

*А. В. ПРОХОРОВ, В. П. ПРОХОРОВ, А. О. МАТЮШКО*

## **ОБЛАЧНАЯ ПЛАТФОРМА РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Предлагается облачная платформа в рамках моделей PaaS и SaaS, которая обеспечивает поддержку всех этапов по разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений, их адаптацию для решения прикладных задач в любых предметных областях, хранение баз знаний и данных в облачных датацентрах, предоставление доступа к интеллектуальным системам как к сервисам удалённо через веб-интерфейс. Рассмотрены сценарии использования, решаемые задачи. Представлена структура платформы разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы, системы поддержки принятия решений, облачная платформа, интегрированная среда разработки, онтологии.

**Введение.** Увеличение объема информации, усложнение задач управления и анализа, необходимость учета большого числа трудноформализуемых и взаимосвязанных факторов обуславливают необходимость использования современных интеллектуальных информационных технологий в процессе принятия решений во всех сферах человеческой деятельности. Однако, несмотря на значительные достижения в области информационных технологий и искусственного интеллекта, о широком использовании интеллектуальных систем в настоящее время говорить преждевременно.

Среди основных причин, по которым интеллектуальные системы не получили должного широкого практического применения, следует выделить следующие:

- высокая стоимость, как инструментальных средств разработки интеллектуальных систем, так и самих приложений;

- сложность в проведении формализации знаний в привычных терминах, что требует привлечения для этой задачи когнитологов или инженеров по знаниям;

- специалисты или эксперты в той или иной предметной области неохотно делятся своими знаниями;

- недостаточность в семантическом и прагматическом описании базы знаний, что усложняет как создание интеллектуальной системы, так и дальнейшую интерпретацию полученных решений для той или иной

предметной области;

- сложность в построении интуитивно-понятного интерфейса для представления результатов рассуждений для пользователей в естественно-языковой форме или с привлечением средств когнитивной графики;

- узконаправленность известных приложений экспертных систем с ограничением или отсутствием возможности расширения базы знаний;

- для получения полезного эффекта от применения необходимо осуществлять непрерывное сопровождение интеллектуальных систем, что в условиях названных выше причин представляется трудоемким процессом.

Поэтому реальных приложений интеллектуальных систем сегодня незначительное количество, проекты эти уникальны, в основном разрабатываются и применяются в интересах крупных организаций и являются закрытыми для остальной массы потенциальных пользователей.

Исходя из вышеизложенных проблем, которые возникают при использовании и сопровождении интеллектуальных систем возникает задача разработки общедоступной, удобной в использовании платформы для разработки и использования экспертных систем.

Сегодня активно развивается технология облачных вычислений (cloud computing), основная идея которой заключается в предоставлении коллективного доступа к

единому общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов. Соответственно, эту технологию целесообразно применить для создания платформы разработки интеллектуальных систем и их популяризации, путем обеспечения к ним свободного доступа для всех желающих.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Традиционный подход к разработке интеллектуальных систем состоит в использовании специализированных инструментальных сред. Среди таких следует отметить G2 [1], Prolog [2], CLIPS [3], Jess [4] (на базе Eclipse – интегрированной среды разработки для платформы Java) и др. Они позволяют настраивать программные средства на особенности предметных областей, предоставляют возможность программировать на встроенных языках и осуществлять эффективный экспорт/импорт данных с другими инструментальными средствами.

На базе инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, поддерживающего все этапы создания прикладных интегрированных экспертных систем, разработана веб-ориентированная версия, которая предоставляет возможности организации веб-ориентированных сеансов интервьюирования экспертов, создания веб-ориентированного пользовательского интерфейса, настройки веб-сервера, управление пользователями и развертывание финального прототипа системы [5].

Среди сред для разработки интеллектуальных систем на основе онтологий следует отметить редактор онтологических баз знаний Protégé [6]. Protégé имеет открытую архитектуру, позволяющую расширять его функциональность на основе подключаемых модулей plug-ins. Есть подключаемые модули решателей, обеспечивающих логический вывод на онтологиях, модуль, связывающий Protégé с экспертной системой Jess и др.

Технологии облачных вычислений для разработки и управления интеллектуальными системами были использованы в российском проекте IACPaaS (Intelligence Application, Control and Platform as a Service), который поддерживает единые технологические

принципы разработки, использования прикладных и инструментальных интеллектуальных систем и управления ими [7]. Проект IACPaaS разрабатывается с целью обеспечения доступа через интернет к функциональности интеллектуальных систем; создания единой среды для функционирования интеллектуальных систем, инструментальных средств для их разработки и управления; обеспечения кооперативной деятельности пользователей систем, экспертов, специалистов предметных областей и программистов.

**Постановка задачи исследования.** Таким образом, актуальной и важной задачей является разработка общедоступной и удобной в использовании интегрированной среды для создания и управления интеллектуальными системами на основе технологий облачных вычислений.

**Облачная платформа разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений.** Платформа обеспечивает поддержку всех этапов по разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР), их адаптацию для решения прикладных задач в любых предметных областях, хранение баз знаний и данных в «облачных» датацентрах, предоставление доступа к интеллектуальным системам как к сервисам удаленно через веб-интерфейс.

Платформа может быть полезна специалистам и экспертам в различных предметных областях – доступ к интеллектуальным СППР (реализация модели SaaS) и разработчикам интеллектуальных СППР – доступ к средствам их разработки (реализация модели PaaS).

Задачи интеллектуальной поддержки принятия решений могут возникать на различных уровнях управления в организации. В этом случае осуществляется интеллектуализация различных информационных систем, которые выступают в этом случае источниками первичной информации. В первом сценарии (рис. 1) использования облачной платформы рассматривается инфраструктура пользователя. Средствами платформы разрабатывается база знаний интеллекту-

альных систем и формируется репозиторий метаданных для доступа к первичным источникам информации. Во втором сценарии средствами платформы возможно

также создание базы данных в облаке, для которой настраивается репозиторий метаданных для доступа и база знаний СППР.

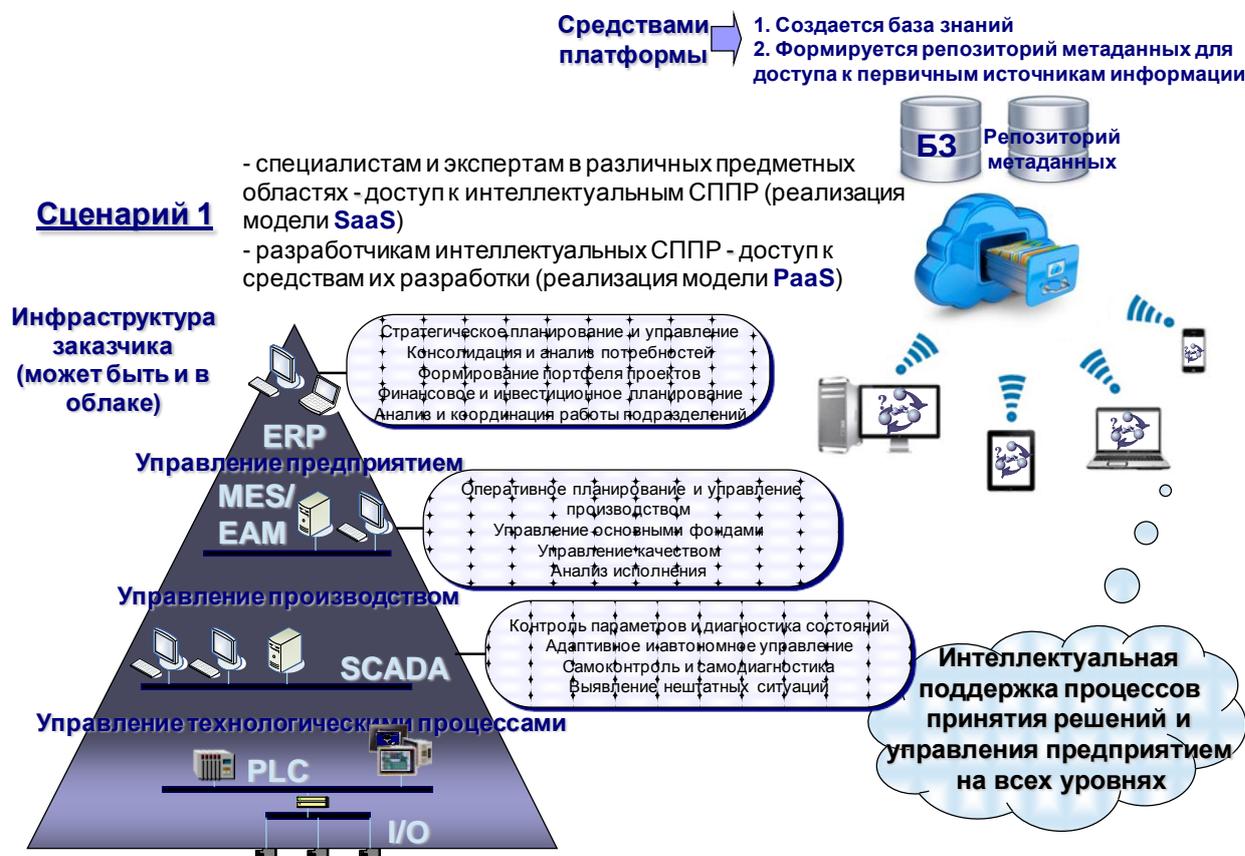


Рис. 1 – Основной сценарий использования облачной платформы разработки интеллектуальных СППР

Пользователь с главной страницы сайта проекта может ознакомиться с имеющимися готовыми СППР. Если какая-то из них его заинтересует, он может оформить на нее подписку, авторизовавшись в системе, далее по своему усмотрению осуществить необходимую коррекцию базы знаний и репозитория, получив тем самым СППР для решения своих логико-аналитических задач (рис. 2). Также пользователь может разработать свою собственную СППР. Основным режимом работы с СППР является вопросно-ответный, где пользователь выбирает интересующий его вопрос, система производит актуализацию данных из инфраструктуры пользователя или датацентра, осуществляет логический вывод и выдает результат пользователю на естественном языке. Возможно также сохранение результатов вывода в облаке, а также передача их в другие информационные

системы через API.

Таким образом, интеллектуальные СППР «облака» позволяют производить в режиме реального времени получение данных из серверов датацентра или внешних источников, рассуждения на основе правил, хранящихся в базе знаний, предоставление результатов для визуализации в естественно-языковой форме для пользователей, архивирования, выдачи в другие информационные системы. Представление знаний в системе осуществляется на основе логических моделей исчисления предикатов первого порядка, а логический вывод с использованием модифицированного метода резолюций с учетом проблемы вычислительной разрешимости. Поддерживается работа с онтологиями и вывод на них. Облачные сервисы обеспечивают наполнение, корректировку и пополнение базы знаний интеллектуальной системы в

процессе ее эволюционного развития. При создании моделей знаний используется простой и удобный язык описания экспертных знаний.



Рис. 2 – Режимы использования платформы

Поддержка различных источников данных и веб-сервисов позволяет проще интегрировать СППР в разнородное программное окружение.

Интеллектуальные СППР создаются для решения следующих задач:

- анализ, оценка и распознавание ситуаций, объектов;
- контроль, оценка и диагностика состояний, параметров;
- оценка важности и приоритета альтернатив;
- выявление и оповещение о чрезвычайных, аварийных ситуациях, угрожающих состояний и их регистрация;
- прогнозирование развития событий, ситуаций и действий;
- реализация алгоритмов и сценариев действий;
- формирование рекомендаций, советов и оценивание вариантов решений;
- обеспечение быстрой настройки, адаптации и модификации системы к новым условиям эксплуатации.

Функциональные возможности платформы облачных сервисов:

- создание прикладных интеллектуальных СППР для любых предметных областей и информационных систем с целью их интеллектуализации;
- предоставление контролируемого доступа к интеллектуальным системам через

Интернет;

- обеспечение единой среды разработки, выполнения и управления интеллектуальными системами для коллективной деятельности пользователей, экспертов и специалистов различных предметных областей при корректировке и пополнении баз знаний в процессе эволюционного развития;

- средства интеграции с другими информационными системами и различными СУБД;

- реализация дедуктивного механизма логического вывода при разных стратегиях сокращения перебора, что обеспечивает производительность системы;

- встроенная библиотека функций и эффективный механизм подключения разных расчетных сервисов;

- диалоговое взаимодействие и формирование ответов на поставленные вопросы осуществляется на естественном языке;

- возможность формирования цепочки событий, фактов, критериев и правил объяснения предлагаемых решений.

Создаваемые СППР могут быть условно отнесены к одному из четырех типов:

- СППР диагностики – определяют характер отклонения контролируемых показателей от нормы и на основе этого решают задачу выявления ситуации;

- СППР мониторинга – ориентированы на непрерывную интерпретацию данных в реальном времени и сигнализацию о выходе тех или иных параметров за допустимые границы;

- СППР прогнозирования – делают заключения о будущем развитии событий, исходя из текущей ситуации, прогнозируют развитие при разных схемах решения;

- СППР планирования – определяют оптимальные планы действий и осуществляют контроль за их выполнением.

Платформа разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений состоит из следующих компонентов (рис. 3):

- интегрированная среда разработки – средства графического интерфейса пользователя, включающие редактор базы знаний, различные мастера, средства

контроля и отладки;

- база знаний – включает в себя базу правил или аксиом и базу вопросов и предназначена для формализованного описания логических задач на простом внутреннем языке описания экспертных знаний;

- модуль логического вывода – центральный элемент ядра программного комплекса, предназначенный для логического вывода следствий (ответов) из системы правил (аксиом), которые находятся в базе знаний, с использованием модифицированного метода резолюций;

- библиотека встроенных функций – предназначена для выполнения соответствующих функций, отношений, алгоритмов в процессе логического вывода и используется при формировании базы правил;

- библиотека означивающих/расчетных модулей – система позволяет практически любой программный компонент подключать к системе в качестве предиката для логических правил. Библиотека включает готовые программные модули, среди которых: оценка с помощью метода анализа иерархий, решение оптимизационных задач различными методами, нейросетевой

вычислительный модуль, генетический алгоритм и др.;

- планировщик – определяет порядок обработки логических задач, взаимодействует с источниками данных, запускает процесс логического вывода;

- модуль контроля параметров – обеспечивает работу системы в режиме реального времени с архивированием результатов, выдачей экстренных сообщений и выработкой управляющих воздействий;

- модуль алгоритмов действий – поддержка и сопровождение действий пользователя в различных ситуациях с использованием базы алгоритмов или сценариев;

- модуль объяснения – предоставляет исчерпывающую информацию о причинах получения того или иного ответа (фактах и правилах), задействованных в логическом выводе, что облегчает эксперту тестирование системы и повышает доверие пользователя к полученному результату;

- модуль формирования управляющих воздействий – предназначен для формирования управляющих воздействий и выдачи их во внешние устройства и другие информационные системы;

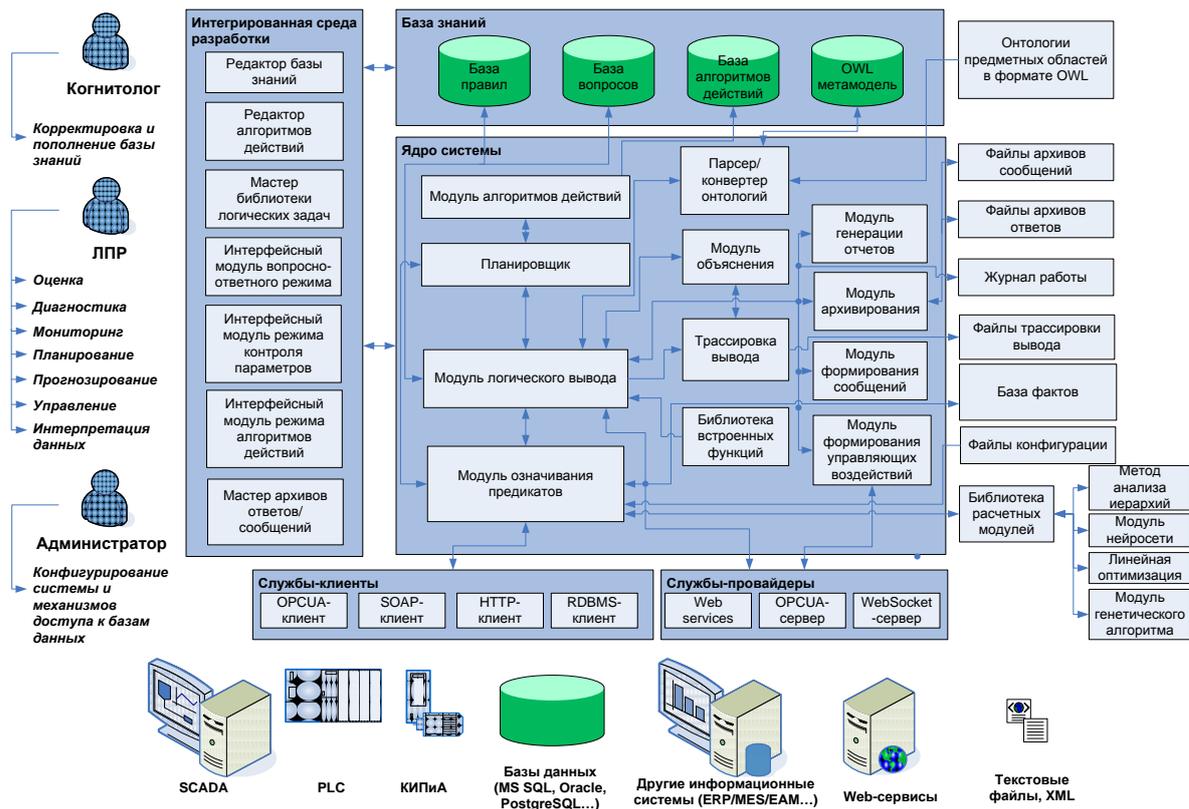


Рис. 3 – Состав платформы разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений

- модуль архивирования – архивирование результатов решения логических задач;
- модуль генерации отчетов – формирование отчетов в формате doc и html;
- парсер/конвертер онтологий OWL – предназначен для преобразования онтологий в формате OWL во внутренний язык описания экспертных знаний, для чего используются метамодели, включающие в себя правила преобразования в онтологические конструкции, механизмы распознавания концептов и значений атрибутов, а также позволяющие реконструировать отношения между концептами в онтологии. В ходе логического вывода система позволяет также установить корректность онтологии, является ли она полной, нет ли нарушений в семантических связях, т.е. все извлеченные факты подтверждаются фактами из онтологии;
- универсальный означивающий модуль (RDBMS-клиент) – обеспечение доступа для получения фактов из баз данных;
- службы-клиенты (SOAP, HTTP (XML/JSON), OPC UA) – предназначены для взаимодействия с тем или иным внешним

API источника данных;

- службы-провайдеры (Web services, Web Socket, OPC UA) – предоставляют программный интерфейс API для доступа к функциональным возможностям системы, например, получение значений переменных всех предикатов, запуск логического вывода и др.

Интеллектуальная система поддержки принятия решений, помещенная в облако, функционирует в следующих режимах:

- анализ, оценка и распознавание ситуаций;
- контроль и диагностика состояний;
- оценка важности приоритета;
- корректировка и пополнение базы знаний;
- выявление и оповещение о нештатных ситуациях;
- консультирование или вопросно-ответный режим (система выдает ответы – рекомендации, сообщения – на конкретные вопросы на естественном языке);
- автоматический (формируются и архивируются ответы на сформулированные заранее вопросы – контроль параметров с

выдачей экстренных сообщений и формированием рекомендаций);

- объяснение результатов (выдается исчерпывающая информация о причинах получения данного ответа – фактов и правил, задействованных в процессе логического вывода).

**Выводы.** Предложенная в работе платформа позволит облегчить разработку, тестирование, развертывание и сопровождение прикладных интеллектуальных систем без необходимости инвестиций в инфраструктуру и программную среду; позволит повысить степень интеллектуализации и адаптации существующих информационных систем к изменению задач и целей функционирования; позволит накапливать и повторно использовать знания, а не жестко заданные структуры данных и алгоритмы обработки; позволит повысить качество, достоверность и получить сокращение времени выработки и принятия решений; повысить гибкость и эффективность бизнес-процессов.

**Список литературы:** 1. Джексон П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – СПб. : Вильямс, 2001. – 624 с. 2. Братко И. Алгоритмы искусственного интеллекта на языке Prolog / И. Братко; пер. с англ. – [3-е изд.]. – М. : Вильямс, 2004. – 640 с. 3. Частиков А. П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / А. П. Частиков, Т. А. Гаврилова, Д. Л. Белов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 608 с. 4. Strauss M. Jess. The Java Expert System Shell / M. Jess Strauss // AI Tools. – 2007. – 33 p. 5. Рыбина Г. В. Автоматизированное рабочее место для построения интегрированных экспертных систем: комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ / Г. В. Рыбина // Новости искусственного интеллекта. – 2005. – № 3. – С. 69–87. 6. Попович В. В. Интеллектуальная ГИС в системах мониторинга / В. В. Попович, С. Н. Потапычев, А. В. Панькин [и др.] // Труды СПИИРАН. – Вып. 3. – Т. 1. – СПб. : Наука, 2006. – С. 172–184. 7. Грибова В. В. Проект IACPaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений / В. В. Грибова,

А. С. Клещев, Д. А. Крылов [и др.] // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – №1. – С. 27–35.

**Bibliography (transliterated):** 1. Jackson, P. *Vvedenie v jekspertnye sistemy*. St. Petersburg: Viliams, 2001. Print. 2. Bratko, I. *Algoritmy iskusstvennogo intellekta na yazyke Prolog*. Moscow: Viliams, 2004. Print. 3. Chastikov, A. P., T. A. Gavrilova and D. L. Belov *Razrabotka jekspertnyh sistem. Sreda CLIPS*. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2003. Print. 4. Strauss, M. Jess. "The Java Expert System Shell." *AI Tools*, 2007. Print. 5. Rybina, G. V. "Avtomatizirovannoe rabochee mesto dlja postroenija integrirovannyh jekspertnyh sistem: kompleks AT-TEHNOLOGIJA." *Novosti iskusstvennogo intellekta* 3 (2005): 69–87. Print. 6. Popovich, V. V., et al. "Intellektualnaya GIS v sistemah monitoringa." *Trudy SPIIRAN*. Vol. 1.3. St. Petersburg; Nauka, 2006. 172–184. Print. 7. Gribova, V. V., et al. "Proekt IACPaaS. Kompleks dlja intellektual'nyh sistem na osnove oblachnyh vychislenij." *Iskusstvennyj intellekt i prinjatje reshenij* 1 (2011): 27–35. Print.

*Поступила (received) 05.02.2015*