

МЕТОД СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ

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

Поляков О.В., преподаватель ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Предлагается в развитие [1] метод обоснования основных структурно-функциональных требований к разработке пользовательского интерфейса интеллектуальных тренажных систем (ПИ ИТС) подготовки специалистов по применению различного назначения радиоэлектронных объектов. Определены основные трудности, связанные с разработкой пользовательского интерфейса информационных систем (ПИ ИС). Проведен анализ принципов проектирования, видов, свойств и критериев качества информационных систем и установлены основные характеристики качества ПИ ИТС. Разработана физическая и математическая постановка задачи синтеза ПИ ИТС на основе минимизации числа операций подачи информации обучаемому и предложена структурно-функциональная схема его разработки, обеспечивающая программную реализацию определенных требований.

Ключевые слова: интеллектуальная тренажная система, обучаемый, структурно-функциональный синтез, принципы, виды, свойства и критерий качества пользовательского интерфейса, программное обеспечение, программная компонента, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием информационных технологий и высокопроизводительной вычислительной техники происходят существенные изменения в уровне автоматизации эргатических радиоэлектронных объектов (РЭО). Результаты использования автоматизированных рабочих мест специалистов (операторов) РЭО по принятию решений по их применению показывают, что до 75% не оптимальной реализации потенциальных возможностей РЭО связано с человеческим фактором (непрофессиональными действиями специалистов). Это обстоятельство обусловило необходимость повышения качества применяемых для обучения работы с РЭО тренажеров, представляющих собой инструментальные копии элементов управления объектами для отображения выводимой информации, аналогичной реальной. Анализ результатов их эксплуатации показывает, что эффективность их применения для подготовки специалистов является недостаточной, так как основной задачей обучения является развитие их

интеллектуальных навыков, что достигается разработкой и внедрением в практику интеллектуальных тренажных систем (ИТС) для решения задач обоснования способов применения РЭО, достигаемых в первую очередь, за счет разработки (совершенствования) их пользовательских интерфейсов (ИПИ) с учетом развития как РЭО, так и программно-аппаратных средств (АПС) ИТС [1, 2].

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Началу разработки ИТС предшествует решение задачи выделения функций управления процессом подготовки специалистов, их анализ, разработка УТЗ на множестве способов применения РЭО, формулировка принципов, методов, моделей, процедур и алгоритмов моделирования УТЗ и представления результатов их решения с помощью ИПИ. Интерфейс пользователя (преподавателя, обучаемого) – центральный элемент ИТС, представляющий собой совокупность средств и способов взаимодействия обучаемых с информационной моделью ИТС.

В настоящее время в области разработки ИПИ существует ряд проблем:

- усилия, затрачиваемые на проектирование, разработку, модификацию и сопровождение ИПИ, составляют до 70% трудоемкости разработки программных средств [3], что обуславливает необходимость поиска новых методов сокращения трудоемкости его разработки;
- в части эргономического аспекта удобств ИПИ – неоптимальное распределение функций между пользователем и ИТС, неправильный алгоритм и темп реализации учебной деятельности без учета возможностей обучаемых или особенностей УТЗ, неадекватное планирование взаимодействия пользователя и ИТС, вследствие отсутствия ориентации на его потребности, представления и возможности. Удобство взаимодействия пользователя с ИТС достигается ИПИ соответствует деятельности пользователя, т.е. структура деятельности пользователя и структура интерфейса должны быть коррелированными и взаимопроникающими;
- способы применения РЭО постоянно корректируются с изменением условий внешней среды, что необходимо учитывать на этапе непосредственной эксплуатации ИПС, поэтому необходимо предусматривать адаптивные алгоритмы функционирования АПС, с помощью которых возможно уточнить интерфейс ИТС и подстроить его под условия применения РЭО.

В классическом подходе [4] к созданию пользовательского интерфейса (ПИ) информационных систем (ИС) на основе обоснованных пользовательских требований строится макет, затем прототип и прорабатывается возможный сценарий развития диалога, а потом осуществляется реализация интерфейса с помощью подходящей среды программирования.

Ряд подходов [4] к созданию ПИ ИС основан на анализе функционирования конкретных объектов с позиции поуровневого построения, что позволяет определить последовательность, подчиненность задач и операций, их целенаправленность на результат. С точки зрения человеко-компьютерного взаимодействия структура деятельности пользователя представляет собой логическую и пространственно-временную организацию действий и операций, выполняемых им совместно с ИС в заданных условиях для достижения результата. Выявленные и собранные во взаимосвязанную картину виды активности пользователя и ИС составляют основу будущего ПИ.

Подходы, основанные на анализе деятельности, позволяют изучить естественные условия работы потенциального пользователя и учесть важные особенности выполняемых им функций для дальнейшего отражения в ИС. Также учитывается аспект многоуровневости – изучение физического взаимодействия пользователя и ИС, концепту-

ального взаимодействия и деятельности в определенном контексте, а также дальнейшее отражение выявленных особенностей в ИС.

В рамках модели-ориентированного подхода [4] модель является базовым средством разработки ПИ, содержащим декларативные описания высокого уровня абстракции. Набор моделей различен для каждого модели-ориентированного средства, а также для каждого средства и уровня модели различны декларативные языки. Это затрудняет создание ПИ в рамках одного модели-ориентированного средства и последующее его модифицирование.

В [5] предлагается развитие модели-ориентированного подхода – онтолого-ориентированный подход, уточняющий составляющие моделей ПИ. На основе построенных моделей интерфейса ИС на одном из языков программирования автоматически генерируется код интерфейса. Это позволяет сократить время не только на реализацию ПИ, но и на его модификации. Именно ПИ является составляющей ИС, которая подвержена частым изменениям из-за наличия большого числа пользователей с различным уровнем подготовки и требований к ней. Поэтому создать ПИ, удовлетворяющий требованиям пользователей, возможно только путем создания моделей будущего интерфейса ИС, причем чем больше таких моделей может быть построено, тем выше вероятность построения дружелюбного интерфейса.

В [6] рассматривается подход к созданию адаптивного ПИ ИС. При этом акцент ставится на когнитивных особенностях пользователя, учитывая которые возможно создать индивидуальный ПИ, ориентированный на модификацию параметров информационных потоков от ИС к пользователю для максимального согласования с когнитивным профилем. Модель ИС отражает условное представление проблемной области, формируемое с помощью АПС, отражающих состав и взаимодействие реальных компонентов проблемной области. Средства и способы взаимодействия с моделью объекта определяются составом аппаратного и программного обеспечения и характером решаемой задачи. Эффективность работы пользователя определяется не только функциональными возможностями имеющихся в его распоряжении АПС, но и доступностью для пользователя этих возможностей. В свою очередь, полнота использования потенциальных возможностей имеющихся ресурсов зависит от качества ПИ, состоящего из трех основных частей – подачи информации пользователю, взаимодействия и взаимосвязей между объектами.

Анализ приведенных проблем и подходов к разработке ПИ ИС обуславливает возникновение задачи, направленной на разработку ИПИ ИТС на основе покрытия решаемых УТЗ минимальным числом элементарных опе-

раций подачи информации обучаемым с помощью ИПИ при определении способов взаимодействия РЭО и элементов внешней среды.

Разработка ИПИ основывается на поаспектном его анализе на уровнях функций, структуры и параметров. Свойства ИПИ, проявление его функций во времени определяются структурой в виде упорядоченной совокупности интерфейсных элементов и связей между ними, отражающих их взаимодействие ИТС с обучаемым. Конкретная реализация характеристик, обоснованных на этапе структурно-функционального аспекта анализа, определяет сущность и содержание параметрического аспекта. При этом цель структурно-функционального анализа состоит в формировании информационного контекста, на фоне которого протекают процессы управления ИТС. Это обуславливает осуществлять разработку ИПИ при заданной структуре ИТС на основе решения задач:

- отображение значимой информации о решаемой УТЗ (номер, уровень сложности, время решения, ТУП моделируемого РЭО, результаты решения УТЗ (оценка, время выполнения, ошибки, объяснение ошибок);
- обеспечение дружеского ИПИ на основе минимизации числа элементарных операций подачи информации для выполнения обучаемым поставленной УТЗ;
- отражение структурированных условий применения взаимодействующих элементов и РЭО по уровням ТУП;
- последовательность раскрытия содержания и структуры решаемых УТЗ;
- обеспечение планового и ситуационного решения УТЗ;
- оценивание работы обучаемых и объяснение при необходимости допущенных ошибок.

Существующие для решения данной задачи методы построения пользовательского интерфейса ИТС не удовлетворяют современной практике подготовки специалистов по эксплуатации РЭО, что связано с отсутствием методологических подходов к синтезу задачи обоснования и выбора решений по его облику (выполняемым функциям, структуре элементов, способов их реализации и взаимодействия) в интересах выполнения ИТС множества разноплановых УТЗ по обоснованию способов применения РЭО.

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ВИДЫ, СВОЙСТВА И КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ

ИПИ – эта часть программы ИТС, ориентированная на обучаемого, на основе которого он характеризует качество ИТС исходя из удобства и понятности применения ИПИ.

Создание ИПИ основывается на общих принципах проектирования ПИ ИС [5–7].

1. ИТС должна помогать обучаемому выполнить УТЗ, а не становиться задачей, которую необходимо ему преодолеть, приступая к работе.
2. При работе с ИПИ обучаемый должен за счет минимизации числа операций подачи информации, полномочий и указаний должен ощутить себя полноценным пользователем.
3. ИПИ не должен прерывать работу обучаемого вопросами, не связанными с выполнением УТЗ и выводить на экран ненужные сообщения.

Процесс регламентированного взаимодействия обучаемого с ИТС направлен на решение конкретных УТЗ: обмен информацией между обучаемым и компьютером, координация их действий на основе реализации отдельных процессов ввода-вывода информации для физического обеспечения связи между обучаемым и компьютером. Обмен информацией между обучаемым и ИТС осуществляется с помощью передачи информационных сообщений и управляющих сигналов. Обучаемый в основном генерирует сообщения типа запрос информации, запрос помощи, запрос операции или функции, ввод или изменение информации, выбор типовых условий применения (ТУП) и т.д. В ответ он получает подсказки или справки; информационные сообщения, не требующие ответа; приказы, требующие действий; сообщения об ошибках, нуждающиеся в ответных действиях; изменение ТУП и т.д.

Разработка пользовательского интерфейса ИС основывается на процедурно-ориентированном и объектно-ориентированном подходах [7–9]. Основу же разработки ИПИ составляет процедурно-ориентированный интерфейс, базирующийся на традиционной модели взаимодействия программного обеспечения (ПО) с обучаемым с использованием понятий «процедура» и «операция». В нем ПО предоставляет обучаемому возможность выполнения определенных действий, для которых он определяет соответствующие данные и итогом которых является получение желаемых результатов. Различают процедурно-ориентированные интерфейсы трех типов: «примитивные»; интерфейс-меню и со свободной навигацией [5, 7].

Примитивным является интерфейс, в котором взаимодействие обучаемого с ИТС осуществляется в консольном режиме (через командную строку). Он реализует конкретный алгоритм работы ПО, например, ввод данных; решение задачи; вывод результата и т.п.

Интерфейс-меню позволяет выбирать необходимые операции из специального списка, выводимого программой на основе реализации множества алгоритмов работы, последовательность действий которых, определяется обучаемым. Различают одноуровневые, иерархические и контекстные меню.

Одноуровневое меню используется для сравнительно простого управления вычислительным процессом ИС, когда вариантов действий немного (не более 5–7), и оно включает, как правило, операции одного типа, например «Создать», «Открыть», «Закрыть» и т.п.

Иерархическое меню в ИС используется при большом количестве вариантов действий или при их очевидных различиях, например операции с файлами и операции с данными, хранящимися в этих файлах. Алгоритм программы с многоуровневым меню строится по уровням, при этом выбор команды на каждом уровне осуществляется так же, как для одноуровневого меню.

Интерфейс-меню предполагает, что программа находится в состоянии «Уровень меню» или «Выполнение операции». В состоянии «Уровень меню» осуществляется вывод меню соответствующего уровня и выбор нужного пункта меню, а «Выполнение операции» – реализуется сценарий выбранной операции. Древовидная организация меню предполагает строго ограниченную навигацию: либо переходы «вверх» к корню дерева, либо – «вниз» по выбранной ветви.

Интерфейсы со свободной навигацией ориентированы на использование экрана в графическом режиме с высокой разрешающей способностью. Графические интерфейсы поддерживают концепцию интерактивного взаимодействия с ПО, осуществляя визуальную обратную связь с ним и возможность прямого манипулирования объектами и информацией на экране ИПИ.

Для создания у обучаемого ощущения «внутренней свободы» ИПИ должен обладать целым рядом свойств [7–9].

Естественность интерфейса – он не вынуждает обучаемого существенно изменять привычные способы решения задачи. Это, в частности, означает, что сообщения и результаты, выдаваемые ИПИ, не должны требовать дополнительных пояснений.

Согласованность интерфейса – позволяет обучаемым переносить имеющиеся знания на новые УТЗ, осваивать новые аспекты быстрее, и благодаря этому фокусировать внимание на решаемой задаче.

Дружественность интерфейса – обучаемые обычно изучают особенности работы с новым программным продуктом методом проб и ошибок, что должно учитываться при разработке ИПИ. На каждом этапе работы он должен разрешать только соответствующий набор действий и предупреждать обучаемых о ситуациях, где они могут повредить ИТС или данные. Даже при наличии хорошо спроектированного ИПИ обучаемые могут делать ошибки «физического» (случайный выбор неправильной команды или данных) и «логического» (принятие непра-

вильного решения на выбор команды или данных) типа. Эффективный ИПИ должен позволять предотвращать ситуации, которые, вероятно, закончатся ошибками, и уметь адаптироваться к потенциальным ошибкам обучаемого и облегчать процесс устранения последствий ошибок.

Принцип «обратной связи» – необходимо обеспечивать обратную связь для действий обучаемого. Каждое действие должно получать визуальное подтверждение того, что ПО ИПИ восприняло введенную команду; при этом вид реакции, по возможности, должен учитывать природу выполненного действия. Обратная связь эффективна, если она реализуется своевременно, т.е. как можно ближе к точке последнего взаимодействия пользователя с ИПИ. Когда ИПИ обрабатывает поступившую УТЗ, полезно предоставить обучаемому информацию относительно состояния процесса, а также возможность прервать в случае необходимости этот процесс.

Простота интерфейса – обеспечение легкости в использовании и предоставлении доступа к перечню функциональных возможностей ИТС на основе: представление на экране ИПИ информации, минимально необходимой для выполнения обучаемым очередного этапа решения УТЗ; размещение и представление элементов на экране с учетом их смыслового значения и логической взаимосвязи, что позволяет использовать ассоциативное мышление обучаемого.

Последовательное раскрытие элементов (диалоговых окон, разделов меню и т.д.) ИПС – предполагает такую организацию информации, при которой в каждый момент времени на экране находится только та ее часть, которая необходима для выполнения очередного этапа. Сокращая объем информации, представленной обучаемому, тем самым уменьшается объем информации, подлежащей обработке. Примером такой организации является иерархическое (каскадное) меню, каждый уровень которого отображает только те пункты, которые соответствуют одному, выбранному обучаемым, пункту более высокого уровня.

Гибкость интерфейса – это его способность учитывать уровень теоретической и практической подготовки и производительность работы обучаемых. Данное свойство предполагает возможность изменения структуры диалога и/или входных данных.

Эстетическая привлекательность – корректное визуальное представление используемых объектов обеспечивает передачу важной дополнительной информации оведении и взаимодействии различных объектов.

Качество ПИ сложно оценить количественными характеристиками, однако более или менее объективную его оценку можно получить на основе приведенных частных критериев [5, 7]:

- время, необходимое обучаемому для достижения заданного уровня знаний и навыков по работе с УТЗ;
- сохранение полученных рабочих навыков по истечении некоторого времени (например, после некоторого перерыва обучаемый должен выполнить определенную последовательность операций за заданное время);
- скорость решения УТЗ – должно оцениваться не быстродействие ИТС и не скорость ввода данных с клавиатуры, а время, необходимое для достижения цели решаемой УТЗ;
- субъективная удовлетворенность обучаемого при работе с ИТС (которая количественно может быть выражена в процентах или оценкой по n-бальной шкале).

Проведенный анализ видов и свойств ПИ ИС, исходя из содержания решаемых УТЗ подготовки специалистов по применению РЭО на основе ИТС, позволяет остановиться на процедурно-ориентированном иерархическом ИПИ на множестве перечисленных его свойств.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА ИПИ

Основу взаимодействия обучаемого с ИТС составляет ИПИ как составная часть системы поддержки принятия решений для оказания помощи обучаемым по поиску эффективных способов применения РЭО и преодоления возникающих трудностей при их взаимодействии со сложным аппаратно-программным комплексом путем расширения возможностей ИПИ по сравнению с традиционными ПИ. Он должен обеспечивать адаптивное к обучаемому и решаемой им УТЗ взаимодействие (диалог) обучаемого с ИТС и представление информации в интегрированном исчерпывающем виде за счет анализа входной информации для выяснения намерений и выдачи ответов на возникшие вопросы обучаемых. ИПИ является ключевым элементом ИТС, поскольку он отвечает за оперативный выбор и передачу информации от других систем (диспетчеров) для ее отображения, за задержку или удаление информации, а также контроль за выполняемыми действиями при выполнении УТЗ от имени обучаемого как лица, принимающего решения.

Разработка интерфейса ИТС базируется на [1]:

- организации взаимодействия АПС с уровня системы (диспетчера) команд для управления работой ИТС (в том числе и ИПИ) на основе доведения информационных сообщений и управляющих команд (сигналов) до задействованных программных компонент (ПК);
- обработке данных для обеспечения информационного обмена между ПК с помощью системы (диспетчера) управления данными, отвечающей за сопряженность данных между ПК исходя из управляющих действий, формируемых обучаемыми на ИПИ;
- распределении диспетчером ПК в виде совокупности

сопряженных программных сервисов, между которыми осуществляется организованное разделение сведений о состоянии ИТС для управления процессом интеллектуального решения обучаемыми УТЗ и контроль поэтапного их выполнения с помощью ИПИ под руководством преподавателя.

В ИПИ действия обучаемого интерпретируются в терминах уровня целей – желательного состояния РЭО на множестве условий воздействия внешней среды и уровня планов – методов целенаправленного изменения состояния РЭО для получения желательного состояния, которые служат входом для ПК ИТС, инициирующей соответствующие действия. ИПИ является формой связи между обучаемым и реализующей ИТС информационную модель РЭО.

Связь обучаемого с преподавателем поддерживается на основе интерпретации цели, вытекающей из требований (заданий) решаемой УТЗ. В ИТС в режиме реального времени обучаемому легче реализовать этапы плана, сгенерированные ИПИ в результате интерпретации целей УТЗ (преподавателя). Результаты процесса интерпретации приводят к активизации планов и целей в модели ИТС, которые передаются обучаемому ИПИ через требования УТЗ – структурированный план преподавателя. Если обучаемый воспринимает требования УТЗ, активизируются планы и цели, которые были определены преподавателем.

Возможны две разновидности интерпретации плана УТЗ – основанные на множестве типовых условий применения (ТУП) моделируемого РЭО, которые используются для определенной последовательности действий, и основанные на плане, которые используются для менее структурированных действий обучаемого. Преимущество интерпретации УТЗ на основе ТУП заключается в быстрой, так как не требуется никакого поиска (в отличие от интерпретации, основанной на плане) входной информации для ее решения. В процессе рассуждения, основанном на ТУП, используется набор предварительно заполненных процедурных представлений для объяснения с помощью ИПИ интерпретированных действий обучаемого при решении УТЗ по структурированным уровням взаимодействия РЭО с внешней средой.

Действия, основанные на плане, используются для объяснения действий обучаемого при достижении одной из его частных целей при выполнении УТЗ. Для формирования заключения о действиях обучаемого используется база знаний, которая включает в себя два типа знаний: интерпретация и взаимное исключение. Интерпретация знаний описывает условия, при которых частный план (или цель) может интерпретироваться как часть плана (или цели) УТЗ. Если гипотетические планы (цели) УТЗ не могут быть выполнены, то осуществляется методом ис-

ключения обратный поиск менее сложной УТЗ с учетом предыстории работы обучаемого.

ТУП и планы (цели) отражаются в интерфейсе ИТС для формирования исходного представления о УТЗ и используются диспетчером команд для решения задач управления применением моделируемого РЭО и отображением соответствующей информации на экране ИПИ.

На первом этапе диспетчер команд использует схему классификации ошибок, основанную на упущениях, повторениях или ошибочных операциях обучаемых. Например, при выполнении последовательности действий обучаемые иногда пропускают, повторяют этапы или выполняют этапы, не входящие в определенную последовательность решения УТЗ. Как только обнаружена ошибка этого типа, предсказываются последствия этого действия, могут объясняться упущения, повторения или ошибки в последовательности выполнения УТЗ, а также обеспечивается помощь после совершенного ошибочного действия с постепенным наращиванием предупреждений при обнаружении только процедурных, определенных в контрольных списках ошибок.

На втором этапе диспетчер команд отслеживает действия обучаемого и изменяет состояние в списке ошибок, которые могут привести к изменению состояния ИТС. Когда состояния ИТС изменяются в направлении снижения устойчивости функционирования РЭО, повышается уровень реакции от алгоритма общего решения УТЗ (отображения и предупреждения через ИПИ). Действия обучаемого подвергаются последовательному анализу и, если не обнаруживается нарушение логической последовательности в его действиях, то не производится дальнейшая обработка его действий. Ошибочные действия анализируются диспетчером команд, который пытается классифицировать упущения, повторения или ошибки в этапах выполнения УТЗ.

ИПИ показывает, что необходимо обучаемому для решения УТЗ; сокращает на него нагрузку, конфигурируя средства управления отображением автоматически; обеспечивает обучаемого необходимой информацией для завершения УТЗ; подготавливает обучаемого к будущей повышенной сложности УТЗ и представляет ему сформированные планы последующей работы. Как только требования УТЗ определены обучаемому, ИПИ должен выбрать соответствующие устройства отображения для их выполнения. Выбор отображения является задачей планирования по распределению и расположению элементов ИПИ. Распределение заключается в определении размера пространства для каждой части информации и предполагает определение позиции расположения информации относительно некоторых элементов отображения.

Управление элементами отображения ИПИ осуществляется диспетчером команд на основе: а) анализа и сбора информационных требований о УТЗ (планов и событий) и сортировки их по важности и б) анализа информационных требований УТЗ в текущий момент времени для распределения ресурсов устройств отображения. Диспетчер команд принимает ряд решений: что отображать, какую информацию выделить, какие средства отображения использовать (аудио, видео, текст, графика), какие использовать атрибуты (цвет, размер, интонация) и т.д.

Разработка ИПИ основывается на выделении функций управления работой обучаемых, их анализа и формулировка на этой основе моделей, процедур и алгоритмов решения УТЗ, позволяющих с инвариантных позиций сформировать варианты его построения, оценить, сравнить их по критерию эффективности и выбрать оптимальный. Большое число конфигураций интерфейса ИТС, с одной стороны, адаптирующегося к информационно-образовательной среде выбором состава и взаимосвязей между его элементами, а с другой стороны, отсутствие методического аппарата анализа эффектов от его применения для обеспечения решения обучаемыми совокупности УТЗ, предопределили использование для построения ИПИ методов математического моделирования. Основу ИТС составляет имитационная модель, в которую загружены алгоритмы обработки информации от устройств и датчиков процесса функционирования РЭО, управляющих сигналов, а также генераторы управляющих сигналов для устройств. Ее логика работы определяется конфигурацией ИТС, которая получает информацию от устройств обеспечения процесса функционирования РЭО через устройства ввода/вывода, представляющего набор интерфейсных единиц, каждая из которых получает данные от какого-либо устройства обеспечения процесса функционирования РЭО или передает туда управляющие сигналы. Это позволяет разработать ИПИ, позволяющий заменить собой реальные устройства ввода/вывода, что, в свою очередь, обеспечивает возможность подключения различных ПК для моделирования процесса функционирования РЭО под управлением диспетчера команд, используя существующие программные средства математического моделирования, а также собственные средства реализации математических моделей, в том числе различные языки программирования.

Функционирование ИТС заключается в выполнении под управлением обучающегося УТЗ, структурированную на соответствующую совокупность элементов на уровне ИПИ. Основу структуризации УТЗ составляет выделение:

- функций – уточнение цели для перевода ИТС за время t из x^0 начального состояния в состояние, принадлежащее области достижимости решения УТЗ – характеризующееся максимальным значением целевого

функционала W ; сложностью решаемой задачи; ТУП моделируемого уровня РЭО; объектом информационного воздействия; уровнем подготовки обучаемого к решению i -ой УТЗ; временем ее выполнения и формой представления результатов решения;

- структуры – выделения элементов ИПИ и их взаимосвязей для реализации функций управления ИТС при решении обучаемым i -ой УТЗ;
- параметров – определения количественных характеристик для оптимизации (p_{opt}), распределения ($p_{распр}$) и расположения ($p_{расн}$) элементов ИПИ на экране монитора.

Пусть обучаемым определена для выполнения i -ая УТЗ, характеризующаяся функцией наблюдения (в виде вектора состояний) $v = (v_1, v_2, \dots, v_j)$ и функцией управления (в виде стратегий действий) обучаемого $u = (u_1, u_2, \dots, u_j)$ для ее решения. На основе ввода определенных требований к УТЗ с помощью ИПИ обучаемый выбором u управляющих действий стремится получить желаемый результат ее решения переводом ИТС с x^0 начального состояния в желаемое, например, x^1 состояние, характеризующее конечное состояние ИТС по результатам решения УТЗ. Это позволяет состояние ИТС представить в виде функционального уравнения

$$x(t) = f(x^0, t, u(t), v(t)), \tag{2}$$

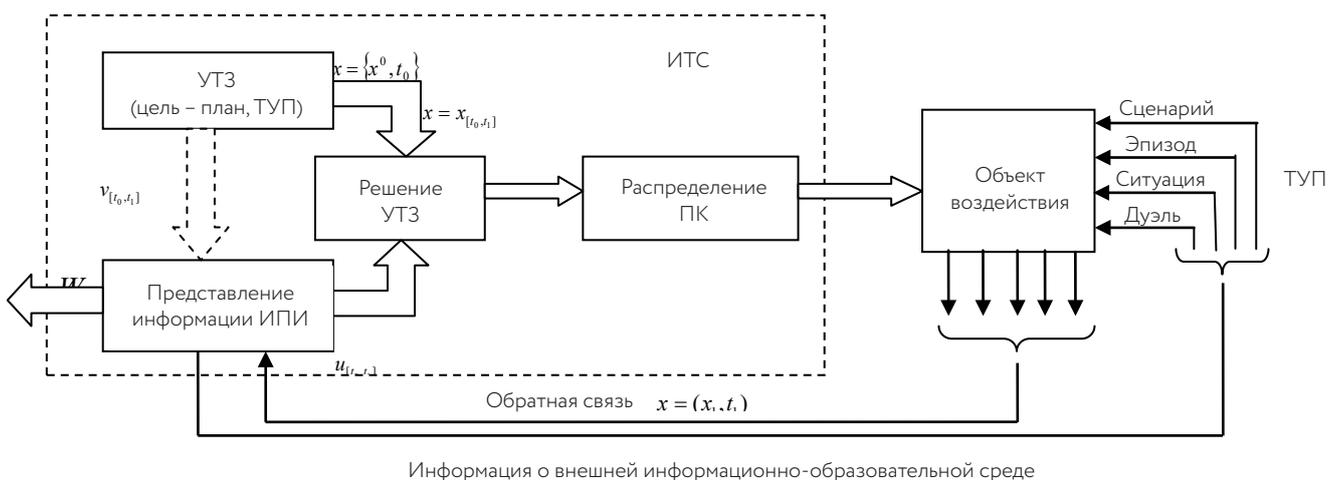
где: $x(t)$ – i -мерный вектор эффективности решения УТЗ, характеризующийся результатом ее решения, временем выполнения, оценкой и ошибками (при необходимости, с объяснением);

$u(t)$ – j -мерный вектор управления как функция стратегий действий обучаемого для выполнения УТЗ, в том числе и число выполняемых элементарных действий с помощью ИПИ;

$v(t)$ – n -мерный вектор наблюдения за состоянием ИТС при решении УТЗ как функция уровня РЭО (v_1), номера (v_2), сложности (v_3), уровня теоретической и практической подготовленности обучаемого (v_4) к решению УТЗ для определенных ТУП (v_5) моделируемого РЭО.

В общем случае состояние ИТС определяется некоторым оператором F , $x(t) = F(x^0, t, u_{[t_0, t_1]}, v_{[t_0, t_1]})$, определенным на декартовом произведении множеств $X \times U \times V$, $x \in X, u \in U, v \in V$, характеризующих состояние ИТС в конце некоторого интервала $[t_0, t_1]$ решения УТЗ. Как правило, оператор F не имеет формально-математического выражения и представляет собой логику-взаимосвязанную систему операций и процедур реализации ИТС цели решения УТЗ. Исходя из этого, процесс решения УТЗ определяется вектор-функцией $u_{[t_0, t_1]}$ на множестве возможных стратегий действия обучаемых при котором ИТС переходит из состояния $x(t) = x^0$ в состояние $x(t) = x^1$.

Эффективность решения УТЗ, характеризующаяся некоторым критерием оптимальности, представляет функционал $W(x_{[t_0, t_1]}, u_{[t_0, t_1]}, v_{[t_0, t_1]})$ заданный на множестве X, U и V . Информационное представление решения УТЗ на множестве X, U и V приведено на рис. 1.



Информация о внешней информационно-образовательной среде

Рис. 1. Информационное представление решения УТЗ

Действия обучаемого $u_{[t_0, t_1]} \in U$ при заданных x^0 и x^1 , интервале $[t_0, t_1]$ и операторе F выбираются из условия максимизации функционала W как функции $x_{[t_0, t_1]}$ траектории состояний ИТС и $u_{[t_0, t_1]}$ стратегий его действий. Подчиняя выбор $u_{[t_0, t_1]} \in U$ множеству возможных действий для решения УТЗ при заданном $v_{[t_0, t_1]}$ в задаче максимизации критерия W , получим оптимальное управление ее реше-

нием в виде

$$W = \text{Arg max } W(x^0, t, u_{[t_0, t_1]}, v_{[t_0, t_1]}, x_{[t_0, t_1]}) | x(t) = F(x^0, t, u_{[t_0, t_1]}, v_{[t_0, t_1]}, x_{[t_0, t_1]}); \tag{2}$$

$$u_{[t_0, t_1]} = (u_{1[t_0, t_1]}, u_{2[t_0, t_1]}, \dots, u_{i[t_0, t_1]}) \in R(u); \quad x^0, x^1 \in R, \quad t \in [t_0, t_1],$$

где пространство $R(u)$ определено ограничениями u^0 на число элементарных операций обучаемого для ввода на ИПИ, определенных требований к решаемой УТЗ и

$u_{[t_0, t_1]}$ множеством стратегий его действий для ее решения ($u_{[t_0, t_1]} < u^0$), а R – пространство состояний ИТС.

Управление $u_{[t_0, t_1]}$, при котором функционал W принимает максимальное значение, является оптимальным.

В основу модели ИТС, вытекающей из структуры РЭО, положено использование метода ситуационного управления процессом обучения на иерархических уровнях ТУП: дуэлей (взаимодействие рассматриваемого уровня РЭО с одним информационным средством, отношение 1:1), ситуаций (РЭО ↔ информационное средство, 1:М, М:1), эпизодов (РЭО ↔ группировка информационных средств, М:М) и сценариев (РЭО ↔ информационная система, М:М) с сопоставлением каждому из них исходя из требований i -ой УТЗ эффективного управления $u_{[t_0, t_1]} \in U$, обеспечивающего перевод ИТС в требуемое состояние $W_i = W_{ik}^{mp}$, где W_{ik}^{mp} , $k = 3, 4, 5$ соответствует критерию оценки эффективности выполнения i -ой УТЗ обучаемым.

Исходя из этого, задача разработки интерфейса ИТС заключается в обосновании структурно-функциональных характеристик (требований) к ИПС, обеспечивающих минимизацию N числа элементарных операций подачи информации обучаемым для определенного уровня теоретической и практической его подготовки для решения i -ой УТЗ в виде

$$\begin{aligned} W_i &= \text{Arg min}_i (v_{1i}, v_{2i}, v_{3i}, v_{4i}, v_{5i}, P_{opti}, P_{pacpi}, P_{pacni}, t_i), \\ \text{при: } W_i &\geq W_{ik}^{mp}; \quad t_i \leq T_i^{mp}; \quad P_{opti}, P_{pacpi}, P_{pacni} = \text{const}, \end{aligned} \quad (3)$$

обеспечивающей решение i -ой УТЗ с заданной эффективностью за минимальное время при определенных на этапе параметрического синтеза характеристиках элементов и ИПИ в целом.

Реализация задачи структурно-функционального синтеза интерфейса ИТС основывается на иерархической многоуровневой системе моделей, процедур и алгоритмов решения общей и частных задач. Схематично процесс решения задачи структурно-функционального синтеза ИПИ приведен на рис. 2 в виде итерационного информационного процесса с обратной связью как функции уровня ТУП, моделируемого уровня и типа РЭО, структурной сложности УТЗ и интеллектуального уровня подготовки обучаемых. Он основывается на решении двух взаимосвязанных задач:

- обоснования функционально-структурных характеристик к облику ИПИ и определение основных характеристик его элементов для обеспечения взаимодействия обучаемых с ПО ИТС;
- определения алгоритмической последовательности операций для выполнения i -ой s -ой структурной сложности УТЗ как функции p -го качества ее решения обучаемым с учетом теоретической и практической подготовки применительно к r -му уровню ТУП РЭО.

В общем случае при разработке архитектуры ИТС предусматривается создание предметно-ориентированного ИПИ, обеспечивающего ввод/вывод данных, анализ предыстории результатов решения УТЗ обучаемым, замену и обмен информацией ПК – это позволяет реализовывать различные модели технологических процессов ее функционирования, используя программные средства математического моделирования. Подключенное к ИТС ПО обеспечивает реализацию поддержки эмуляторов, необходимых для имитации и отражении на экране ИПИ тех или иных процессов реализации ТУП моделируемых РЭО. Решение задачи обеспечения взаимодействия и корректных взаимосвязей ПК при моделировании процессов взаимодействия обучаемых с ИТС основывается на алгоритмах передачи сообщений и данных от одного ПК к другому. Реализация логических связей между ПК основывается на ПК формирования интерфейсного обмена.

В соответствии с иерархическим построением РЭО в архитектуре ИТС также осуществляется выделение составляющих программных элементов – ПК, условно распределенных по уровням взаимодействия при решении i -ой УТЗ. Архитектура ИТС, построенная на основе функционально-блочной структуры обеспечивает формирование матрицы управления ПК, их применение и распределение по уровням информационного взаимодействия в зависимости от сложности моделируемого уровня элементов или РЭО в целом и выбора типов информационного обмена между ПК. Она определяет взаимосвязь управляющих ПК с ИПИ, так как они находятся на одном уровне. ИПИ реализуется в виде отдельной или совокупности ПК [1].

На самом верхнем уровне архитектуры ИТС располагаются ПК, предназначенные для трансформации и представления ИПИ результатов в интерактивном виде всей выработанной (полученной) информации, а также содержатся подпрограммы, описывающие ИПИ. ПК, используемые для формирования ИПИ, включают в себя сервис ПО обучающегося, сервис ПО преподавателя и систему (диспетчер) команд для управления ИТС. Сервис ПО обучающегося используется непосредственно для реализации процесса выполнения обучающимся УТЗ. Он основывается на ПК обучения и контрольной ПК, которые делятся на подмодули выбора, выполнения и проверки задания, формирования и просмотра статистик выполнения обучающимся УТЗ. Сервис ПО преподавателя основывается на ПК, обеспечивающих выбор УТЗ, контроля эффективности их решения, управления структурной сложностью решаемой обучающимся УТЗ и обеспечения интерактивного управления УТЗ. Уровень предназначен для представления, подготовки и перекомпоновки всей внутренней информации в интерактивное представление для пользователя, а также для обеспечения человеко-машинного взаимодействия.

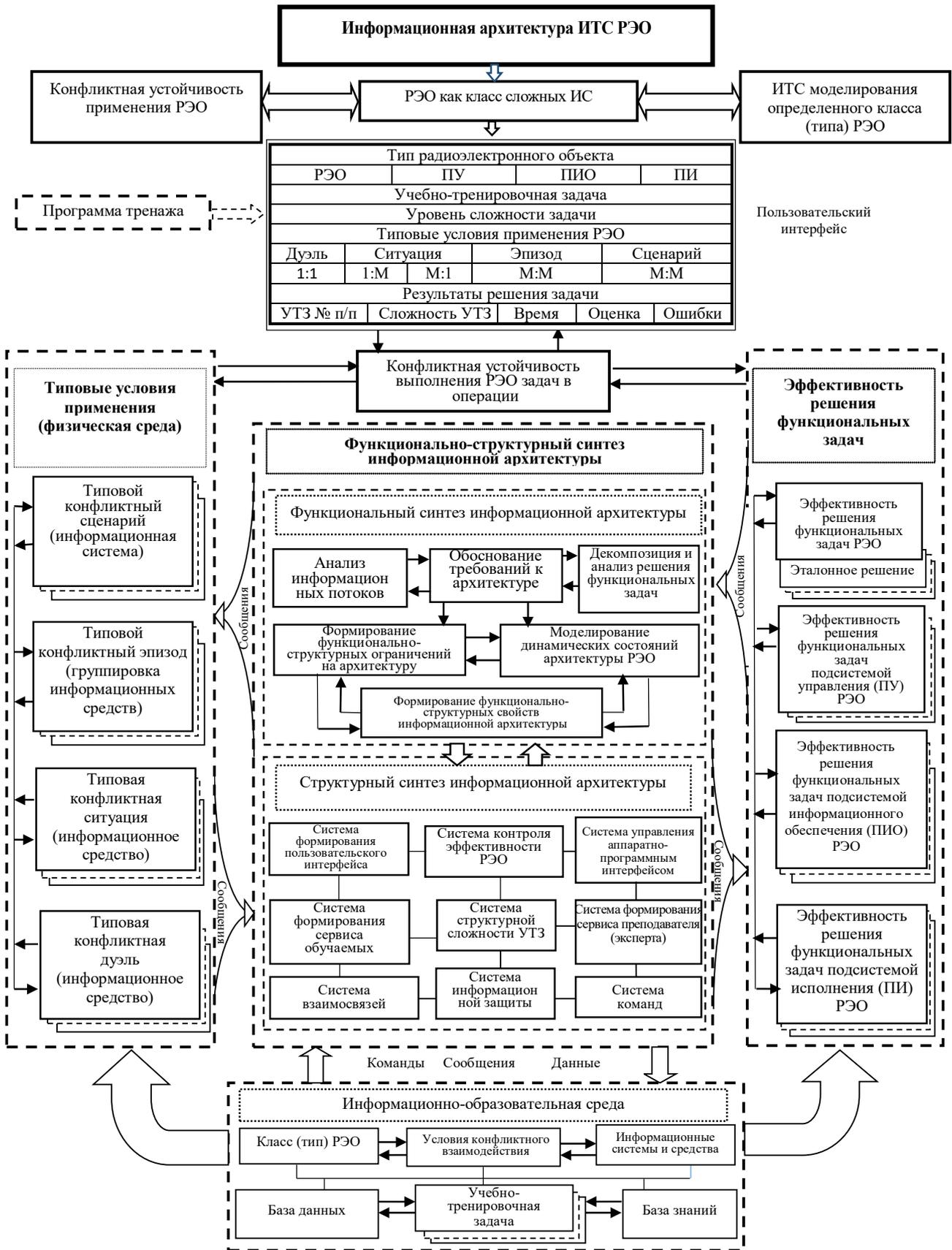


Рис. 2. Схематичное представление задачи структурно-функционального синтеза ИПИ

С помощью ИПИ обучающийся из банка УТЗ может выбрать либо произвольную, либо назначенную ему преподавателем УТЗ и затем приступить к ее выполнению. При выполнении УТЗ обучающийся может запросить дополнительную информацию из базы данных. После того как обучающийся выполнил УТЗ, оно отправляется на проверку в ПК для проверки УТЗ, объяснения и отображения результатов решения задачи с помощью ИПИ.

Организация решения УТЗ в ИТС осуществляется на основе системы команд внутренней организации диспетчера команд, задействованных в сообщениях. Решения по вводу с ИПИ требований к i -ой УТЗ и обработке данных основываются на ведении информационного обмена в параметрах сообщений диспетчера данных ИТС, отвечающем за “прозрачное” для ПК взаимодействие с базой данных. Диспетчер данных аккумулирует данные в виде индивидуального информационного пространства, задействованного ПК на время моделирования, организует их хранение и предоставление. Для запроса данных ПК отправляет сообщение диспетчеру команд, который транслирует запрос диспетчеру ПК. Диспетчер данных извлекает запрошенные данные из базы данных (по необходимости), упаковывает их и возвращает ответ диспетчеру команд, который транслирует его запросившему ПК. Восстановление состояния вычислительного процесса, а также подключение нового ПК к моделированию реализуется аналогично, т.е. ПК запрашивают у диспетчера данных все необходимые им данные с трансляцией на экран ИПИ для контроля обучаемым.

Информационное взаимодействие ПК при решении i -ой УТЗ базируется на анализе диспетчером ПК, составляющего основу реализации матрицы распределения ресурса ПК, необходимой информации для функционирования l -ых ПК на m -ом этапе решения i -ой УТЗ. Оно основывается на взаимодействии диспетчера команд и диспетчера управления данными, обеспечивающих алгоритмическую во времени последовательность выдаваемых/транслируемых/получаемых и обрабатываемых сообщений.

Решения внутренней организации диспетчера ПК основываются:

- на представлении диспетчера команд в виде набора сопряженных сервисов ПО, которые взаимодействуют

между собой на основе программных очередей сообщений, не располагая конкретными сведениями о внутренней организации друг о друге;

- работа сервисов ПО основывается на реализации принцип квантования времени процесса моделирования на интервалы равной длины;
- на включении для управления процессом обучения в ИТС программных сервисов, обеспечивающих формирование и модификацию баз знаний и данных, актуализацию информации об обучаемых, формировании и назначении УТЗ, а также просмотре данных о статистике выполнения заданий обучаемыми. При этом сервис ПО обучаемого состоит из ПК обучения и контроля, разделяемых на несколько ПК: выбор на ИПИ номера УТЗ, выполнение и проверка решения, формирование и просмотре статистики. Сервис ПО преподавателя основывается на ПК назначения УТЗ, контроля их решения обучающимся, управления структурной сложностью решаемой УТЗ исходя из интеллектуальной подготовки обучаемого и интерактивного формирования УТЗ.

На каждом временном интервале решения УТЗ сервисы ПО последовательно обрабатывают накопившиеся в очереди сообщения и актуализируют на экране ИПИ определенные сведения. Данные разделяются средствами специального диспетчера актуализируемых сведений, рассматриваемого в виде «черного ящика».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения задачи структурно-функционального синтеза ИПИ проведен анализ проблем и подходов к разработке ПИ, рассмотрены виды, свойства и критерии их качества и разработан метод синтеза ИПИ ИТС. Метод позволяет обосновать характеристики (требования) ИПИ по операциям подачи требуемой информации обучаемым для решения каждой УТЗ за минимально число операций. Требования основываются на взаимодействии задействованных ПК посредством программного описания интерфейса обмена данными и действий с входной и выходной информацией. ПК отражают иерархическое раскрытие ИПИ при решении обучаемым УТЗ по способам применения моделируемого РЭО на множестве условий его применения.

Список использованных источников и литературы

1. Мистров Л.Е., Поляков О.В. Концептуальная модель синтеза архитектуры интеллектуальных тренажерных систем подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2021. № 4 (62). – С. 52–64.
2. Мистров Л.Е., Поляков О.В. Метод синтеза интеллектуальных тренажерных систем подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов // Информационные системы и технологии. 2021. №6 (128). С. 78–82.
3. Белоусова С.А., Rogozov Ю.И. Анализ подходов к созданию пользовательского интерфейса // Известия ЮФУ. Технические науки. С.142–147.

4. Спицина И.А., Аксенов К.А. Применение системного анализа при разработке пользовательского интерфейса информационных систем: Учебное пособие. – Уральский федеральный университет. 2018. 100 с.
5. Грибова В.В., Клещев А.С. Концепция разработки пользовательского интерфейса на основе онтологий. Ч. 1. Инструментарий для разработки пользовательского интерфейса (обзор литературы). Основная идея подхода. – Владивосток: ИАПУ ДВО РАН. 2003. 24 с.
6. Сергеев С.Ф., Падерно П.И., Назаренко Н.А. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов: Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО – 2011. 108 с.
7. Купер А., Носсел К., Кронин Д. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия. – СПб.: Питер, 2022. 720 с.
8. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – М.: Символ-Плюс, 2005. 160 с.
9. Тидвелл Д. Разработка пользовательских интерфейсов. Т. 6. 2-ое изд. – М: Питер, 2011. 480 с.

METHOD OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SYNTHESIS OF THE USER INTERFACE OF AN INTELLIGENT TRAINING SYSTEM FOR TRAINING SPECIALISTS IN THE APPLICATION OF RADIO ELECTRONIC OBJECTS

Mistrov L.E., 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", Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Polyakov O.V., Teacher of the VUNC VVS "VVA named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

It is proposed to develop [1] a method for substantiating the basic structural and functional requirements for the development of a user interface for intelligent training systems (PI ITS) for training specialists in the application of various purposes of radio electronic objects. The main difficulties associated with the development of PI information systems are identified. The analysis of design principles, types, properties and quality criteria of information systems was carried out and the main characteristics of the quality of PI ITS were established. A physical and mathematical formulation of the problem of synthesis of PI ITS based on minimizing the number of operations for supplying information to a student has been developed, and a structural-functional scheme for its development has been proposed, which provides software implementation of certain requirements.

Keywords: intelligent training system, trainable, structural-functional synthesis, principles, types, properties and quality criterion of the user interface, software, software component, modeling.

References

1. Mistrov L.E., Polyakov O.V. Conceptual model for the synthesis of the architecture of intelligent training systems for training specialists in the use of radio-electronic objects // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. 2021. 4 (62). – Pp. 52–64.
2. Mistrov L.E., Polyakov O.V. Synthesis method of intelligent training systems for training specialists in the application of radio–electronic objects // Information systems and technologies. 2021. №6 (128). Pp. 78–82.
3. Belousova S.A., Rogozov Yu.I. Analysis of approaches to creating a user interface. Izvestiya SFU. Technical science. Pp. 142–147.
4. Spitsina I.A., Aksenov K.A. Application of system analysis in the development of the user interface of information systems: Textbook. – Ural Federal University. 2018. 100 p.
5. Gribova V.V., Kleshchev A.S. The concept of user interface development based on ontologies. Part 1. Tools for developing a user interface (literature review). The main idea of the approach. – Vladivostok: IAPU FEB RAN, 2003. 24 p.
6. Sergeev S.F., Paderno P.I., Nazarenko N.A. Introduction to the design of intelligent interfaces: Tutorial. – St. Petersburg: SPbGU ITMO. 2011. 108 p.
7. Cooper A., Nossel K., Cronin D. Interface. Interaction Design Fundamentals. – St. Petersburg, Peter, 2022. 720 p.
8. Raskin D. Interface: new directions in the design of computer systems. – M.: Symbol-Plus, 2005. 160 p.
9. Tidwell D. Development of user interfaces. T.6. 2nd ed. – M: Piter, 2011. 480 p.