

Интеллектуальная технология построения интегрированных экспертных систем¹

Аннотация. В работе рассматриваются особенности методов и технологий интеллектуальной поддержки разработки интегрированных экспертных систем, построения которых осуществляется на основе задачно-ориентированной методологии, предложенной Г.В. Рыбиной в середине 90-х годов, и программного инструментария – комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ третьего поколения, представляющего собой автоматизированное рабочее место инженера по знаниям. Описывается оригинальный подход к «интеллектуализации» процессов разработки систем данного класса на основе методов и программных средств, объединяемых общим понятием «интеллектуальная среда».

Ключевые слова: интегрированные экспертные системы, ИЭС, интеллектуальная среда, интеллектуальный планировщик, база знаний, типовая проектная процедура, повторно-используемые компоненты.

Введение

Исследования авторов данной статьи фокусируются на конкретном классе программных систем – интегрированных экспертных системах (ИЭС) [1]. Здесь, как и в других направлениях ИТ-индустрии, итогом развития инструментальной базы для создания традиционных экспертных систем ЭС и ИЭС, начиная с 90-х годов XX века, явилось значительное смещение акцентов в сторону так называемой «открытости» систем как для пользователей, так и для разработчиков, причем основу «открытости» составляет закладываемая в методологиях разработки ЭС и ИЭС идея «интеллектуализации» процессов построения систем данного класса [1-4].

Первые шаги в этом направлении прослеживаются в интеллектуальных системах, разработанных еще в 80-е годы XX века, когда для поддержки процессов разработки использовались механизмы автоматического планирования действий разработчиков. Спектр применяемых подходов довольно разнообразен. Это, прежде всего традиционные подходы к планированию: классические методы планирования

(общий решатель задач GPS) [5,6], механизмы поиска в пространстве состояний при построении планов (STRIPS, SNLP, O-PLAN) [5,7], построение планов на основе методов планирования с чередованием шагов (HACKER, WARPLAN, INTERPLAN) [8], планирование на основе поиска в процедурных сетях (NOAH, NONLIN) [7,8], использование расширенной классической модели планирования для работы с неопределенностями в среде посредством введения вероятностных распределений по исходным состояниям и результатам действий (BURIDAN) [7, 8].

Кроме того можно указать некоторые специфические подходы, такие как: многоуровневое альтернативное немонокотное планирование (решатель геометрических задач) [8], планирование и управление проектами в условиях неполноты и неточности информации о сроках выполнения задания (Time-EX) [9] и др. В целом, как показано Г.С. Осиповым [10], работы по созданию эффективных алгоритмов синтеза планов уже около 30-ти лет занимают важное место в исследованиях по искусственному интеллекту, особенно в области интеллектуального управления и многоагентных систем.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 09-01-00638)

С середины 90-х годов XX века усиление влияния CASE-технологий, технологий распределенных приложений (COM, DCOM, Java RMI, CORBA, .NET и др.), KBSA-подхода (Knowledge Base Systems Assistant) в области инструментальной базы для создания ЭС привело к выделению нового направления KBSE (Knowledge Base Software Engineering) [1-4], которое определило необходимость «интеллектуализации» процессов разработки различных классов ЭС.

В настоящее время развитие информационных технологий естественным образом привело к эволюции традиционных ЭС в сторону ИЭС – более сложного класса интеллектуальных систем, для которого проблемы технологической поддержки разработки весьма значимы и актуальны. Поскольку ИЭС обладают свойством масштабируемости, благодаря которому происходит наращивание функциональности систем данного класса, то это приводит к усложнению и увеличению количества стадий и итераций в моделях жизненного цикла (ЖЦ) разработки как отдельных компонентов ИЭС, так и ИЭС в целом [1].

Важным требованием к методологиям и средствам построения систем класса ИЭС являются требования по снижению стоимостных показателей разработки, выраженных в объеме затрачиваемых на разработку ресурсов (трудозатрат) и квалификационных требованиях к персоналу (инженерам по знаниям). В условиях довольно бурно развивающегося ИТ-рынка этот фактор является одним из ключевых уже не только у ведущих производителей программного обеспечения (таких как IBM, Microsoft, SA и др.), но и у более мелких игроков рынка ИТ-индустрии.

Как показал опыт, накопленный в ходе создания целого ряда прикладных ИЭС [1], значительная часть проблем при разработке ИЭС связана с высокой сложностью этапов проектирования и реализации систем данного класса, причем существенное влияние на специфику и организацию данных этапов ЖЦ оказывает конкретная проблемная область (ПрО). Кроме того весьма значимым остается человеческий фактор, влияние которого во многих случаях приводит к повышению трудозатрат и затягиванию сроков разработки. Специфика технологий построения ИЭС в ряде случаев не позволяет применять технологические достижения и

приемы, применяемые при разработке традиционного программного обеспечения.

В середине 90-х годов для решения проблем, связанных с построением ИЭС, были созданы задачно-ориентированная методология (ЗОМ) [1,11], объединяющая модели и методы, применяемые на всех этапах ЖЦ построения ИЭС в рамках единого системного подхода, и поддерживающий эту методологию программный инструментарий – комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, представляющий собой автоматизированное рабочее место инженера по знаниям [1-4]. Значительное место в рамках ЗОМ отводится методам и средствам интеллектуальной поддержки процессов разработки, которые объединяются общим понятием «интеллектуальная среда».

Положенные в основу интеллектуальной среды базовые принципы, используемые в широко известном классе ранних интеллектуальных систем – интеллектуальных пакетах прикладных программ, таких как МАВР, ПРИЗ, СПОРА, ДИСАР, РЕГЕНД и т.п. – в совокупности с современными технологиями в области управления проектами, а также в области создания агентно-ориентированных приложений, позволили разработать ряд моделей, методов и средств интеллектуальной поддержки процессов построения ИЭС [1, 12, 13]. Основные положения ЗОМ в части, связанной с интеллектуальной поддержкой разработки ИЭС, отражены в монографии [1] и работах разных лет [1-4, 11-16].

Наиболее важными направлениями исследований в области создания интеллектуальной технологии построения ИЭС по-прежнему являются вопросы расширения степени автоматизации процессов планирования и управления проектами по созданию ИЭС, что собственно, и является предметом обсуждения в данной работе.

1. Модель интеллектуальной среды поддержки разработки ИЭС

Используя работу [1], в которой приводится полное формальное описание модели интеллектуальной среды в рамках ЗОМ, приведем только краткое описание этой модели, которая представляется четверкой вида:

$$M_{AT} = \langle KB, K, P, T \rangle,$$

где KB – технологическая база знаний (БЗ) о составе проекта и типовых проектных решениях, используемых при разработке ИЭС;

$K = \{K_i\}$, $i=1, \dots, m$, – множество текущих контекстов K_i , состоящих из множества объектов из KB, редактируемых или выполняющихся на текущем шаге управления; P – специальная программа – интеллектуальный планировщик, управляющая процессами разработки и тестирования ИЭС; $T = \{T_i\}$, $i=1, \dots, n$, – множество инструментов T_i , применяющихся на различных этапах разработки ИЭС.

Рассмотрим каждый элемент модели M_{AT} подробнее, начав с KB как декларативной основы процесса интеллектуальной поддержки разработки ИЭС, т.е. выступающей в качестве информационного хранилища в данной среде. Компонент

$$KB = \langle WKB, SKB, PKB \rangle,$$

где WKB – БЗ, содержащая знания о типовых проектных процедурах (ТПП), описывающие последовательности и способы применения тех или иных инструментальных средств при создании прикладных ИЭС, а также последовательности этапов создания ИЭС;

SKB – БЗ, включающая знания об использовании ТПП и о повторно-используемых компонентах (ПИК). Здесь же находятся фрагменты созданных ранее прототипов ИЭС (хранятся в виде сети типа: $SKB = \langle \Theta, R \rangle$, где $\Theta = \{\theta_i\}$, $i=1, \dots, r$, – множество объектов сети; $R = \{r_{ij}\}$, $i=1, \dots, t$, $j=1, \dots, h$, – множество связей между ними);

PKB – БЗ, содержащая специфические знания, используемые на различных этапах создания прототипа ИЭС для решения задач, требующих нестандартного подхода.

Текущий контекст K_i представляется в виде:

$$K_i = \langle KD, KP \rangle,$$

где KD – декларативный контекст, предназначенный для хранения статической декларативной информации о структуре проекта, инженерные знания и текущем пользователе;

KP – процедурный контекст, включающий в себя объекты, явно влияющие на дальнейшие шаги планировщика (этап ЖЦ системы, текущий редактируемый или исполняемый объект, текущая цель, текущий исполнитель, глобальный план разработки и т.д.).

Интеллектуальный планировщик P в общем виде описывается моделью:

$$P = \langle S, \{A_i\}, p_a, p_b, I, G_p \rangle,$$

где S – состояние текущего контекста, при котором активизируется планировщик;

$\{A_i\}$, $i=1, \dots, k$, – множество функциональных модулей A_i , входящих в состав планировщика;

p_a – процедура выбора текущей цели на основании глобального плана разработки;

p_b – процедура выбора наилучшего функционального модуля-исполнителя из списка возможных кандидатов;

I – процедуры, обеспечивающие интерфейс с соответствующими компонентами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ;

G_p – процедуры работы с глобальным планом разработки ИЭС.

Таким образом, базовыми элементами интеллектуальной среды поддержки разработки ИЭС являются средства интеллектуального планирования действий инженера по знаниям и исполнения построенного плана – интеллектуальный планировщик, представляющий собой специализированное средство, разработанное на основе объединения моделей и методов традиционного планирования с методами, применяемыми в области ЭС.

Подобного рода гибридизация является вполне обоснованной при решении задач, связанных с разработкой ИЭС, поскольку использование гибких механизмов ЭС, позволяющих четко отражать логику эксперта и декларативный способ описания знаний о ПрО при построении плана, в сочетании с определенными традиционными методами планирования, как показывает практика [1, 12-14], позволяет легко расширять области применимости данных средств (пополняя их знаниями) и тем самым обеспечивает возможность эффективного детального планирования каждого этапа разработки ИЭС с его последующей реализацией.

В основу организации средств интеллектуального планирования положено комбинированное применение ТПП – в качестве алгоритмической составляющей подхода, и ПИК – в качестве функциональной основы подхода. Опираясь ТПП как основным алгоритмическим элементом, интеллектуальный планировщик в каждый момент времени производит детальное построение плана разработки в зависимости от текущего состояния проекта (степень готовности, риски, наличие ресурсов, особенности ПрО и т.п.).

Следует отметить, что в рамках процесса интеллектуального планирования используется несколько уровней знаний – знания о техноло-

гических особенностях процесса разработки, знания о ПрО, знания о процедурах разрешения конфликтных ситуаций, знания о процессах реорганизации ресурсов проекта, а для определенных моделей ПрО разработаны и применяются базы метазнаний, используемые при настройке средств интеллектуального поиска. Описание общего алгоритма функционирования средств интеллектуального планирования представлено в [1,12].

Рассмотрим более детально роли ТПП и ПИК как компонентов модели интеллектуальной среды в интеллектуальной поддержке процессов построения ИЭС.

2. Использование типовых проектных процедур и повторно-используемых компонентов при поддержке разработки ИЭС

В соответствии с ЗОМ важное место в рамках интеллектуальной среды при построении и исполнении планов разработки ИЭС отводится использованию ПИК и ТПП. Это объясняется тем, что такие классические компоненты ЭС как машина вывода, средства объяснения и др. хорошо реализуются в виде ПИК, которые затем интегрируются в приложение, разрабатываемое с помощью традиционных RAD-систем.

Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ построена таким образом, что вся функциональность является распределенной, т.е. «разносится» на компоненты, зарегистрированные в среде комплекса и действующие под управлением интеллектуальной среды поддержки разработки, – иными словами, данные компоненты являются ПИК комплекса и реализуются по правилам, определенным для ПИК [1].

Каждый ПИК, участвующий в разработке прототипа ИЭС, представляется пятеркой вида [1]

$$\text{ПИК} = \langle N, \text{Arg}, F, P_{\text{INT}}, F_N \rangle,$$

где N – имя компонента, под которым он зарегистрирован в комплексе;

$\text{Arg} = \{\text{Arg}_i\}$, $i=1, \dots, l$ – множество аргументов, содержащих поддеревья базы данных текущего проекта, служащие входными параметрами для выполнения функций из множества

$F = \{F_i\}$, $i=1, \dots, s$ – множество методов (интерфейсов ПИК) данного компонента на уровне реализации;

P_{INT} – множество наименований интерфейсов других ПИК, используемых методами данного ПИК;

$F_N = \{F_{Ni}\}$, $i=1, \dots, v$ – множество наименований функций, выполняемых данным ПИК.

Выделены две группы ПИК – компоненты, реализующие возможности *процедурного* ПИК, и компоненты, реализующие возможности *информационного* ПИК. В первом случае, компоненты предоставляют возможности по выполнению некоторых действий, направленных на получение нетиповых результатов, т.е. тех действий, которые ранее не были накоплены в некотором хранилище (репозитории) или же тех действий, которые требуют интерактивной работы с пользователем (например, редактирование диаграмм или просмотр протокола интервьюирования эксперта и т.п.). Во втором – компоненты предоставляют возможности по выполнению действий, целью которых является получение ранее накопленной в репозитории информации (знаний, данных, схем, структур и т.д.) с дальнейшим копированием ее в текущий проект или же с дальнейшей обработкой этой информации (например, использование ранее созданной ER-диаграммы или анализ типовой диаграммы). Для использования ПИК данной группы создаются специализированные хранилища – репозитории, в которых накапливаются различного рода информация, используемая в дальнейшем.

Тем не менее, реализованные в настоящее время ПИК имеют достаточно узкий круг применения и не могут эффективно использоваться для решения различных задач одного типа, а большой выбор всевозможных компонентов для решения сходных задач существенно затрудняет для инженера по знаниям задачу принятия решения по выбору наиболее подходящего ПИК. Поэтому ведутся исследования по разработке ПИК, позволяющих осуществлять гибкую настройку на различные задачи одного типа.

Основным значимым алгоритмическим элементом, использующимся при построении плана разработки, является ТПП, под которой понимается набор элементарных ходов (инструкций), традиционно совершаемых инженером по знаниям на каждом этапе ЖЦ разработки при решении каких-либо проектных задач.

В соответствии с ЗОМ все ТПП могут быть представлены в виде [1]:

$$\text{ТПП} = \langle C, L, T \rangle,$$

где S – множество условий, при выполнении которых возможна реализация ТПП;

L – сценарий выполнения, описанный на внутреннем языке представления действий ТПП;

T – множество параметров, инициализируемых интеллектуальным планировщиком при включении ТПП в план разработки прототипа ИЭС.

Интеллектуальный планировщик, обладая определенной совокупностью знаний обо всех ТПП, формирует набор задач для разработки любого прототипа ИЭС (согласно ЖЦ разработки), а затем на основе требований к прототипу, сформированных на этапе анализа системных требований, декомпозирует план разработки на более мелкие задачи (подзадачи).

Все ТПП комплекса классифицируются следующим образом:

- ТПП, не зависящие от типа задачи (например, извлечение знаний из БД и др.);
- ТПП, зависящие от типа задачи (формирование компонентов обучающих ИЭС и др.);
- ТПП, связанные с ПИК, т.е. процедуры, содержащие информацию о ЖЦ ПИК от начала его настройки до включения в макет прототипа, а также сведения о решаемых этим ПИК задачах, необходимых настройках (и, возможно, их значениях).

В настоящее время в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ реализованы механизмы для использования и поддержки ТПП первого и второго типа, основными из которых являются [1]: ТПП поддержки комбинированного метода приобретения знаний, ТПП приобретения знаний из БД, ТПП извлечения знаний из экспертов, ТПП извлечения знаний из ЕЯ-текстов, ТПП проектирования БД средствами комплекса, ТПП конфигурирования компонентов ИЭС, ТПП создания обучающих ИЭС, ТПП создания гипертекстовых документов и др. В стадии исследований находятся ТПП, связанные с построением динамических ИЭС [1, 19].

3. Планирование действий инженера по знаниям в процессе разработки ИЭС

Рассмотрим более детально один из важнейших базовых компонентов интеллектуальной среды поддержки разработки ИЭС – интел-

лектуальный планировщик. К настоящему времени создано несколько поколений планировщиков, разработанных на основе объединения моделей и методов традиционного планирования с методами, применяемыми в области ЭС [1, 12, 13].

Основной задачей планировщика является создание плана действий инженера по знаниям в процессе разработки ИЭС на основе текущего состояния проекта, а также обеспечение возможности исполнения данного плана. В целом обобщенный алгоритм функционирования интеллектуального планировщика заключается в следующем. Перед началом работы осуществляется инициализация и конфигурирование всех зарегистрированных в комплексе компонентов, а затем осуществляется расширение БЗ интеллектуального планировщика (компонент КВ модели M_{AT}) дополнительными знаниями, передаваемыми планировщику зарегистрированными компонентами, описывающими особенности работы с каждым из компонентов в различных ситуациях.

Далее производится перестройка плана дальнейшей разработки ИЭС в соответствии с текущим контекстом (описанием проекта) и поддерживаемым специализированным буфером – классной доской. Планировщик осуществляет очистку текущего списка плановых задач и инициализирует работу машины вывода, в качестве которой используется универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ [1]. БЗ планировщика содержит правила двух основных типов: правила, действием которых является означивание факта (пара вида «имя = значение»), хранящегося на классной доске, и правила, действием которых является непосредственный вызов функции зарегистрированного в комплексе компонента.

Правила первого типа используются непосредственно для модификации состояния классной доски (добавление или изменение фактов). Правила второго типа позволяют осуществлять косвенное изменение параметров текущего контекста или состояния классной доски, предоставляя при этом возможность реализации интерактивного взаимодействия системы с инженером по знаниям в процессе построения плана дальнейшей разработки. Процесс формирования окончательного списка доступных плановых задач завершается после того, как машина вывода завершает поиск решения. Окончательно обработанный и сформир-

рованный список задач передается средствам интерфейсного взаимодействия с планировщиком, посредством которых построенный план становится доступным инженеру по знаниям.

Следует отметить, что при выполнении плана разработки активация различных плановых задач осуществляется двумя способами. Если подтверждение инженера по знаниям о необходимости и возможности выполнения плановой задачи не требуется, то планировщик при определенных условиях может активировать выполнение данной плановой задачи автоматически (не интерактивный способ), а если участие человека в процессе принятия решения о выборе активируемой плановой задачи необходимо, то планировщик ожидает команды, осуществляя интерактивное взаимодействие с инженером по знаниям посредством пользовательского интерфейса комплекса (интерактивный способ).

Как уже было отмечено, реализация текущей версии интеллектуального планировщика представляет собой гибридизацию подходов, базирующихся на использовании HTN-формализма и гибких механизмов поиска решения, применяемых в ЭС [1], что позволяет использовать декларативный способ описания знаний о ходе разработки, в данном случае на языке представления знаний продукционного типа.

Объем технологической БЗ интеллектуального планировщика комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ в настоящее время составляет порядка 100 правил, которые используются для реализации 18 ТПП на всех этапах ЖЦ разработки ИЭС для ПрО, связанных с диагностикой и проектированием. Кроме того при разработке прототипов ИЭС используются более 50 ПИК, среди которых 15 реализуют возможности информационных ПИК на базе единого репозитория, а порядка 35 реализуют возможности процедурных ПИК.

4. Особенности программной реализации компонентов интеллектуальной среды поддержки разработки ИЭС

Как было отмечено выше, инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [1, 11, 15], представляет собой сложное программное средство, предназначенное для решения задач, связанных с проектированием и разработкой

ИЭС на основе ЗОМ [13]. В основу реализации текущей версии комплекса положен подход, опирающийся на технологии СОМ и XML, обеспечивающие модульность комплекса и легкую взаимозаменяемость дополнительных инструментов разработчика, реализуемых в виде ПИК комплекса. Ядро комплекса включает ряд базовых компонентов, необходимых для создания любой ИЭС в рамках ЗОМ.

Интеллектуальная среда поддержки разработки реализована в рамках комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ в виде нескольких программных модулей (интеллектуальный планировщик, средства работы с репозиторием и т.п.) и информационных хранилищ (репозиторий проекта, БЗ интеллектуального планировщика и т.п.). Важнейшим базовым элементом интеллектуальной среды поддержки разработки ИЭС является интеллектуальный планировщик. Интеллектуальный планировщик связан со средствами интерактивного взаимодействия с разработчиком, с помощью которых отображается перечень возможных действий, которые могут быть выполнены на данном шаге разработки и при определенных условиях, сложившихся в проекте. Кроме этого планировщик отображает весь план разработки ИЭС и реализует обратную связь с инженером по знаниям путем обработки активированных интерактивных задач, осуществляя выполнение конкретных действий посредством связи с ПИК комплекса.

Программно-интеллектуальный планировщик реализован в виде трех блоков - ядро интеллектуального планировщика, блок анализа действий разработчика, блок выбора плана для адаптации. Блок анализа действий разработчика предназначен для анализа действий инженера по знаниям в ходе разработки ИЭС, аккумуляции информации, связанной с выполнением задач (порядок, тип задач и т.д.), а также анализа накопленной информации и выявления дополнительных эвристических знаний о ходе разработки для определенного типа задач и проблемных областей. Блок выбора плана для адаптации предназначен для выбора из библиотеки планов подходящего для решения задачи (в зависимости от специфики решаемой задачи) плана, а также его дальнейшей адаптации под конкретную задачу. Обеспечивается выбор как плана в целом, так и части плана, т.е. некоторого подплана (для определенного уровня вложенности согласно иерархии плановых задач).

Ядро интеллектуального планировщика представляет собой совокупность программных средств, предназначенных для построения, отбраковки, активации и выполнения задач из плана разработки ИЭС и логически включает три элемента: БЗ интеллектуального планировщика, решатель, блок взаимосвязи интеллектуального планировщика с ПИК.

Технологическая БЗ интеллектуального планировщика содержит знания о ходе разработки ИЭС и представляет собой объединение знаний двух типов: типовые знания (знания о разработке любой ИЭС) и специализированные знания, связанные со спецификой работы каждого ПИК, зарегистрированного и используемого в составе средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Важно отметить, что предусмотрена возможность динамического расширения БЗ за счет получения знаний от зарегистрированных ПИК об особенностях работы, связанных с их использованием. Знания в БЗ представлены в виде продукции на языке представления знаний, использующимся универсальным АТ-РЕШАТЕЛЕМ комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

В данном случае АТ-РЕШАТЕЛЬ определяет совокупность задач, составляющих план разработки на определенном этапе построения ИЭС, и использует знания из технологической БЗ интеллектуального планировщика, а также в качестве начальной ситуации (начальной информации) - информацию о характеристиках проекта из блока взаимодействия планировщика с ПИК.

С помощью блока взаимодействия планировщика с ПИК осуществляется передача интерактивных задач разработки в средства интерфейса инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, а также получение результатов взаимодействия с пользователем (т.е. обработка результатов активации задач плана). Кроме того реализуется взаимодействие с ПИК комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, путем приема/передачи сообщений, а также ряд внутренних функций обработки состояния проекта разработки с целью выделения определенных характеристик проекта и контроль выполнения интерактивных задач плана (посредством передачи сообщений ПИК).

В ходе построения плана АТ-РЕШАТЕЛЬ передает блоку взаимодействия планировщика с ПИК инструкции по выполнению определенного рода задач (подобные инструкции могут передаваться в ходе работы и от других компо-

нентов комплекса). Для описания инструкций используется специально разработанный язык, представляющий собой подмножество XML, так как в качестве формата представления сообщений, используемых компонентами комплекса, выбран XML. Применение специализированного языка инструкций является необходимым условием, поскольку, как показывает практика, при решении различного рода задач, а также при расширении параметров контекста и ТПП, применяемых при разработке ИЭС, возникает необходимость получения специфических параметров контекста и их динамической обработки, при этом перестройка внутренних механизмов средств интеллектуальной поддержки разработки крайне нежелательна. В этом случае применение языка инструкций позволяет наделить данные программные средства свойством гибкой и динамичной настройки на практически произвольную XML-структуру, используемую в качестве репозитория проекта (контекста).

Следует отметить, что в настоящее время проводится экспериментальная оценка эффективности реализованных программных средств и алгоритмов поиска решений, вычисления и означивания параметров контекста. Кроме того, в связи с достаточно сложным процессом написания инструкций, необходимых для работы планировщика при расширении функциональности комплекса, ведется работа по созданию специализированных средств редактирования и пополнения хранилища инструкций.

5. Пример реализации ТПП «Приобретение знаний из БД»

Таким образом, в настоящее время интеллектуальная технология построения прототипов ИЭС включает в себя [1, 16]: построение и реализацию плана разработки прототипа ИЭС на всех этапах ЖЦ с помощью интеллектуального планировщика; динамическое ассистирование инженеру по знаниям при построении прототипа ИЭС на основе знаний о ТПП и ПИК-базовых компонентах интеллектуальной среды; синтез архитектуры прототипа ИЭС и его компонентов на основе расширенной информационно-логической модели [1]; анализ прототипа ИЭС за счет использования знаний о моделях и методах решения типовых задач [1]; выдача

рекомендаций и объяснений инженеру по знаниям. Планировщик «знает», сколько и каких ТПП и ПИК зарегистрировано в комплексе, и для чего они предназначены, а также используемый алгоритм планирования, в соответствии с чем формируется набор задач для разработки любого прототипа ИЭС.

В качестве примера приведем конкретизацию общей модели ТПП (раздел 2) применительно к ТПП «Приобретение знаний из БД», которая относится к классу процедур, которые могут быть использованы для решения всех типов задач на основе ЗОМ и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, и рассмотрим каждый из компонентов модели [17]:

Компонент С. Условия выполнения данной ТПП здесь сформулированы следующим образом:

- наличие элемента «накопитель» на диаграмме РДПД [1], представляющей собой модель архитектуры проектируемого прототипа ИЭС;
- этап ЖЦ – анализ системных требований;
- наличие на РДПД элемента «неформализованная операция»;
- на РДПД элемент «накопитель» связан с элементом «неформализованная операция» потоком данных.

Компонент L. Данная ТПП может выполняться в двух вариантах (сценариях):

1. Начальная генерация фрагментов поля знаний с помощью алгоритма распределенного приобретения знаний из БД без выполнения интервьюирования эксперта/экспертов.
2. Генерация фрагментов поля знаний с помощью алгоритма распределенного приобретения знаний из БД после проведения интервью с экспертом/экспертами. В данном варианте выполнение задачи интервьюирования эксперта/экспертов обязательно.

Компонент T. Устанавливается параметр контекста $P17 = 0$, с указанием, что будет использоваться ТПП «Приобретение знаний из БД».

На первом шаге реализации ТПП «Приобретение знаний из БД» инженером по знаниям производится выбор зарегистрированных БД, затем при помощи средств поддержки проектирования хранилищ данных осуществляется формирование наборов хранилищ данных, являющихся анализируемыми выборками для алгоритма *распределенного приобретения знаний* из БД. Следующим шагом является настройка алгоритма распределенного приобретения зна-

ний из БД и генерация с его помощью набора фрагментов полей знаний, полученных из каждой зарегистрированной БД.

На третьем шаге производится объединение всех фрагментов полей знаний, полученных из источников знаний *различной типологии* [1, 17]. Основными этапами здесь являются: загрузка, объединение объектов, построение расширенной таблицы решений и таблицы схожести правил. На этапе объединения фрагментов полей знаний экспертом задаются контрольные зоны и величины совпадения числовых атрибутов, а также производится объединение объектов, типов атрибутов объектов и объединение правил [17]. Ниже приводятся примеры правил из БЗ интеллектуального планировщика, относящиеся к ТПП «Приобретение знаний из БД»:

- Правило для запуска средств формирования хранилищ данных:

```
<PLANRULE ID="Номер правила" Caption="Создание хранилищ данных" Condition="LCStage=1 AND StorageCount(LinkToDB)>0" Parent="3" ArgType="Project" Executor="Warehouse" Action="run_warehouse" ActionType="0" Type="1" />
```

- Правило для запуска средств распределенного приобретения знаний из БД:

```
<PLANRULE ID="Номер правила" Caption="Распределенное приобретение знаний из баз данных" Condition="LCStage=1 AND StorageCount(LinkToDB)>0 AND AllElementCount(TDesES)>0" Parent="3" ArgType="Project" Executor="Data Mining" Action="run_mining" ActionType="0" Type="1" />
```

- Правило для запуска средств объединения продукционных правил:

```
<PLANRULE ID="Номер правила" Caption="Объединить фрагменты полей знаний" Condition="LCStage=1 AND AllElementCount(TDesES)>0" Parent="3" ArgType="ProjectValue" Executor="Rules_src" Action="run_rules" ActionType="0" Type="1" />
```

Примеры более сложных ТПП, связанных с созданием обучающих ИЭС, детально рассматриваются в [14]. Особенность технологии построения данного подкласса ИЭС заключается в поддержке двух режимов функционирования обучающих ИЭС – режима DesignTime, ориентированного на работу преподавателей/предметников (формирование онтологии курсов/дисциплин, построение обучающих воздействий различных типов и т.д.), и режима

RunTime, предназначенного для работы с обучаемыми (построение текущих моделей обучаемых, включая психологические портреты, мониторинг процессов функционирования системы и т.д.).

Как показал трехлетний опыт разработки и использования обучающих ИЭС в учебном процессе НИЯУ МИФИ в рамках специализации «Интеллектуальные системы и технологии» [18], наличие средств интеллектуальной поддержки достаточно сложных и многофункциональных процессов построения прототипов обучающих ИЭС, позволило существенно сократить сроки проектирования конкретных ИЭС, снизить интеллектуальную нагрузку на преподавателей и инженеров по знаниям, а также обеспечить гибкое использование накопленного опыта преподавания курсов дисциплин.

Заключение

В настоящее время практически завершен этап опытной экспериментальной апробации средств интеллектуального планирования, в ходе которого многие недостатки, связанные, в частности, с невысокой производительностью при поддержке разработки ИЭС для произвольных ПрО, недостаточной полнотой БЗ интеллектуального планировщика и др., успешно устранены. Кроме того, практика использования средств интеллектуального планирования, функционирующих в составе инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, показала значительное увеличение производительности при разработке прототипов промышленных ИЭС (МедЭС, NetES) [1] за счет снижения степени влияния человеческого фактора при принятии решений о дальнейшем ходе проекта, что выражается в снижении сроков на разработку систем.

Среди основных направлений дальнейших исследований в данной области следует выделить комплекс задач, связанных с интеллектуальной поддержкой процессов построения динамических ИЭС в рамках новой динамической версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [19]. А именно, разработка ТПП, связанных с построением динамических ИЭС, анализ возможностей применения темпорального решателя, что позволит проводить прогнозирование и оценку вероятностных исходов проекта и др.

Другим направлением является исследование и разработка методов интеллектуальной

поддержки процессов распределенной разработки ИЭС и веб-ИЭС.

Литература

1. Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. – М: Научтехлитиздат. 2008. – 482 с.
2. Рыбина Г.В. Инструментальные средства нового поколения для построения прикладных интеллектуальных систем// Авиакосмическое приборостроение. № 10. 2004.
3. Рыбина Г.В. Инструментарий нового поколения для построения интегрированных экспертных систем// Девятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2004. Труды конференции. В 3-х т. – М.: Физматлит. Т.2. 2004.
4. Рыбина Г.В. Автоматизированное рабочее место для построения интегрированных экспертных систем: комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ//Новости искусственного интеллекта. №3. 2005.
5. Искусственный интеллект. Модели и методы. Том 2. Под редакцией Поспелова Д.А. М.: Радио и связь. 1990.
6. Добрецов С.В., Шестаков С.М. Планирование действий в искусственном интеллекте // ВАТТ СПбГТУ. №2.1998.
7. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем/ 4-е издание: пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс". 2003. -864с.
8. Корухова Л.С., Любимский Э.З., Малышко В.В. Программные средства реализации ассоциативного планирования. – М.: Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН. № 10.2002.
9. Нариньяни А.С., Гофман И.Д., Инишев Д.А., Банасюкевич Д.В. Развитие интеллектуальной технологии недоопределенного планирования и управления проектами Time-EX//Труды 7-й национальной конференции по искусственному интеллекту КИИ-2000. Переславль-Залесский. РАИИ. 2000.
10. Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. М.: КРАСАНД. 2009. -272с.
11. Рыбина Г.В. Задачно-ориентированная методология автоматизированного построения интегрированных экспертных систем для статических проблемных областей//Известия РАН. Теория и системы управления. № 5. 1997.
12. Рыбина Г.В., Иващенко М.Г. Методы и программные средства интеллектуальной поддержки разработки интегрированных экспертных систем//Программные продукты и системы. №6. 2006.
13. Рыбина Г.В., Иващенко М.Г. Использование методов ресурсно-календарного планирования для интеллектуальной поддержки построения интегрированных экспертных систем // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2006): Труды конференции. В 3-т. М.: Физматлит. Т.1.2006.
14. Рыбина Г.В., Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы // Искусственный интеллект и принятие решений. №1. 2008.
15. Рыбина Г.В., Концептуальные основы задачно-ориентированной методологии построения интегриро-

- ванных экспертных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №5. 2011.
16. Рыбина Г.В., Технология построения интегрированных экспертных систем на основе задачно-ориентированной методологии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. №6. 2011.
 17. Рыбина Г.В., Дейнеко А.О. Распределенное приобретение знаний для автоматизированного построения интегрированных экспертных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. №4. 2010.
 18. Рыбина Г.В. Особенности разработки и использования обучающих интегрированных экспертных систем // Труды двенадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). М.: Физматлит. Т. 3. 2010.
 19. Рыбина Г.В., Инструментальные средства построения динамических интегрированных экспертных систем: развитие комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ // Искусственный интеллект и принятие решений. №1. 2010.

Рыбина Галина Валентиновна. Профессор кафедры кибернетики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). Окончила Московский инженерно-физический институт (государственный университет) в 1971 году. Доктор технических наук. Лауреат премии Президента РФ в области образования. Автор свыше 400 печатных работ. Область научных интересов: интеллектуальные системы и технологии; статические, динамические и интегрированные экспертные системы; интеллектуальные диалоговые многоагентные системы, инструментальные средства.

Блохин Юрий Михайлович. Аспирант кафедры кибернетики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). Окончил Московский инженерно-физический институт (государственный университет) в 2011 году. Автор 6 печатных работ. Область научных интересов: интеллектуальные системы и технологии; статические, динамические и интегрированные экспертные системы; интеллектуальный планировщик, инструментальные средства, технологии программирования.

Ивашенко Максим Георгиевич. Ассистент кафедры кибернетики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ). Окончил Московский инженерно-физический институт (государственный университет) в 2003 году. Автор 13 печатных работ. Область научных интересов: интеллектуальные системы и технологии; статические, динамические и интегрированные экспертные системы; инструментальные средства, интеллектуальный планировщик, управление проектами.