

В.В. ГРИБОВА

## Исследования в области искусственного интеллекта в Дальневосточном отделении РАН

*В работе дан ретроспективный обзор исследований, проводимых школой искусственного интеллекта под руководством ее основателя и научного лидера А.С. Клещёва. Кратко изложена биография А.С. Клещёва, представлены основные результаты исследований, а также направления развития созданной им школы искусственного интеллекта.*

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, база знаний, логический вывод, интеллектуальная система.

**Research on artificial intelligence in the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences**  
V.V. GRIBOVA (Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok).

*The work is a retrospective research review of the school of artificial intelligence under the leadership of its founder and scientific leader A. S. Kleshchev. The biography of A. S. Kleshchev is briefly described; the main research results are given, as well as the directions of development of the artificial intelligence school created by him.*

*Key words:* artificial intelligence, knowledge base, logical inference, intelligent system.

### Введение

Исследования в области искусственного интеллекта в Дальневосточном отделении РАН (ранее Дальневосточный научный центр) начались в первой половине 70-х годов XX в. Они неразрывно связаны с именем доктора физико-математических наук, профессора А.С. Клещёва, который, приехав на Дальний Восток из Ленинграда, по крупицам, практически «в чистом поле», стал создавать и развивать новое, тогда еще очень неоднозначное и критикуемое многими направление исследований. На протяжении многих лет он был руководителем лаборатории, затем отдела интеллектуальных систем, возглавлял кафедру Дальневосточного государственного университета по подготовке специалистов в этой области. Созданная на базе Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН школа искусственного интеллекта (ИИ) хорошо известна специалистам в этой области не только в России, но и за рубежом. Александр Сергеевич Клещёв, уже будучи тяжело больным, продолжал работать, генерировал новые идеи и верил, что созданная им школа успешно продолжит исследования и будет развиваться.

В данной работе представлены основные направления и результаты исследований в области ИИ, проводимых под руководством А.С. Клещёва, а также перспективы их развития.

---

ГРИБОВА Валерия Викторовна – доктор технических наук, заместитель директора по научной работе (Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток). E-mail: gribova@iacp.dvo.ru

## А.С. Клещев – создатель школы искусственного интеллекта на Дальнем Востоке



Заслуженный деятель науки РФ Александр Сергеевич Клещев. 2007 г. Фото из архива лаборатории ИС ИАПУ ДВО РАН

Александр Сергеевич Клещев родился в 1940 г. в Ленинграде, пережил блокаду. В 1964 г. окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета.

Свою профессиональную деятельность Александр Сергеевич начал в Вычислительном центре (ВЦ) Ленинградского нейрохирургического института им. А.Л. Поленова (1963–1968 гг.) в должности инженера-программиста, затем (в 1968–1974 гг.) работал ведущим инженером ВЦ биологических институтов АН СССР при Институте физиологии им. И.П. Павлова (Ленинград). При активном участии Александра Сергеевича был разработан и первый в СССР компилятор языка высокого уровня, внедренный в 35 вычислительных центрах различного профиля в 11 городах СССР. В области биологической и медицинской кибернетики при его участии была разработана программная система автоматической диа-

гностики нейрохирургических заболеваний, построен ряд математических моделей процессов адаптации в центральной нервной системе, механизмов обучения и запоминания. Таковы лишь некоторые из его достижений в области программирования. В 1973 г. в Институте кибернетики АН УССР (Киев) А.С. Клещев защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по теме «Реализация многоцелевых динамических языков программирования». В 1990 г. в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша АН СССР (Москва) защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук на тему «Реализация экспертных систем на основе декларативных моделей представления знаний».

С 1974 г. и до последнего дня своей жизни Александр Сергеевич работал в Институте автоматизации и процессов управления ДВО РАН (Владивосток). Более 30 лет он возглавлял сначала отдел экспертных систем, затем лабораторию интеллектуальных систем, на протяжении многих лет заведовал созданной им в 1990 г. кафедрой программного обеспечения ЭВМ Дальневосточного государственного университета, был деканом факультета компьютерных наук.

А.С. Клещев – заслуженный деятель науки Российской Федерации, действительный член Академии инженерных наук РФ. Он подготовил 6 докторов и 15 кандидатов наук, был членом двух диссертационных советов по защитах докторских диссертаций, Объединенного ученого совета по физико-математическим и техническим наукам ДВО РАН, входил в редколлегии ряда российских и международных журналов, руководил рядом российских и



А.С. Клещев оглашает результаты конкурса «Программист». 2001 г. Фото из архива лаборатории ИС ИАПУ ДВО РАН

международных проектов. Им опубликовано более 360 научных работ (в том числе двух монографий) в области искусственного интеллекта, информатики, медицинской и биологической кибернетики. Активно развивал тему искусственного интеллекта на Дальнем Востоке, был председателем Владивостокского регионального отделения Российской ассоциации искусственного интеллекта.

В 2019 г. после тяжелой болезни Александр Сергеевич ушел из жизни, но созданная им школа, помня своего учителя и равняясь на него, продолжает исследования в области искусственного интеллекта.

### **Основные результаты исследований Дальневосточной школы искусственного интеллекта**

Исследования в области ИИ под руководством А.С. Клещёва начались с реляционных конглоэнтных продукций (РКП). Первый результат, который положил начало исследованиям в данном направлении, получен А.С. Клещёвым: выделен класс РКП и исследованы его свойства. Впервые была предложена модель систем продукций, в которой для данных, представленных в виде отношений, вывод не зависит от порядка применения правил. При этом предложенная модель была проблемно-независимой, что позволило начать работы по реализации проблемно-независимой оболочки экспертных систем на ее основе. Первая реализация базировалась на идее вывода, управляемого потоком данных (кортежи отношений образуют поток данных (очередь); для каждого кортежа ищутся продукции, которые могут обработать этот кортеж); впервые была предложена идея трансляции продукций (вместо их интерпретации), что за счет конглоэнтности не только упростило реализацию продукций, но и, за счет их трансляции, заметно ускорило процесс вывода [16, 17].

В последующем работы по РКП были продолжены в направлении реализации вывода, управляемого потоком правил (продукции образуют циклический поток; для каждой продукции ищутся кортежи, которые она может обработать). Также впервые была предложена и реализована идея трансляции продукций для машин серии ЕС и персональных компьютеров [1, 18].

Следующий этап работ был связан с исследованием недоопределенных продукций (недоопределенная продукция – продукция, определенная на недоопределенных данных – константах, функциях и отношениях). Полученные результаты легли в основу разработки и реализации методов оптимизации вывода в системах продукций, затем эти работы были продолжены в направлении распараллеливания логического вывода, была реализована проблемно-независимая оболочка для кластера (рис. 1) [3].

Основным направлением работ в области ИИ на протяжении многих лет являлись исследования по снижению трудоемкости и реализации систем ИИ с базами знаний. В течение всего периода работа проводилась по трем основным направлениям: разработка теории онтологий; методов реализации систем ИИ на основе онтологий; исследование методов и подходов на прикладных проектах для различных предметных областей. Разработка систем ИИ для различных предметных областей являлась необходимым компонентом исследований; именно прикладные проекты давали материал для обобщений, изучения свойств интеллектуальных систем и разработки общих либо специализированных методов их реализации.

Основоположниками первого направления исследований – теории онтологий были А.С. Клещёв и М.Ю. Черняховская. Первоначально ими была исследована возможность представлять в экспертной системе диагностики острых заболеваний медицинские знания в форме, более естественной для врачей, чем это позволяли делать универсальные модели представления знаний – системы продукций и фреймов. В рамках данного направления исследований было необходимо определить, что такое предметно-ориентированное

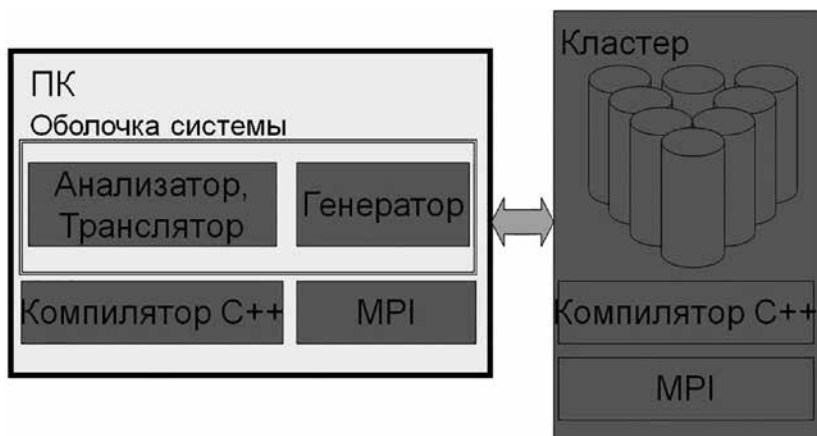


Рис. 1. Продукционная система параллельного программирования

представление; дать его определение, сформировать концепцию. Основной постулат предметно-ориентированного представления – знания представляются в терминах предметной области; метаинформация (метазнания) явно выделяется. Далее перешли к разработке теории предметных областей. Основная идея – как представлять метазнания в виде логических соотношений с параметрами и без них. Была предложена математическая теория моделей предметных областей как обогащенных систем логических соотношений. Следующий этап – разработка математической теории онтологий как небогатых систем логических соотношений и теория многоуровневых моделей предметных областей [2, 4, 20].

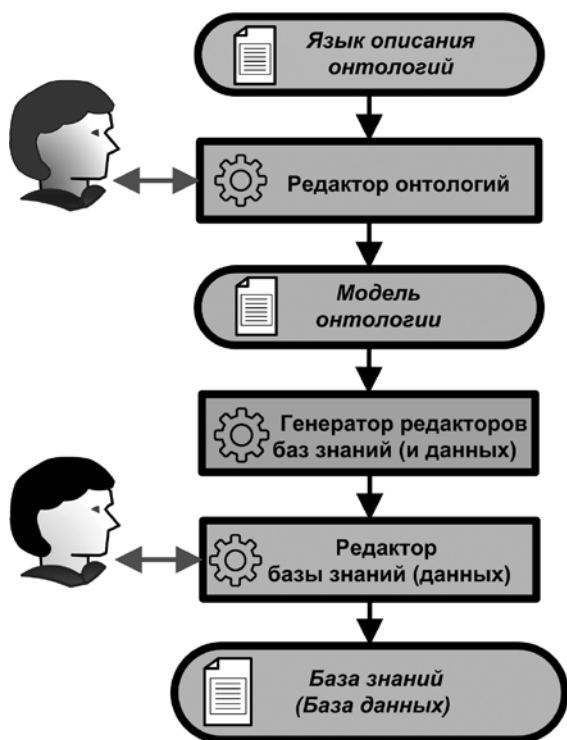


Рис. 2. Схема автоматической генерации редакторов баз знаний и данных

Дальнейшим направлением исследований была разработка методов реализации систем ИИ, соответствующих архитектурным компонентам таких систем: методы разработки баз знаний с использованием онтологий; методы разработки решателей задач; методы разработки пользовательских интерфейсов.

Разработка средств создания баз знаний (БЗ) для различных предметных областей сводится к разработке редакторов БЗ, которые позволяют создавать такие базы знаний, прежде всего экспертам предметной области, что является основополагающим принципом подхода (в то время как большинство разработчиков БЗ возлагают эту работу на инженеров по знаниям). Началом работ по данному направлению были редакторы БЗ со встроенной онтологией, т.е. проблемно-ориентированные. Такие редакторы были созданы для медицины. Далее – создание редакторов, управляемых онтологией, которая не

является встроенной (рис. 2); был разработан ряд редакторов для различных предметных областей [13, 15, 21].

Одним из подходов к созданию эффективных решателей задач было преобразование баз знаний, которые имели проблемно-ориентированное представление, в базу правил. Сначала такие преобразования выполнялись вручную, затем были разработаны методы трансляции БЗ в системы продукции. Впоследствии была предложена агентная модель решателей задач, в соответствии с которой решатель задач создается как совокупность повторно используемых программных единиц (агентов), взаимодействующих друг с другом посредством обмена сообщениями и интерпретирующих базы знаний. Агенты могут быть как проблемно-независимыми, так и онтолого-ориентированными. Сообщения представлены на некотором языке (или разных языках), который описывается шаблоном сообщений (рис. 3) [10, 19].

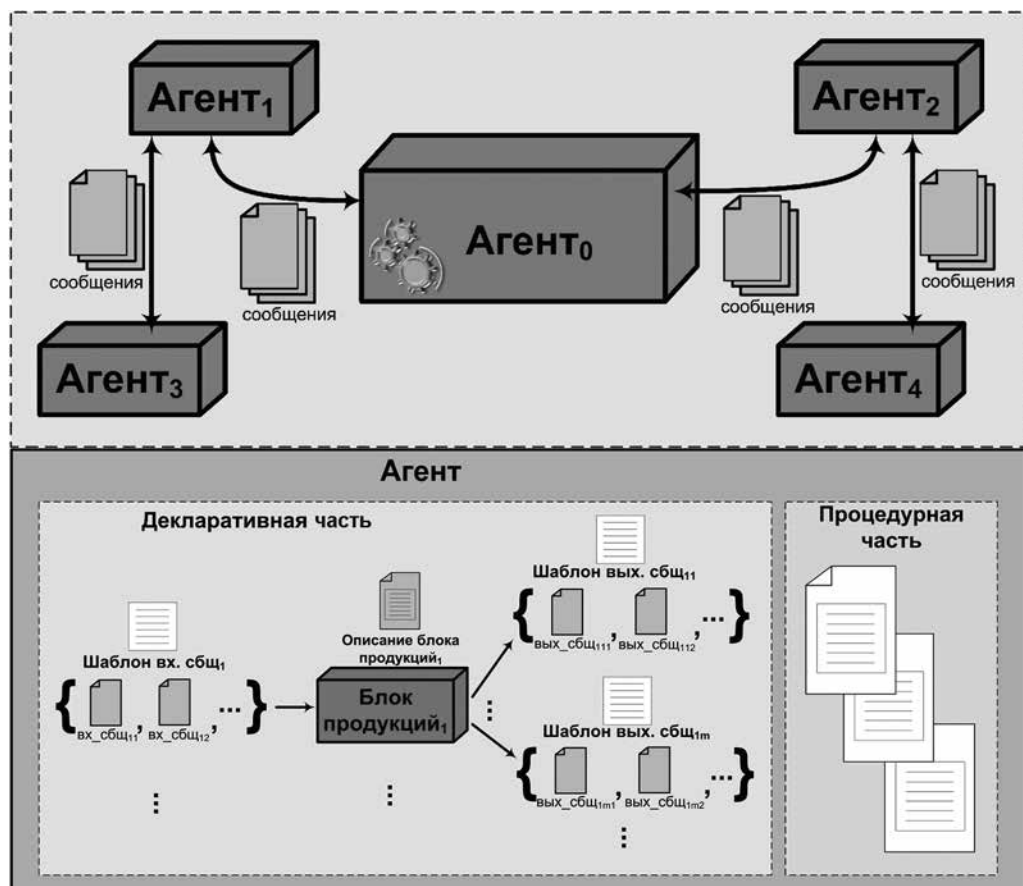


Рис. 3. Агентная модель решателей задач

Основной результат исследований лаборатории в области разработки пользовательских интерфейсов связан с разделением проектирования пользовательского интерфейса и решателя задач, что для систем ИИ является новым подходом. Первые результаты в этой области связаны с автоматической генерацией пользовательских интерфейсов для ввода исходных данных в экспертную систему (ЭС) по базе наблюдений. При этом фиксировались элементы представления (это были каскадные меню) и данные (реляционные таблицы). С целью вывода результатов в виде текстов (в частности, объяснений для ЭС) был разработан метаязык для описания текстов и генератор текста. Результаты работы

прикладной программы представлялись в виде реляционных таблиц. Дальнейшим развитием данного направления стала разработка средств генерации адаптивных пользовательских WIMP интерфейсов разных типов для решателей задач и редакторов баз знаний и данных. Далее работы в области создания интерфейса были расширены в направлении генерации 3D виртуальных сред (рис. 4) [22, 24, 25].

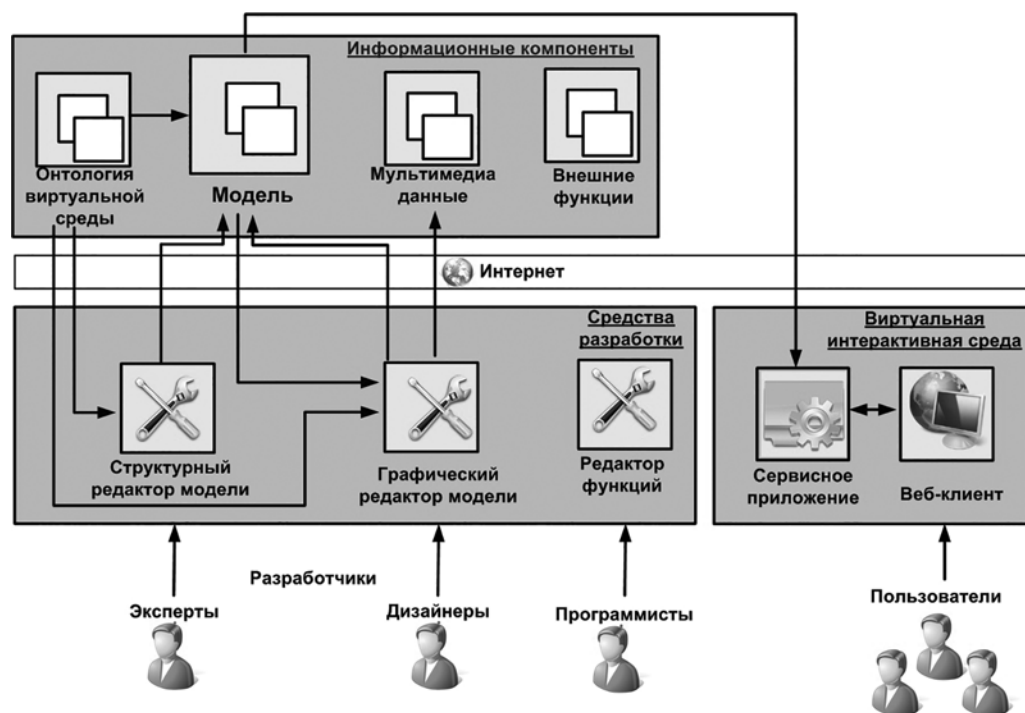


Рис. 4. Генерация виртуальных облачных сред

Под руководством А.С. Клещёва был разработан ряд прикладных интеллектуальных систем, среди которых первые в СССР экспертные системы в интересах Министерства обороны: экспертная система идентификации подводных лодок в Тихом океане, геоинформационная экспертная система реального времени для обнаружения ситуаций угрозы силам Тихоокеанского флота и прогнозирования развития этих ситуаций. В рамках международного проекта с Японией разработана экспертная система, улучшающая проекты программ для станков с числовым программным управлением на основе базы know-how, собранной ведущими в этой области японскими фирмами. В сфере медицины разработана система диагностики «острого живота» для машин серии ЕС. Данная экспертная система была установлена на большой разведывательный атомный корабль «Урал». И это только некоторые из прикладных систем, разработанных при активном участии Александра Сергеевича. Традиционно основным приложением была и остается медицина.

Помимо прикладных интеллектуальных систем А.С. Клещёв активно развивал направление исследований, связанное с разработкой инструментальных систем для их создания. С начала 2000-х годов Александром Сергеевичем были начаты работы по применению технологии облачных вычислений для разработки и использования интеллектуальных систем. В результате была создана компьютерная платформа «Многоцелевой банк знаний», включающая информационно-административную систему, хранилище информационных ресурсов различных уровней общности, удаленный универсальный редактор для создания и модификации информационных ресурсов, а также единый программный интерфейс для их обработки программными сервисами. С использованием Многоцелевого банка знаний

были разработаны специализированные компьютерные банки знаний для ряда предметных областей, таких как медицина, математика, преобразование программ, включающие тематические информационные ресурсы, их редакторы, а также интернет-приложения – интеллектуальные системы для решения задач в этих предметных областях [14].

Полученный опыт позволил перейти к следующей версии этого проекта, которая получила название IACPaaS – облачная платформа для разработки, управления и удаленного использования как прикладных интеллектуальных облачных сервисов, так и инструментария для создания, сопровождения и обеспечения жизнеспособности таких сервисов (рис. 5). В данный инструментарий заложены механизмы расширения его функциональных возможностей как разработчиками, так и пользователями. Эти механизмы основаны на едином декларативном представлении информационных и программных компонентов

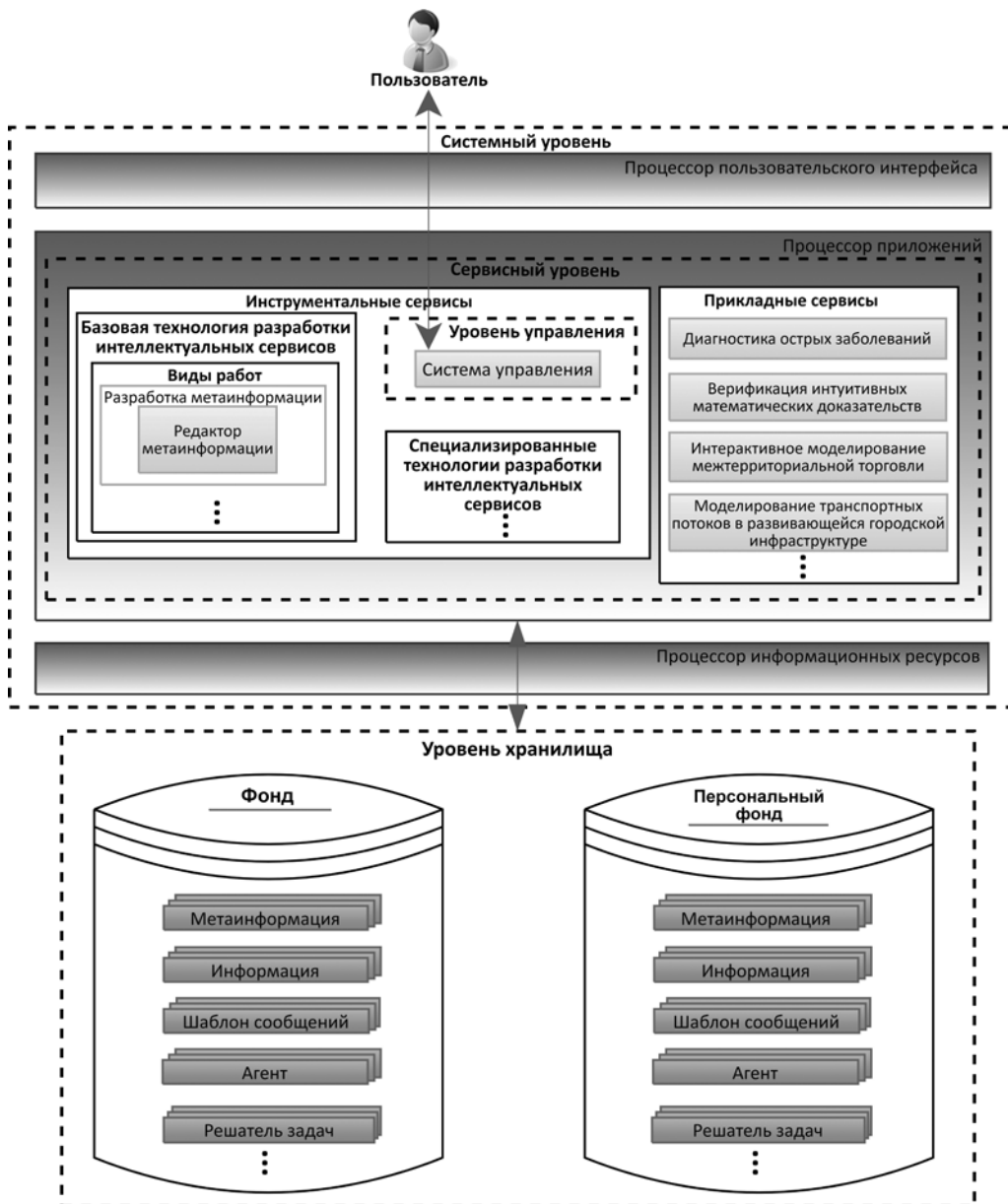


Рис. 5. Облачная платформа IACPaaS

инструментария с возможностью автоматической генерации редакторов для их формирования [8].

### **Текущие направления развития и перспективы исследований в области искусственного интеллекта**

В настоящее время исследования, начатые при активном участии А.С. Клещёва, продолжаются и развиваются. Можно выделить три основных направления исследований, которые сегодня активно проводятся: разработка универсальных инструментов (платформ) для создания систем искусственного интеллекта; разработка специализированных и инструментальных систем для создания классов систем ИИ (экспертных систем, систем поддержки принятия решений, компьютерных тренажеров); разработка прикладных систем ИИ для различных предметных областей. Если раньше основные исследования проводились в области разработки экспертных систем с базами знаний, то в настоящее время не только расширяется спектр систем ИИ (компьютерные тренажеры, системы поддержки принятия решений, обучающие системы), но, прежде всего, увеличивается количество интеллектуальных функций, поддерживаемых такими системами.

Продолжаются работы по развитию облачной платформы IASaaS. Фундаментальные научные задачи исследований – разработка универсальных механизмов, направленных на повышение прозрачности систем ИИ, адаптацию компонентов таких систем к изменяющимся знаниям предметной области, требованиям пользователей и среде эксплуатации. Исследования коллектива и полученные к настоящему времени результаты направлены на разработку новых технологий создания систем ИИ, при этом основное внимание уделяется автоматизации проектирования компонентов систем ИИ, поддержке их коллективного развития, включая экспертов предметной области, разработке новых методов и средств манипулирования и обработки данных и знаний, имеющих семантическое представление [11, 28].

В настоящее время реализуются разработанные коллективом школы искусственного интеллекта методы создания специализированных решателей задач на основе декларативных информационно-управляющих графов. Использование таких графов позволяет, во-первых, повысить «прозрачность» решателя для разработчика и прежде всего сопровождающих – вынести часть взаимосвязей вычислительных блоков из программного кода на декларативный уровень, а во-вторых, увеличить повторную используемость компонентов (и количество таких компонентов) ввиду того, что многие операции, выполняемые решателями, могут быть определены декларативно и использоваться при создании различных информационно-управляющих графов, а не быть закодированными на языке программирования [28].

Продолжаются работы по созданию адаптивных мультимодальных пользовательских интерфейсов для систем ИИ и редакторов БЗ. Они направлены на максимально гибкое и удобное представление информации для разных типов пользователей, систем и платформ [6].

В рамках направления по созданию инструментальных средств для разработки классов систем ИИ разработан комплекс инструментальных оболочек для медицины. Это прежде всего оболочка для создания систем поддержки принятия решений по диагностике заболеваний. Ее основные особенности – независимость от раздела медицины, возможность описания развития заболеваний во времени, использование нечетких шкал при описании признаков заболеваний, поддержка дифференциальной диагностики в зависимости от стадии, степени тяжести и формы заболевания; оболочка для создания систем назначения персонализированного лечения – медикаментозного, восстановительного или оперативного, а также оболочки для создания компьютерных медицинских тренажеров [12, 23, 27].

Общей характеристикой всех таких систем является детализированное обоснование принятых решений и подключение новых знаний автоматически, без необходимости



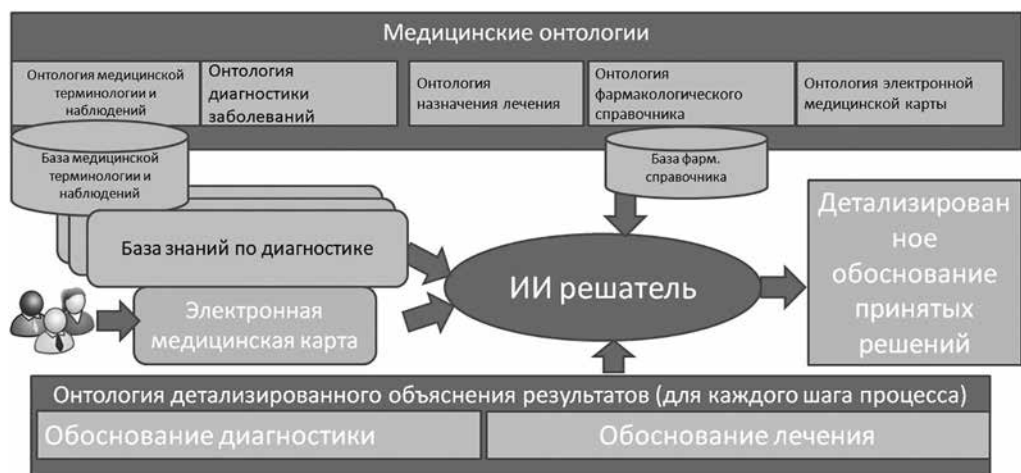


Рис. 6. Архитектура оболочки для создания медицинских систем диагностики и назначения лечения

программирования (рис. 6). С использованием данных оболочек разработан ряд практически полезных медицинских систем для диагностики и лечения вирусных, сердечно-сосудистых, инфекционных и паразитарных болезней, болезней эндокринной системы и нарушения обмена веществ, системы кровообращения и др. В частности, коллектив первым в мире разработал систему по диагностике и лечению covid-19 методами китайской медицины (на китайском языке). Система была развернута в течение десяти дней и уже в начале февраля 2020 г. использовалась в Китае [9].

Теоретические и прикладные исследования коллектива школы не ограничиваются медициной. К настоящему времени разработан набор информационных и программных компонентов для портала знаний по верификации интуитивных математических доказательств, аддитивного лазерного производства, безопасности информационных систем, анализа сельскохозяйственных культур, обнаружения неисправностей подводного робота. Новым результатом [5, 7, 26] стала разработка предметно-независимой онтологической инфраструктуры для диагностики и анализа процессов и ситуаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьева И.Л., Горбачев С.Б., Клещев А.С., Лифшиц А.Я., Орлов С.И., Орлова Л.Д., Уварова Т.Г. Инструментальный комплекс для реализации языков представления знаний // Программирование. 1983. № 4. С. 78–89.
2. Артемьева И.Л., Гаврилова Т.Л., Клещев А.С. Использование логических моделей сложных предметных областей при решении задач // Вестн. ДВО. 1996. № 4. С. 14–22.
3. Артемьева И.Л., Клещев А.С., Коган Б.И., Лифшиц А.Я., Матвеева Т.О., Орлова Л.Д., Сорокин В.С. Оптимизация программ и вычислений для реляционного языка программирования // Методы трансляции и конструирования программ. Науч. тр. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1986. С. 43–49.
4. Артемьева И.Л., Гаврилова Т.Л., Клещев А.С. Системы логических соотношений с параметрами // Науч.-техн. информ. 1997. № 7. С. 19–23.
5. Грибова В.В., Иванова А.В. Автоматизация выбора средств защиты информационных систем на основе онтологического подхода // Науч.-техн. информ. Сер. 2. 2018. № 5. С. 9–18.
6. Грибова В.В., Федорищев Л.А. Адаптивный генератор WIMP-интерфейса редакторов базы знаний на основе онтологии // Вестн. Том. гос. ун-а. Управление, вычислительная техника и информатика 2019. № 49. С. 110–119. ISSN 1998-8605. – <https://doi.org/10.17223/19988605/49/13>.
7. Грибова В.В., Тимченко В.А. Концепция поддержки лазерного аддитивного производства на основе онтологического подхода // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, № 2 (36). С. 176–189. – <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2020-10-2-176-189>.
8. Грибова В.В., Клещев А.С., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Федорищев Л.А., Шалфеева Е.А. Облачная платформа IASaaS для разработки оболочек интеллектуальных сервисов: состояние и перспективы развития // Прогр. продукты и системы. 2018. Т. 31, № 3. С. 527–536. – <https://doi.org/10.15827/0236-235X.031.3.527-536>.

9. Грибова В.В., Окунь Д.Б., Шалфеева Е.А., Щеглов Б.О., Щелканов М.Ю. Облачный сервис для дифференциальной клинической диагностики острых респираторных вирусных инфекций (в том числе – связанных с особо опасными коронавирусами) методами искусственного интеллекта // Якут. мед. журн. 2020. № 2. С. 44–47. – <https://doi.org/10.25789/УМЖ.2020.70.13>.
10. Грибова В.В., Клещёв А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М., Смагин С.В., Тимченко В.А., Тютюнник М.Б., Шалфеева Е.А. Проект IASPaas. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. № 1. С. 27–35.
11. Грибова В.В., Клещёв А.С., Москаленко Ф.М., Тимченко В.А., Шалфеева Е.А. Расширяемый инструмент для создания жизнеспособных систем с базами знаний // Прогр. инженерия. 2018. Т. 9, № 8. С. 339–348. – <https://doi.org/10.17587/prin.9.339-348>.
12. Грибова В.В., Ковалев Р.И., Окунь Д.Б. Специализированная оболочка для построения интеллектуальных систем назначения медикаментозного лечения // Искусств. интеллект и принятие решений. 2020. № 4. С. 66–79. – <https://doi.org/10.14357/20718594200407>.
13. Грук А.В., Клещёв А.С. Инструментальные средства интеллектуальной поддержки процесса приобретения различных видов знаний. Примеры практического применения: препр. Владивосток: ИАПУ ДВО РАН, 2000. 42 с.
14. Клещёв А.С., Орлов В.А. Компьютерные банки знаний. Многоцелевой банк знаний // Информ. технологии. 2006. № 2. С. 2–8.
15. Клещёв А.С., Орлов В.А. Компьютерные банки знаний. Универсальный подход к решению проблемы редактирования информации // Информ. технологии. 2006. № 5. С. 25–31.
16. Клещёв А.С. Реляционная модель вычислений // Программирование. 1980. № 4. С. 20–29.
17. Клещёв А.С. Реляционная модель языков программирования // Перспективы развития в системном и теоретическом программировании: Тр. Всесоюз. симпоз., Новосибирск, 20–22 марта 1978 г. / под ред. И.В. Поттосина. Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1978. С. 73–76.
18. Клещёв А.С. Реляционный язык программирования и принципы его реализации на последовательной ЭВМ // Программирование. 1981. № 6. С. 45–53.
19. Клещёв А.С., Чернойван К.Г. Ускорение вывода в декларативных продукциях на основе пошаговых оптимизаций // Науч.-техн. информ. 1998. № 7. С. 23–32.
20. Черняховская М.Ю. Представление знаний в экспертных системах медицинской диагностики. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 212 с.
21. Chernyakhovskaya M.Yu., Kleshev A.S. Knowledge base creation technology development for expert systems of medical diagnostics // Intern. Conf. “Science and Business”, Oct. 2–3, Washington, USA, 1995. 4 p.
22. Gribova V., Kleshchev A. A model for the verbal explanation of results of expert system operation for an individual user // J. Comp. and Syst. Sci. Intern. 2000. Vol. 39, N 3. P. 483–488.
23. Gribova V., Moskalenko Ph., Petryaeva M., Okun D. Cloud environment for development and use of software systems for clinical medicine and education // Advances in Intelligent Systems Research. 2019. Vol. 166. P. 225–229. ISSN 1951-6851. – <https://doi.org/10.2991/itids-19.2019.40>.
24. Gribova V., Kleshchev A. From an ontology-oriented approach conception to user interface development // Intern. J. ITA. 2003. Vol. 10, N 1. P. 87–94. – <http://hdl.handle.net/10525/918>.
25. Gribova V., Kleshchev A. Model of the Interface for Managing verbally represented source data in Expert systems // J. Comp. and Syst. Sci. Intern. 2001. Vol. 40, N 1. P. 125–130.
26. Gribova V., Shalfeeva E. Ontology of anomalous processes diagnosis // Intern. J. of Intelligent Systems. 2021. Vol. 36, Is. 1. P. 291–312. ISSN 0884-8173. – <http://dx.doi.org/10.1002/int.22300>.
27. Gribova V.V., Petryaeva M.V., Okun D.B., Tarasov A.V. Software toolkit for Creating Intelligent Systems in practical and educational medicine // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). IEEE Xplore. 2018. С. 1–5. – <https://doi.org/10.1109/RPC.2018.8482130>.
28. Gribova V., Kleshev A., Moskalenko P., Timchenko V., Shalfeeva E. The technology for Development of Decision-Making Support Services with Components Reuse // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 902. P. 3–13. ISSN 2194-5357. – [https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-12082-5_1).