазового пространства взаимодействия АПС с соответствующими элементами, декомпозированной УЗ осуществляется по результатам оценки качества его элементов применительно к типовым условиям применения. В качестве параметров рассматриваются исходные данные по характеристикам УЗ, установленные зависимости для расчета параметров пространства состояний МИТ, различные целевые функции и ряд параметров моделирующих действий по решению каждой УЗ. Из всех результатов расчетов выбираются те, для которых: а) экстремальные точки значений целевых функций представлены в максимальном диапазоне значений и б) при наличии экстремальных значений выделяются области, в которой они расположены.

Полученные результаты исследований анализируются при реализации функций управления F_y на уровне МИТ, где при необходимости принимаются решения по их корректровке, касающиеся в основном, объема и / или решаемых УЗ или выделению дополнительных ресурсов, необходимых для разработки АПС.

7. Определение системного показателя эффективности МИТ осуществляется методом погрупповой оптимизации программного и аппаратного обеспечения на иерархических уровнях проектирования. Оптимизация основывается на формировании пространства состояний ЭФ невыполненных УЗ МИТ. Это обеспечивает проведение анализа и выбор по критерию заданной эффективности предпочтительных вариантов облика МИТ на множестве способов функционирования АПС для выявления их номенклатуры. Для этого с помощью аналитических методик расчета эффективности МИТ осуществляется сравнительная оценка эффективности различных вариантов АПС одного и того же назначения и выбирается наиболее эффективная но-

менклатура, на основе которой определяется их количественный состав и способы применения МИТ.

Кроме того осуществляется проверка выполнения сходности результатов проектирования МИТ на аспектах проектирования, обеспечивающего поиск в области допустимых решений (с учетом ограничений и взаимосвязей АПС) предпочтительного варианта его облика на каждом аспекте с последующим обоснованием оптимального варианта на всех. Результатом решения задачи является разработка основных технических требований к вариантам облика АПС и МИТ в целом в виде информации по методам и средствам решения УЗ. Требования включают в себя также и качественные характеристики, такие как номенклатура необходимых характеристик АПС и особенности их функционирования при реализации каждой i -ой УЗ МИТ. Результатом исследований являются: а) определение оптимального облика элементов подсистемы АПО, управления и информационного обеспечения с расчетом значений их технико-экономических показателей; б) оценка технических возможностей выполнения требований со стороны МИТ к элементам АПО, управления и информационного обеспечения и в) расчет эффективности по системному показателю и потребностей МИТ в АПС.

На основе сформированного допустимого множества состава АПС проводится факторный анализ многомерного пространства варьируемых параметров МИТ и поиск траектории оптимального варианта его облика в рамках действия ограничений, вытекающих из физической сущности поставленной задачи и согласование с результатами исследований организационной деятельности обслуживающего персонала МИТ.

В заключение следует отметить, что предложенный метод позволяет структурировать задачу проектирования структурно-сложного облика МИТ на систему вложенных, взаимообусловленных, итерационно-уточняющихся его динамических аспектно-уровневых обликов, что обеспечивает разукрупнение задач внешнесистемного и внутрисистемного проектирования до уровня параметров отдельных АПС и установление информационных взаимосвязей между ними, составляющих основу обоснования требований к МИТ.

Список использованных источников и литературы

1. Мистров Л.Е. Метод синтеза авиационных многофункциональных тренажеров // Научное обеспечение технологий. 2021. № 6. С. 5–18.
2. 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.
3. Князев А.С., Попов А.Ю., Романцов Е.А. Использование интерактивного макета кабины экипажа самолета ДА-42Т в учебном процессе // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2023. Т. 26, № 4. С. 31–49.
4. Перспективы развития тренажерных средств подготовки космонавтов по выполнению целевых работ на борту РС МКС / А.А. Курицын, Е.В. Попова, И.В. Кутник, П.А. Сабуров // Идеи и новации. 2022. Т. 10, № 1–2. С. 86–92.
5. Применение нечеткой логики для создания имитационной модели управляющих действий летчика / Д.В. Верещиков, В.А. Волошин, С.С. Ивашков, Д.В. Васильев // Труды МАИ. 2018. № 99. С. 13.
6. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 199–202.
7. Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М. Метод формирования вариантов элементарных технологических операций реализации учебных задач авиационным многофункциональным тренажером // Успехи современной радиоэлектроники. 2020. Т. 74, № 9. С. 18–25.
8. Мистров Л.Е., Шеповалов Е.М. Методика синтеза компонент программного обеспечения авиационных многофункциональных тренажеров // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2020. № 3. С. 28–35.
9. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
10. Мистров Л.Е. Метод системотехнического проектирования сложных технических комплексов // Научное обеспечение технологий. 2022. № 7. С. 22–42.
11. Мистров Л.Е. Метод функционального синтеза организационно-технических систем // Нелинейный мир. 2015. № 4. С. 53–66.
12. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. В сб.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.

BASIC PROVISIONS OF THE METHOD FOR JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR MULTIFUNCTIONAL INFORMATION SIMULATORS

Mistrov L.E., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the All-Russian Scientific Center of the VUNC VVS «VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Central Branch of «RGUP», Chief Specialist of the Russian Standardization Institute

A method is proposed for designing multifunctional information simulators for training specialists in the use of special objects in relevant subject areas. The physical and mathematical formulation of the problem of functional-structural design of multifunctional information simulators based on the optimal distribution of hardware and software resources for performing a given set of educational tasks is presented. To solve the problem, a technological scheme for the design of multifunctional information simulators is proposed, which ensures the algorithmic implementation of the process of their development. The design method is based on a temporary (stage) and detailed (aspects, levels) representation of the design deployment process to the hardware and software level. It is based on the use of the theories of hierarchical multi-level systems, operations research, system analysis, optimal resource allocation, graphs, dynamic programming methods, branches and boundaries.

Keywords: object, educational task, multifunctional information simulator, design, design aspects, hardware and software, method, modeling, optimization.

References

1. Mistrov L.E. Metod sinteza aviacionnyh mnogofunktional'nyh trenazherov. Naukoemkie tekhnologii, 2021, no. 6, pp. 5–18.
2. Mistrov L.E., Shepvalov E.M. Metod sinteza funkcional'nogo oblika aviacionnyh mnogofunktional'nyh trenazherov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2020, no. 2 (54), pp. 47–57.
3. Knyazev A.S., Popov A.YU., Romantsov E.A. Ispol'zovanie interaktivnogo maketa kabiny ekipazha samoleta DA-42T v uchebnom processe. Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudar-stvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviicii, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 31–49.
4. Kuricyn A.A., Popova E.V., Kutnik I.V., Saburov P.A. Perspektivy razvitiya trenazhernih sredstv podgotovki kosmonavtov po vypolneniyu celevyh rabot na bortu RS MKS. Idei i novacii, 2022, vol. 10, no. 1–2, pp. 86–92.
5. Vereshchikov D.V., Voloshin V.A., Ivashkov S.S., Vasil'ev D.V. Primenenie nechetkoj logiki dlya sozdaniya imitacionnoj modeli upravlyayushchih dejstvij letchika. Trudy MAI, 2018, No. 99. P. 13.
6. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Podhod k postroeniyu sistem podderzhki prinyatiya reshenij pri upravlenii bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Transportnoe delo Rossii, 2015, no. 6, pp. 199–202.
7. Mistrov L.E., Shepvalov E.M. Metod formirovaniya variantov elementarnyh tekhnologicheskikh operacij realizacii uchebnyh zadach aviacionnym mnogofunktional'nym trenazherom. Uspekhi sovremennoj radioelektroniki, 2020, vol. 74, no. 9, pp. 18–25.
8. Mistrov L.E., Shepvalov E.M. Metodika sinteza komponent programmno obespечeniya aviacionnyh mnogofunktional'nyh trenazherov. Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy, 2020, no. 3, pp. 28–35.
9. Mesarovich M., Mako D., Takahara I. Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnyh sistem [Theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow: Mir Publ., 1973. 344 p.
10. Mistrov L.E. Metod sistemotekhnicheskogo proektirovaniya slozhnyh tekhnicheskikh kompleksov. Naukoemkie tekhnologii, 2022, no. 7, pp. 22–42.
11. Mistrov L.E. Metod funkcional'nogo sinteza organizacionno tekhnicheskikh sistem. Nelinejnyj mir, 2015, no. 4, pp. 53–66.
12. Bellman R., Zade L. Prinyatie reshenij v rasplyvchatykh usloviyah [Decision making in vague conditions]. V sb.: Voprosy analiza i procedury prinyatiya reshenij [In the collection: Questions of analysis and decision-making procedures]. Moscow: Mir Publ., 1976, pp. 172–215.