



DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-8

УДК: 631.1:004.04

АРХИТЕКТУРА И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АГРАРНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

¹Каличкин В.К., ¹Корякин Р.А., ^{1,2}Куценогой П.К.

¹Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

²Федеральный исследовательский центр «Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук»
Новосибирск, Россия

Для цитирования: Каличкин В.К., Корякин Р.А., Куценогой П.К. Архитектура и принципы работы аграрной интеллектуальной системы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 4. С. 65–75. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-8

For citation: Kalichkin V.K., Koryakin R.A., Kutsenogiy P. K. Arkhitektura i printsipy raboty agrarnoi intellektual'noi sistemy [Architecture and principles of work of agrarian intelligent system]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 4, pp. 65–75. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-8

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Предложена архитектура аграрной интеллектуальной системы, которая положена в основу самообучающейся системы поддержки принятия управленческих решений. Система призвана учитывать все этапы предварительного анализа – от формулировки сельскохозяйственной задачи до выдачи аналитической справки, прогноза или рекомендации. На основе генерируемых системой знаний человек, даже не имеющий специального образования в области сельского хозяйства, может принять адекватное управленческое решение. Система состоит из следующего набора модулей и блоков: пространства сельскохозяйственных задач, пространства источников данных, хранилища данных, журналов, пространства моделей, пространства документации поддержки принятия решений, задачи (как элемента пространства), формализации данных пользователя, формирования массива входных данных для применения модели, выходных данных моделей, показателей, моделей, обращения к журналам, отбора данных, активного контура

ARCHITECTURE AND PRINCIPLES OF WORK OF AGRARIAN INTELLIGENT SYSTEM

¹Kalichkin V.K.,

¹Koryakin R.A., ^{1,2} Kutsenogiy P.K.

¹ Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences

Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

²Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

The architecture of an agrarian intelligent system is proposed, which forms the basis for a self-learning management decision support system. The system is designed to cover all stages of the preliminary analysis – from the agricultural problem formulation to the provision of an analytical report, forecast or recommendation. Based on the knowledge generated by the system, a person who does not even have a special education in agriculture can make an adequate managerial decision. The system consists of the following set of modules and blocks: the space of agricultural tasks, the space of data sources, data storage, journals, the space of models, the documentation space of decision support, the task (as an element of space), formalization of user data, formation of an input data array for applying

аграрной интеллектуальной системы, узлов аграрной интеллектуальной системы. Данная система в перспективе сможет автоматизировать управление сельскохозяйственными процессами в рамках подхода, обозначаемого как «Умное сельское хозяйство» (Smart Farming). Предложено также в дополнение к известным моделям (имитационным, оптимизационным и другим) использовать концепцию агентного моделирования, на которой основаны многие современные зарубежные системы предиктивных технологий в области сельского хозяйства. Гибкость системы позволяет адаптировать ее для решения самого широкого круга задач сельскохозяйственных товаропроизводителей в зависимости от производственной специализации предприятия, природно-климатических условий ведения сельскохозяйственной деятельности, выбора возделываемых культур и уровня интенсификации агротехнологий. Система построена максимально гибко и широко, чтобы адаптироваться к различным запросам, в том числе и тем, которые могут возникнуть в будущем, но еще не сформулированы в настоящее время.

Ключевые слова: интеллектуальная система, имитационное моделирование, хранилище данных, поддержка принятия решений, сельское хозяйство

ВВЕДЕНИЕ

Умное сельское хозяйство (Smart Farming) – это стиль управления, который включает в себя мониторинг, планирование и контроль сельскохозяйственных объектов и процессов. Данный стиль управления требует использования широкого спектра программных и аппаратных систем от разных разработчиков и поставщиков. В управлении сельскохозяйственным производством в России расширяется сфера применения информационных технологий, осуществляются попытки создания интегрированных систем цифровизации для реализации интеллектуального сельского хозяйства. Пока это ограничивается системами параллельного вождения, мониторингом техники, со-

the model, the model output data, indicators, models, the access to journals, data selection, the active circuit of the agrarian intelligent system, nodes of the agrarian intelligent system. In the future this system will be able to automate the management of agricultural processes within the framework of the approach referred to as “Smart farming”. It is also proposed to use, in addition to the well-known models (imitation, optimization, and others), the concept of agent modeling, on which many modern foreign systems of predictive technologies in agriculture are based. The flexibility of the system allows one to adapt it in order to solve the widest range of agricultural producer problems depending on the enterprise production specialization, climatic conditions of agricultural activities, the choice of cultivated crops and the level of intensification of agricultural technologies. The system is built as flexible and wide as possible in order to adapt to various requests, including those that may arise in the future, but have not yet been formulated at present.

Keywords: intelligent system, simulation, data, data storage, decision support, agriculture

зданием цифровых карт полей с помощью ГИС, аэро- и космического мониторинга агроценозов, применением роботов различного назначения и др. Однако цифровизация сельского хозяйства не стала массовой и комплексной. Внедрение интеллектуального сельского хозяйства затруднено также из-за плохой функциональной совместимости различных компонентов информационных систем и связей между ними, что препятствует интеграции.

Нам представляется, что такие виды моделирования, как оптимизационное, имитационное и другие отдельных объектов и процессов в настоящее время уже недостаточны, что отмечается и зарубежными учеными [1–3]. Это требует разработки новых

концептуальных подходов и инструментов для обработки сельскохозяйственной информации, в основу которой должна быть положена растущая база знаний о процессах сельскохозяйственных систем. На западе этот новый подход назван NextGen [1]. Для решения данной проблемы используется так называемая экосистема программного обеспечения (Software Ecosystem). В настоящее время данные системы становятся все более распространенными, поскольку считается, что именно они обеспечивают эффективный способ создания больших систем на основе программной платформы путем объединения компонентов, разработанных участниками, входящими в различные организации [4–7].

Для создания интеллектуальных информационных систем необходимым этапом является концептуализация предметной области (ПО) и разработка общих принципов работы интеллектуальной системы, основанной на знаниях. Под концептуальным моделированием понимается моделирование сущностей ПО, их концептуальных структур, характерных соотношений между ними и их поведения в ПО [8]. По существу, концептуальная модель (КМ) представляет собой структуру знаний о ПО, являющихся необходимой предпосылкой правильного проектирования интеллектуальной системы. В процессе концептуального моделирования выявляют, анализируют и описывают релевантные его целям понятия ПО и связи между ними [9, 10].

Цель исследования – разработка архитектуры аграрной интеллектуальной системы, учитывающая все многообразие значимых данных и описываемых процессов.

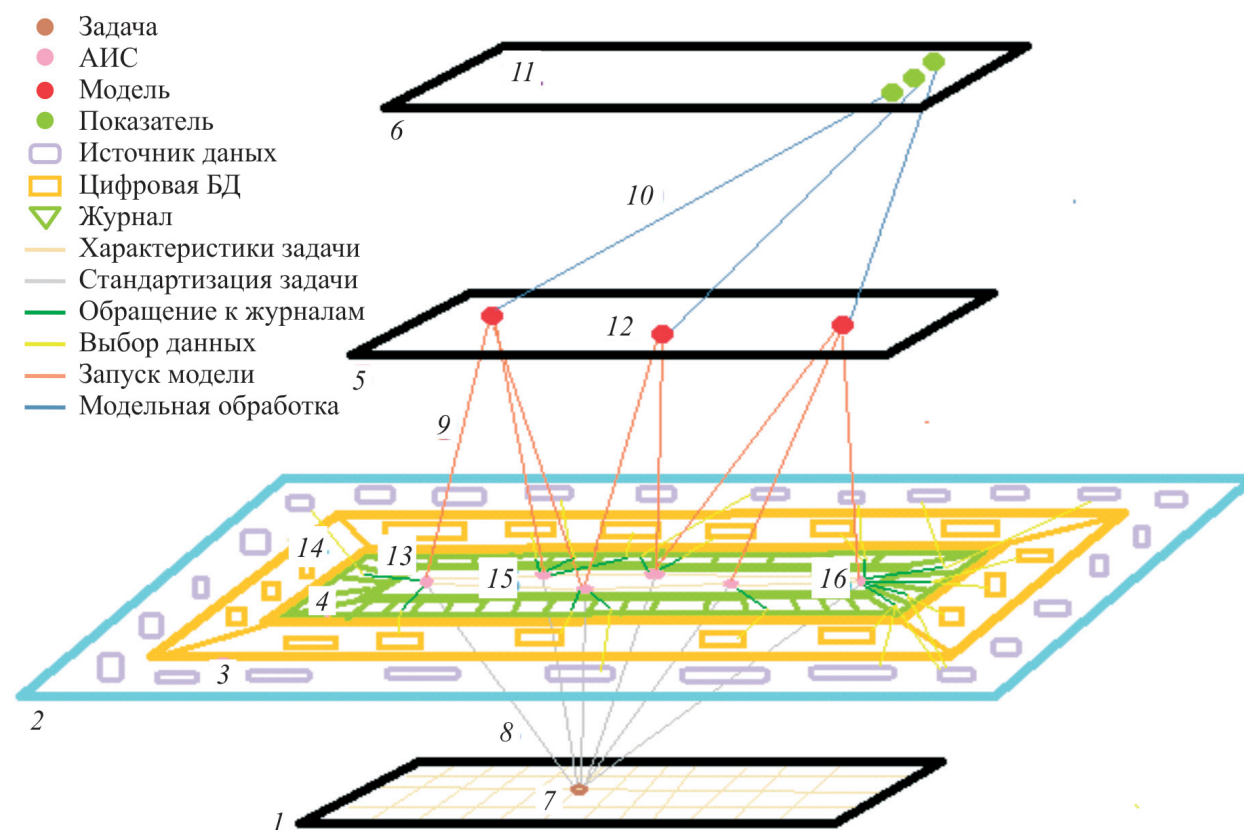
Данная архитектура в идеале должна позволять конструировать гибкие интеллектуальные системы, позволяющие переходить к комплексным прогнозам сельскохозяйственной деятельности и давать релевантные рекомендации лицам, ответственным за принятие решений на агропредприятии.

Профиль сельскохозяйственных предприятий может кардинально отличаться как в зависимости от географической локализации и, как следствие, климатических условий, так и в зависимости от продуктовой специализации. В связи с этим система должна быть достаточно гибкой, настраиваемой, однако учитывать все возможное многообразие применимых подходов и инструментов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для аграрной интеллектуальной системы, которая положена в основу самообучения системы поддержки принятия решений, на рисунке продемонстрирована архитектура, призванная учитывать все этапы предварительного анализа: от формулировки сельскохозяйственной задачи до выдачи аналитической справки, на основе которой не имеющий специального образования человек может принимать решение, руководствуясь только здравым смыслом. Компоненты архитектуры изображены как элементы блоков и связаны между собой концептуальной моделью системы в виде схемы для разработки конкретных требований. Такое представление материала применяется для отображения информационной архитектуры системы (например, [11]). Нотация обозначений приведена на рисунке, цифрами отмечены 16 ключевых элементов, которые рассмотрены ниже.

Пространство сельскохозяйственных задач (1). Нижняя плоскость на рисунке с коричневым кружком – задачей (7) внутри. Сетка в плоскости демонстрирует наличие в этом пространстве некоторой топологии. Для разработки топологии требуется концептуальное и онтологическое моделирование ПО. Результаты такого моделирования могут быть представлены по-разному, поэтому необходимо наращивание объема концептуализированных и онтологизированных знаний по определенному алгоритму в конкретном направлении. На данный момент выбрано три таких направления: выбор и



Архитектура аграрной интеллектуальной системы
Architecture of agrarian intelligent system

размещение культур на определенной территории, агроэкологическая оценка земель и выбор агротехнологий.

Пространство источников данных (2). Каждый конкретный источник обозначен прямоугольником фиолетового цвета с закругленными углами. Речь идет об источниках нетривиальных данных, которые где-то и кем-то собраны или собираются на регулярной основе. Однако нет ясности, как именно их оцифровать и перевести в понятный для интерпретации вид. На данный момент выделено 13 групп таких источников и начато их описание.

Хранилище данных (3), или пространство баз оцифрованных данных. Это данные, которые находятся в хранилище данных и прикреплены к аграрной интеллектуальной системе в виде, в котором их можно использовать для различных математических, ста-

тистических и прочих расчетов. Не представляется рациональным брать данные из источников (2) и переводить их в понятный формат ради того, чтобы они просто были в хранилище данных. Данные и так есть в источниках (2). Забирать и обрабатывать их оттуда (автоматизация этого процесса для каждого источника – не всегда простая задача) имеет смысл по запросу, основанному на условиях задачи (1, 7). Если для решения задачи понадобились данные из внешних источников (2), то лишь эти данные можно перевести в оцифрованный формат и поместить в хранилище. Выглядеть это будет в виде присоединения некоторого массива данных к уже существующей в хранилище (возможно, пустой) базе данных. При этом во внешнем источнике продолжают накапливаться данные, поэтому он тоже не исчезает, а остается в пространстве (2).

Журналы (4) – способ хранения информации об источниках внешних данных (3) и базах оцифрованных данных (4). Журналы разбиты по темам, соответствующим структуре пространства сельскохозяйственных задач (1). При этом в каждый журнал не только может попасть (14) несколько источников данных (2) или баз данных (3), но и каждый источник данных (2) или база данных (3) может попасть (14) в несколько журналов. Через журналы с помощью специального языка запросов аграрная интеллектуальная система взаимодействует с хранилищем данных.

Пространство моделей (5). Вторая сверху плоскость с тремя красными кружками – моделями (12) – внутри. Модели – это средства обработки данных, дающие результаты, по которым можно судить о связанной с задачей ситуации и принимать решения. Без моделей не обойтись, ведь даже подсчет среднего арифметического некоторого ряда исходных данных уже является моделью, не говоря уже о сравнении рядов статистическими и математическими методами. Моделей придумано много, и каждая из них может сработать в определенный момент в определенных условиях, а может и не сработать. Модели, разработанные отдельными лабораториями и учеными, могли бы быть сервисными элементами аграрной интеллектуальной системы, выступая в качестве черных ящиков. В них отправляются специально структурированные входные данные (структурирование входных данных (9) – отдельная и трудоемкая работа, выполняемая прежде всего в интересах авторов моделей), из которых получают показатели (11), имеющие ту или иную ценность.

Пространство документации поддержки принятия решений (6). Верхняя плоскость с тремя кружками – показателями (11) – внутри. В результате обработки соответствующих задаче (1, 7) данных (15), собранных из хранилища (3) и из внешних источников (2),

моделями (5, 12), получены результирующие показатели (11), по значениям которых в автоматическом режиме составляются документы: справки, отчеты, аналитические записки, статистические отчеты, рекомендации и др. При выборе моделей в пространстве (5), отборе (14) источников данных (2) и оцифрованных баз данных (3) через систему журналов (4, 13) необходимо четко понимать условия конкретной задачи и цель использования аграрной интеллектуальной системы. Утилитарная задача – всегда документ с цифрами и их краткой, ориентирующей в пространстве выбора интерпретацией. Формат таких документов, следовательно, должен быть известен заранее.

Задача (7) – элемент пространства (1). Формализация понятия «задача» для всех пользователей аграрной интеллектуальной системы необходима для оптимизации структуры журналов (4), корректной работы используемого контура аграрной интеллектуальной системы (15) и ее отдельных узлов (16). Именно эти компоненты отвечают за выбор данных (13, 14), необходимых для корректного и полного формирования входа (9) моделей (5, 12) и отображения в документах (6) необходимых фактических или прогнозных показателей (11), связанных с задачей.

Предполагается 8 групп пользователей аграрной интеллектуальной системы. Для них составлен рейтингованный список свойств и функций аграрной интеллектуальной системы, на основе которого планируется концептуализировать пространство задач для каждой группы пользователей. Начата концептуализация пространства сельскохозяйственных задач для группы пользователей «Агрохозяйства». Кроме того, выделена задача «Выбор и размещение культуры» с ее подзадачами «Оценка соответствия требований культур свойствам территории». В рамках модели управления агротехнологиями рассматривается задача «Управление

процессом возделывания культуры» с подзадачей «Пространство состояний и поля выбора».

Формализация данных пользователя (8). Серые линии, идущие от коричневого кружка, – задачи (7) – к розовым кружкам – узлам аграрной интеллектуальной системы (16). Даже точная идентификация в пространстве (1) задачи (7) не отменяет разнородности и разноформатности получаемых от пользователя аграрной интеллектуальной системы данных. Эти данные необходимо формализовать и оцифровать так, чтобы при стыковке с отобранными (14) через систему журналов (4, 13) данными внешних источников (2) и оцифрованных баз данных (3) в узлах (16) и контурах (15) аграрной интеллектуальной системы корректно формировались фрагменты входных массивов данных (9) для моделей (5, 12).

Данный этап обработки данных пользователя тесно связан с задачей (7). В связи с этим осуществляется этап «докомплектация данных». Необходимо разработать сценарии работы с данными на этом этапе, которые реализуются в процессе разработки тестовой модели движения информации в аграрной интеллектуальной системе. С другой стороны к этому же вопросу осуществляется подход в рамках задачи расчета ресурсных затрат на отдельные операции работы аграрной интеллектуальной системы и ее операторов.

Формирование массива входных данных для применения модели (9). Оранжевые тонкие линии, идущие от розовых кружков – узлов интеллектуальной системы (16) – к красным кружкам – моделям (12). В основном на вход моделям поставляются экспертные или справочные данные, часто неполные или устаревшие, т.е. фрагментарно связанные с источниками данных (2). Медленное получение необходимой и полной входной информации – основной недостаток каждой конкретной модели (12) и одновременно

интерес группы пользователей «модельные сервисы», о которых кратко было сказано в (5). Пространство массивов входных данных зависит от используемых аграрной интеллектуальной системой моделей (5), и его концептуализация должна проводиться с оглядкой на группы пользователей системы и группы связанных с ними сельскохозяйственных задач, о чем шла речь в (7).

Выходные данные моделей (10). Темно-голубые тонкие линии, идущие от красных кружков – моделей (12) – к светло-зеленым кружкам – показателям (11). Существующие модели (12) из пространства моделей (5) выдают некоторые наборы данных, но не все из них нужны в пространстве документов (6) в качестве показателей для принятия решений. Сформировать минимально необходимый комплект показателей для того, чтобы иметь возможность достаточно полно судить обо всех стадиях процесса возделывания сельскохозяйственной культуры (а впоследствии, на следующем этапе развития аграрной интеллектуальной системы, и осуществлять имитационное моделирование этого процесса).

Показатели (11). Светло-зеленые кружки на плоскости документов (6). Формируются обработкой выходных данных моделей (10) и размещением их в заданных местах документа из пространства (6). Фрагменты множества показателей получены при упомянутой в (1) концептуализации ПО «выбор и размещение культур».

Модели (12). Красные кружки на плоскости моделей (5). Отдельные элементы пространства (5). Нужны для преобразования фрагментов данных, формируемых (14) в контурах (15) и узлах (16) аграрной интеллектуальной системы на основании взаимодействия через журналы (4, 13) с источниками данных (2) и базами оцифрованных данных (3), в демонстрируемых в агроконсалтинговых документах (6) показатели (11). Как уже упоминалось в (5), на данный

момент приняты к встраиванию в аграрную интеллектуальную систему (3) модели: «кармановская» [12, 13], «рожковская» [14] и «южаковская»¹. Исследование и встраивание этих моделей в аграрную интеллектуальную систему необходимо проводить на основании характеризующих конкретную задачу (7) из пространства (1) показателей (11).

Обращение к журналу (13). Изображено на рисунке в виде тонких зеленых линий. Происходит в момент, когда нужно совместить, состыковать данные пользователя (8) с данными входа моделей (9) с учетом неизвестных пользователю, но доступных аграрной интеллектуальной системе данных внешних источников (2) и баз оцифрованных данных (3). Таким образом, через обращение к журналу происходит совмещение одновременно четырех ключевых компонентов аграрной интеллектуальной системы: (2), (3), (7) и (12). Вследствие этого работа над структурой журналов приобретает стратегическое значение. Состав и структура журналов (4), их связи с источниками данных (2) и базами оцифрованных данных (3) могут существенно облегчить взаимодействие аграрной интеллектуальной системы с хранилищем данных при правильной их реализации или серьезно ее усложнить при неправильной.

Отбор данных (14). Изображен на рисунке в виде тонких желтых линий. Осуществляется через систему журналов (4) путем обращения к одному или нескольким журналам (13) для выделения из источников данных (2) и баз оцифрованных данных (3) тех фрагментов данных, которые, с одной стороны, соответствуют задаче (7), с другой – предоставленным пользователем аграрной интеллектуальной системы данным (8), с третьей – входным данным (9) моделей (12), с четвертой, независимо от пространства моделей (5), – являются необходимым и достаточным объемом данных для выдачи

адекватных и достоверных показателей (11) в документах пространства (6). Ключевой блок аграрной интеллектуальной системы.

Активный контур аграрной интеллектуальной системы (15). Изображен на рисунке как фигура из линий, соединяющих розовые кружки в пространстве, расположенном с внутренней стороны блока журналов. Идея активного контура – отобразить подмножество пространства задач (1) в множество отобранных (14) через журналы (4) данных, т.е. каждой задаче (7) представителя одной из 8 групп пользователей аграрной интеллектуальной системы должен соответствовать свой активный контур, который отбирает (14) очерченную область пространства задач (1) набор связанных с задачей (7) данных. Каждый активный контур моделирует в аграрной интеллектуальной системе так называемого агента – наблюдателя за одними и теми же данными при решении одних и тех же задач в течение длительных периодов времени. Предложена идея использовать концепцию понятия «агент», известную в агентном моделировании. Многие современные зарубежные системы предиктивных технологий в области сельского хозяйства основаны именно на таком агентном подходе [15, 16]: отбираются (экспертно или статистически) данные для наблюдения, моделируется многолетнее наблюдение за этими данными, многолетние временные ряды наблюдаемых данных обрабатываются математически, результат обработки сравнивается с реальными данными. Недостаток подхода использования одного агента в том, что используется экспертное мнение только одного наблюдателя. Поэтому была выдвинута идея разделять агентов на биоценозные, или внутренние (зерно, растение), и внешние (агроном, биотехнолог, фермер). В связи с этим возникает научная задача кооперативизации пространства агентов.

¹Южаков А.И., Добротворская Н.И. Система экспертной оценки сравнительной продуктивности почв // Тез. докл. II съезда об-ва почвоведов (27–30 июня 1996 г., Санкт-Петербург). Кн. 2. СПб., 1996. С. 247–249.

Узлы аграрной интеллектуальной системы (16). Обозначены розовыми кружками в пространстве, расположенном с внутренней стороны блока журналов (4). Составная часть активного контура (15). Моделирует источники наблюдения агента. Агент наблюдает в течение длительного времени за несколькими источниками данных. Эти временные ряды формируют его «интуицию», на основе которой он и принимает решение. Каждый узел может входить как составная часть в несколько активных контуров (15), так же как и каждый активный контур (15) может содержать несколько узлов. В математике понятие «интуиция» формализовано терминами «узнаваемость» и «различимость» в парадигме суперинтуиционистской логики, выросшей в научной школе А.Н. Колмогорова [17] и разработанной основоположником сибирской школы алгебры и логики А.И. Мальцевым [18] и его учениками [19–21]. Необходимо отметить, что структура активных контуров (15) и узлов (16) независима от структуры журналов (4), т.е. каждый узел может обращаться (13) к нескольким журналам (4) и несколько узлов могут обращаться (14) к одному журналу (4), что показано на иллюстрации зелеными тонкими линиями. На данный момент понятие агента как активного контура аграрной интеллектуальной системы (15) не формализовано. Эта задача отнесена к следующему этапу исследования, следовательно, и узлы аграрной интеллектуальной системы как составные части контуров отдельно не рассматриваются. Независимость от структуры журналов (4) позволит в будущем смоделировать агентов как множества составленных в активные контуры (15) узлов и встроить в работу аграрной интеллектуальной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная архитектура аграрной интеллектуальной системы покрывает все возможные сценарии ее применения, однако

эффективность имплементации в значительной степени зависит от полноты и ценности экспертной информации, закладываемой в основу топологии онтологических моделей. Решающую роль играют экспертные знания, их представление в концептуализированном виде, в основе которого лежит идея анализа и проектирования конструкции моделей не только ПО, но и самих баз знаний в виде системы инвариантных конструкторов – моделей и задания метода их интеграции в некоторую единую понятийную структуру². Такая система создана в лаборатории предиктивных агротехнологий с использованием методов искусственного интеллекта СФНЦА РАН и в настоящее время используется для формализации любого вида данных, информации и знаний, связанных с сельским хозяйством.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antle J.M., Basso B., Conant R.T., Charles H., Godfray J., Jones J.W., Herrero M., Howitt R.E., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Rosenzweig C., Tittonell P., Wheeler T.R. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Design and improvement // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 155. P. 255–268. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.10.002.
2. Janssen S.J.C., Porter C.H., Moore A.D., Athanasiadis I.N., Foster I., Jones J.W., Antle J.M. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 155. P. 200–212. DOI: 10.1016/j.agsy.2016.09.017.
3. Ditzler L., Klerkx L., Chan-Dentoni J., Posthumus H., Krupnik T.J., Ridaura S.L., Andersson J.A., Baudron F., Groot J.C.J. Affordances of agricultural systems analysis tools: A review and framework to enhance tool design and implementation // *Agricultural Systems*. 2018. Vol. 164. P. 20–30. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.03.006.

²Болотова Л.С., Мороз Ю.В., Смирнов С.С., Смольянинова В.А. Метод ситуационного анализа и проектирования модели предметной области произвольной природы // Теоретические вопросы вычислительной техники и программного обеспечения: межвуз. сб. науч. тр. М.: МГТУ МИРЭА, 2011. С. 5–26.

4. Bosch J. From software product lines to software ecosystems // Proceedings of the 13th international software product line conference. Carnegie Mellon University, 2009. P. 111–119.
5. Te Molder J., van Lier B., Jansen S. Clopenness of Systems: The Interwoven Nature of Ecosystems // IWSECO@ ICSOB. 2011. P. 52–64. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-746/IWSECO2011-5-MolderLierJansen.pdf>.
6. Manikas K., Hansen K.M. Software ecosystems—A systematic literature review // Journal of Systems and Software. 2013. Vol. 86. N 5. P. 1294–1306. DOI: 10.1016/j.jss.2012.12.026
7. Kruize J.W., Wolfert J., Scholten H., Verdouw C.N., Kassahun A., Beulens A.J.M. A reference architecture for Farm Software Ecosystems // Computers and Electronics in Agriculture. 2016. Vol. 125. P. 12–28. DOI: 10.1016/j.compag.2016.04.011.
8. Козаловский М.Р., Калиниченко Л.А. Концептуальное и онтологическое моделирование в информационных системах // Программирование. 2009. № 5. С. 3–25.
9. Палагин А.В., Петренко Н.Г. Системно-онтологический анализ предметной области // УСиМ. 2009. № 4. С. 3–14.
10. Сорокин А.Б. Концептуальное проектирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. № 3 (25). С. 247–269. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269.
11. Surensen C.G., Fountas S., Nash E., Pesonen L., Bochtis D., Pedersen S.M., Basso B., Blackmore S.B. Conceptual model of a future farm management information system // Computers and electronics in agriculture. 2010. Vol. 72. N 1. P. 37–47. DOI: 10.1016/j.compag.2010.02.003.
12. Карманов И.И., Булгаков Д.С. Алгоритм оценки продуктивности почвенно-агроэкологических условий возделывания сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2007. № 5. С. 37–40.
13. Карманов И.И., Булгаков Д.С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра: монография. М.: Издательство «АПР», 2012. 121 с.
14. Рожков В.А. Опыт разработки национальной системы оценки земель // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 76. С. 33–51.
15. Le Q.B., Seidl R., Scholz R.W. Feedback loops and types of adaptation in the modelling of land-use decisions in an agent-based simulation // Environmental Modelling & Software. 2012. Vol. 27. C. 83–96. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.09.002
16. Groeneveld J., Möller B., Buchmann C.M., Dressler G., Guo C., Hase N., Hoffmann F., John F., Klassert C., Lauf T., Liebelt V., Nolzen H., Pannicke N., Schulze J., Weise H., Schwarz N. Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models – A review // Environmental modelling & software. 2017. Vol. 87. P. 39–48. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.10.008.
17. Колмогоров А.Н. Избранные труды. Математика и механика. М.: Наука, 1985. С. 393–404.
18. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. 392 с.
19. Лавров И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов: монография. М.: Физматлит, 2002. 256 с.
20. Мардаев С.И. О числе предлокально-табличных суперинтуиционистских пропозициональных логик // Algebra i Logika. 1984. Т. 23. № 1. С. 74–87.
21. Максимова Л.Л., Юн В.Ф. Узнаваемость в предгейтинговых и стройных логиках // Сибирские электронные математические известия. 2019. Т. 16. С. 427–434. DOI: <https://doi.org/10.33048/semi.2019.16.024>.

REFERENCES

1. Antle J.M., Basso B., Conant R.T., Charles H., Godfray J., Jones J.W., Herrero M., Howitt R.E., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Rosenzweig C., Tittonell P., Wheeler T.R. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Design and improvement. *Agricultural Systems*, 2017, vol. 155, pp. 255–268. DOI: 10.1016/j.agry.2016.10.002.
2. Janssen S.J.C., Porter C.H., Moore A.D., Athanasiadis I.N., Foster I., Jones J.W., Antle J.M. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agricultural Systems*, 2017, vol. 155, pp. 200–212. DOI: 10.1016/j.agry.2016.09.017.
3. Ditzler L., Klerkx L., Chan-Dentoni J., Posthumus H., Krupnik T.J., Ridaura S.L., Andersson J.A., Baudron F., Groot J.C.J. Affordances of agricultural systems analysis tools: A review and framework to enhance tool design

- and implementation. *Agricultural Systems*, 2018, vol. 164, pp. 20–30. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.03.006.
4. Bosch J. From software product lines to software ecosystems. Proceedings of the 13th international software product line conference. *Carnegie Mellon University*, 2009, pp. 111–119.
 5. J. Te Molder J., van Lier B., Jansen S. Cloppeness of Systems: The Interwoven Nature of Ecosystems. *IWSECO@ ICSOB*, 2011, pp. 52–64. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-746/IWSECO2011-5-MolderLierJansen.pdf>.
 6. Manikas K., Hansen K.M. Software ecosystems – A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 2013, vol. 86, no. 5, pp. 1294–1306. DOI: 10.1016/j.jss.2012.12.026
 7. Kruize J. W., Wolfert J., Scholten H., Verdouw C.N., Kassahun A., Beulens A.J.M. A reference architecture for Farm Software Ecosystems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2016, vol. 125, pp. 12–28. DOI: 10.1016/j.compag.2016.04.011.
 8. Kogalovskii M.R., Kalinichenko L.A. Kontseptual'noe i ontologicheskoe modelirovanie v informatsionnykh sistemakh [Conceptual and ontological modeling in information systems]. *Programmirovaniye* [Programming], 2009, no. 5, pp. 3–25. (In Russian).
 9. Palagin A.V., Petrenko N.G. Sistemno-ontologicheskii analiz predmetnoi oblasti [System-ontological analysis of the subject area]. *USiM* [USiM], 2009, no. 4, pp. 3–14. (In Russian).
 10. Sorokin A.B. Kontseptual'noe proektirovanie intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya [Conceptual design of intelligent decision support system]. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of designing], 2017, vol. 7, no. 3 (25), pp. 247–269. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-3-247-269. (In Russian).
 11. Sørensen C.G., Fountas S., Nash E., Persson L., Bochtis D., Pedersen S.M., Basso B., Blackmore S.B. Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and electronics in agriculture*, 2010, vol. 72, no. 1, pp. 37–47. DOI:10.1016/j.compag.2010.02.003.
 12. Karmanov I.I., Bulgakov D.S. Algoritm otsenki produktivnosti pochvenno-agroekologicheskikh uslovii vozdel'yvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Algorithm for assessing the productivity of soil-agro-ecological conditions for the cultivation of crops]. *Plodorodie* [The Journal Plodorodie], 2007, no. 5, pp. 37–40. (In Russian).
 13. Karmanov I.I., Bulgakov D.S. *Metodika pochvenno-agroklimaticheskoi otsenki pakhotnykh zemel' dlya kadastra* [Methodology of soil and agroclimatic assessment of arable land for the cadastre]. M.: APR Publ., 2012. 121 p. (In Russian).
 14. Rozhkov V.A. Opyt razrabotki natsional'noi sistemy otsenki zemel' [Experience in elaborating the national system for estimating the land suitability]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2014, Vyp. 76, pp. 33–51. (In Russian).
 15. Le Q.B., Seidl R., Scholz R.W. Feedback loops and types of adaptation in the modeling of land-use decisions in an agent-based simulation. *Environmental Modelling & Software*, 2012, vol. 27, pp. 83–96. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.09.002.
 16. Groeneveld J., Müller B., Buchmann C.M., Dressler G., Guo C., Hase N., Hoffmann F., John F., Klassert C., Lauf T., Liebelt V., Nolzen H., Pannicke N., Schulze J., Weise H., Schwarz N. Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models – A review. *Environmental modelling & software*, 2017, vol. 87, pp. 39–48. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.10.008.
 17. Kolmogorov A.N. *Izbrannyye trudy. Matematika i mekhanika* [Selected Works. Mathematics and Mechanics]. M.: Nauka Publ., 1985, pp. 393–404. (In Russian).
 18. Mal'tsev A.I. *Algebraicheskie sistemy* [Algebraic Systems]. M.: Nauka Publ., 1970, 392 p. (In Russian).
 19. Lavrov I.A., Maksimova L.L. *Zadachi po teorii mnozhestv, matematicheskoi logike i teorii algoritmov* [Problems in set theory, mathematical logic and theory of algorithms]. M.: Fizmatli Publ., 2002, 256 p. (In Russian).
 20. Mardaev S.I. O chisle predlokal'no-tablichnykh superintuitionistskikh propozitsional'nykh logik [On the number of prelocal-tabular superintuitionistic propositional logics]. *Algebra i Logika* [Algebra and Logics], 1984, vol. 23, no. 1, pp. 74–87. (In Russian).
 21. Maksimova L.L., Yun V.F. Uznavaemost' v predgeitingovykh i stroinykh logikakh [Recognizability in pre-Heiting and well-formed logics]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya* [Siberian Electronic Mathematical Reports], 2019, vol. 16, pp. 427–434. DOI: <https://doi.org/10.33048/semi.2019.16.024>. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

(✉) **Каличкин В.К.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** 630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск, а/я 463; e-mail: kvk@ngs.ru

Корякин Р.А., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник; e-mail: romank@nsk.ru

Куценогий П.К., кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник; e-mail: peter@kutsenogiy.ru

AUTHOR INFORMATION

(✉) **Kalichkin V.K.**, Doctor of Science in Agriculture, Head Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: kvk@ngs.ru

Koryakin R.A., Candidate of Science in Physics and Mathematics, Senior Researcher; e-mail: romank@nsk.ru

Kutsenogiy P.K., Candidate of Science in Physics and Mathematics, Lead Researcher; e-mail: peter@kutsenogiy.ru

*Дата поступления статьи 20.04.2019
Received by the editors 20.04.2019*