



doi: 10.24412/0044-3913-2022-7-3-7
УДК 631.58

Структуризация агротехнологических знаний для построения онтологий в растениеводстве

**В. В. ЯКУШЕВ, доктор
сельскохозяйственных наук,
член-корреспондент РАН,
зав. лабораторией (e-mail:
mail@agrophys.com)**

Агрофизический научно-
исследовательский институт,
Гражданский просп., 14, Санкт-
Петербург, 195220, Российская
Федерация

Появление большого количества информационных систем и цифровых инструментов для сельского хозяйства неизбежно поднимает вопрос об их совместимости и интеграции в общий производственный процесс. Задачу создания совместимых цифровых платформ, инструментов и сервисов для сельского хозяйства возможно решить с использованием онтологического моделирования. Цель исследований – формализовать сущности, участвующие в проектировании агротехнологий и связи между ними в пригодной для построения онтологической модели форме, а также создать программный инструментарий для структуризации знаний при проектировании агротехнологий. На примере типового сельскохозяйственного предприятия Ленинградской области идентифицированы и изучены информационные потоки системы управления отраслью «растениеводство» на предприятии. Предметом исследования служил процесс проектирования технологии производства продукции растениеводства (агротехнологий). В исследуемом предприятии из 19-и потоков информации, задействованных в принятии решений, 15 основаны на проекте технологии производства, руководитель отрасли растениеводства (агроном) использует 8 и, как правило, только при работе с 1 потоком информации он применяет компьютерные технологии. Разбивка сложного производства на более простые сегменты позволила представить производственный цикл отрасли растениеводства в виде блок-схемы из 11 процессов, связанных материальными и информационными потоками с генераторами, потребителями и накопителями ресурсов. Основой для построения автоматизированных систем прецизионного управления производством растение-

водческой продукции служит изучение и идентификация информационных потоков системы управления отраслью «растениеводство» на предприятии. В качестве одного из элементов решения этой задачи разработан программный модуль «Просмотр и адаптация агротехнологий», который представляет собой настольное приложение, работающее под управлением операционной системы Windows. Он предназначен для просмотра ранее созданной базовой агротехнологии, редактирования базы данных хозяйства с последующей адаптацией базовой агротехнологии к данным хозяйства для получения на выходе адаптированной агротехнологии в электронном виде.

Ключевые слова: точное земледелие, онтология растениеводства, инженерия знаний, агротехнологии.

Для цитирования: Якушев В.В. Структуризация агротехнологических знаний для построения онтологий в растениеводстве // Земледелие. 2022. №7. С. 3–7. doi: 10.24412/0044-3913-2022-7-3-7.

Основной задачей практически любого сельхозпроизводителя в растениеводстве служит выполнение плана по производству необходимого количества растениеводческой продукции определенного качества. Этого в первую очередь достигают разработкой на каждом сельскохозяйственном поле определенных агротехнологий по возделыванию той или иной культуры. Очевидно, что планирование комплекса агротехнологий, надлежащее выполнение операций в ходе его реализации на каждом этапе и оперативное управление – определяющие факторы эффективности сельхозпредприятия. Эту важную работу в хозяйствах проводят руководство подразделений, главный агроном и его подчиненные.

Точное земледелие (ТЗ) – переход сельского хозяйства на новый технологический уровень – стало возможным благодаря развитию глобальных навигационных систем, роботизации производства, использованию датчиков и сканеров, определяющих

показатели плодородия и состояние посевов, разработке программного обеспечения для анализа данных, в том числе «больших», применению результатов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), развитию бортовой электроники для сельхозтехники и появлению техники, способной дифференцированно проводить агротехнические операции на поле. Так, по данным Центра мониторинга и прогнозирования Кубанского аграрного университета, внедрение точного земледелия в России находится на уровне 6...8 %.

Технологии точного земледелия условно можно разделить на три основных этапа: «сбор данных», «анализ и принятие решений» и «выполнение операций в поле». Анализ предлагаемого программного обеспечения на рынке точного земледелия показывает, что среди более чем 50 программ и сервисов крайне мало представлены интеллектуальные системы, построенные на знаниях. То есть этап «анализа данных и принятия решений» наименее развит и, с нашей точки зрения, служит наиболее перспективным направлением исследований. Учитывая традиционно высокий уровень отечественного математического моделирования и программирования можно утверждать, что в нашей стране есть все шансы занять достойное место в этом сегменте. Однако существует проблема несовместимости разнообразных создаваемых интеллектуальных систем. В 2017 г. на совещании по формированию основных направлений и ключевых мероприятий программы «Цифровая экономика» заместитель руководителя Аналитического центра при Правительстве РФ Пушкин В.М. заявил: «мы не знаем, что делать с 5000 информационных систем (ИС) на федеральном уровне, с 50000 ИС на региональном уровне, которые не связаны между собой, не интегрированы». По нашим расчетам в ближайшие годы будет создано несколько сотен тысяч ИС в сельском хозяйстве с такими же проблемами. Проблема их совместимости может быть решена с использованием онтологических моделей предметных областей.

В последнее десятилетие в результате развития web-технологий, интернета вещей и лавинообразного роста неструктурированных данных

де-факто стандартом в инженерии знаний стал онтологический подход, включающий необходимый логико-лингвистический аппарат для представления знаний, и стек семантических технологий для хранения, распространения и логического вывода знаний, а также построения программных интерфейсов и «умных» приложений для обработки данных и знаний [1].

Онтология предметной области может стать по сути цифровой платформой, на базе которой появятся новые цифровые решения различных разработчиков, вопрос совместимости которых будет решен априори. Подобная общая «цифровая платформа» позволит создавать программные продукты избегая семантических конфликтов и несовместимости. Создание онтологических баз агротехнологических знаний не под силу какой-то одной организации ввиду огромных массивов данных и знаний. Эта задача может быть решена только совместными усилиями науки, образования и различных специалистов предметной области.

Интеллектуализация управления отраслью растениеводства сельскохозяйственного предприятия – одно из актуальных научных направлений, обеспечивающих конкурентоспособность производства в современных условиях. Её сущность заключена в разработке и внедрении интеллектуальных составляющих, обеспечивающих подготовку вариантов решения задач управления в автоматизированном режиме с участием на этапе ранжирования вариантов лица, принимающего решения (оператора системы, далее – «ЛПР»). При этом разработчики концепции интеллектуализации управления предлагают новое деловое видение коллектива ЛПР при выборе стратегии развития производства. Они полагают, что система внесёт свои изменения в правила делового видения и это будет нечто иное, чем простое достижение финансового результата [2]. Сейчас к таким изменениям в управлении готовы лишь отдельные сельскохозяйственные предприятия, но именно такой вариант в будущем будет основой для накопления долгосрочных конкурентных преимуществ.

Накопление конкурентных преимуществ системы управления сельскохозяйственным предприятием начинается с разработки проекта агротехнологии с интеллектуальными составляющими. В частности, элементами автоматизации для проектирования вариантов агротехнологии с последующим их ранжированием. Результаты исследований показывают, что основным сдерживающим

фактором при автоматизации проектирования агротехнологии служит неоднозначность толкования терминов и отсутствие единой (для всех разработчиков) структуры информации о предметной области [3]. Эта проблема принципиально решается с помощью онтологий.

В сельском хозяйстве онтологический подход к формализации знаний развит недостаточно, например, по сравнению с банковской сферой, военно-промышленным комплексом, химической промышленностью и другими отраслями. Из зарубежного опыта использования онтологического подхода к управлению знаниями в растениеводстве и земледелии можно отметить несколько проектов. Например, проект Planteome ([URL: http://planteome.org/web_services](http://planteome.org/web_services)) предоставляет API (англ. Application Programming Interface — программный интерфейс компьютерного приложения), который обеспечивает доступ к данным и их использование. Вызовы API можно настроить для запроса любых терминов онтологии, их определений и других атрибутов и аннотационных данных, возвращающих их в формате JSON (JavaScript Object Notation – текстовый формат). Проект содержит биомедицинские и биологические объекты, отношения между ними. Сюда относятся гены, болезни, фенотипы, метаданные и др. [4].

Исследовательская группа службы онтологии сельского хозяйства Института информации Китайской академии сельскохозяйственных наук разрабатывает методологии построения онтологий, системы управления ими и их применение. Члены группы изучили теорию онтологического конструирования, методологии, инструменты, приложения и др. Эти исследования активно продвинули сельскохозяйственную онтологию с уровня теории до реальной практики [5].

Организация ФАО (продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций) запустила план создания сельскохозяйственной онтологии в 2001 г., и первоначальная онтология состояла из трех частей: безопасность пищевых продуктов, рыболовство и питание.

Для решения задач автоматического извлечения терминов из различных текстов в сельскохозяйственной области применяется алгоритм RENT. Крайне важно использовать эффективную обработку данных к огромному количеству сельскохозяйственных сведений. Этот алгоритм базируется на основных методах распознавания именованных объектов и включает в себя изменение последовательности

обычной процедуры автоматического извлечения терминов.

Российский опыт построения онтологических баз знаний в области растениеводства не обширен, но исследования в этом направлении ведутся. Разрабатывают различные предметные онтологии (растений, признаков растений, экспериментальных условий и др.) и онтологии задач, решаемых в области точного земледелия. Получены оригинальные результаты онтологического моделирования исследуемой области на основе конструктора баз знаний, разрабатываемого компанией «Разумные решения». В этой работе для решения задачи распределения ресурсов и планирования работ предложено использовать мультиагентный подход [3].

Облачная интеллектуальная система SmartFarming предназначена для интеллектуализации управления предприятиями растениеводства, использующими технологии точного земледелия. Ее база знаний содержит коллекцию специализированных онтологий, описывающих различные аспекты производства: онтологию растениеводства, болезней посевов, почв, технологических процессов, удобрений, онтологию сельскохозяйственных машин и др. Кроме понятий (классов) разработан набор отношений, применимых для связи одних понятий (классов) с другими: «является», «входит в», «состоит из», «предшествует», «следует за», «требует», «потребляет», «производит», «относится к».

На базе спроектированной логической структуры базы данных (БД), разработана укрупненная концептуальная информационная модель растениеводства на основе онтологического моделирования информационных ресурсов в растениеводстве [6].

Существуют и другие работы отечественных авторов, направленные на создание интеллектуальных систем в сельском хозяйстве: описана система аккумуляции знаний для управления агропромышленным предприятием, предоставляющая руководителям информационную поддержку принятия решений; по итогам терминологическо-семантического анализа определены основные составляющие интенсивного садоводства; предложены подходы к формированию единой цифровой платформы сельского хозяйства [7, 8, 9]. По нашему мнению, ключевым вопросом при построении онтологических моделей служит извлечение и структуризация знаний.

Цель исследования – изучение производственных процессов и соз-

дание цифровых инструментов для структуризации знаний при проектировании агротехнологий.

Научная ценность онтологического подхода состоит в декомпозиции предметной области агрономии и возможности описания любой ее части в цифровом виде. Онтологический анализ позволяет выявить в агротехнологиях все сущности и связи между ними и определить ключевые параметры их формализации для последующей компьютерной обработки в зависимости от почвенно-климатических, хозяйственных и других условий на каждом пространственно-привязанном участке сельскохозяйственного поля. Изменяя эти параметры лица, принимающего решение, при проектировании агроприемов может получить количественную оценку возможных вариантов в управленческом процессе ещё до реализации в поле и выбрать наиболее близкий к оптимальному. Это особенно актуально в технологиях точного земледелия, где объектов управления (пространственно-привязанных участков поля) могут быть десятки и сотни тысяч.

Полагаем, что предлагаемый подход к структуризации знаний, используемых при проектировании агротехнологий, позволит строить онтологические модели для автоматизации этапа планирования агротехнических операций с элементами точного земледелия.

При изучении интеллектуальных систем традиционно возникает вопрос – что такое знания и чем они отличаются от обычных данных, десятилетиями обрабатываемых на компьютерах. Нам представляется исчерпывающим следующее определение:

«Данные – это информация, полученная в результате наблюдений или измерений отдельных свойств (атрибутов), характеризующих объекты, процессы и явления предметной области. Знания – это связи и закономерности предметной области (принципы, модели, законы), полученные в результате практической деятельности и профессионального опыта, позволяющего специалистам ставить и решать задачи в данной области».

Формирование поля знаний – нетривиальная задача, предусматривающая выявление и определение объектов и понятий предметной области, их свойств и связей между ними, а также представление в наглядной и интуитивно понятной форме [10].

Исходя из практического опыта, была принята гипотеза о том, что для адаптации и реализации основных агротехнологий, в том числе с

элементами точного земледелия, в первую очередь необходимо формализовать те знания, которые нужны для выполнения основных агротехнических операций. После чего, появляется инструментарий, позволяющий описывать существующие базовые агротехнологии и технологические адаптеры, а также возможность адаптировать агротехнологию к конкретным условиям и реализовать её. С учетом пространственной привязки к координатам это позволит выполнять операции в поле дифференцированно, в зависимости от внутрипольной вариативности тех или иных параметров.

Агротехнологии представляют собой комплекс операций, выполнение которых зависит от большого количества условий, часто неопределенных вплоть до момента принятия решения по реализации и выбору параметров их проведения. Как правило, агротехнология для конкретного поля строится на массиве данных и знаний, содержащихся в различных источниках: паспорта и истории полей, метеоданные, параметры сортов, знания в регистрах базовых агротехнологий, различных методиках, литературе и знания самого агронома.

На примере типового сельскохозяйственного предприятия Ленинградской области идентифицированы и изучены информационные потоки системы управления отраслью «растениеводство» на предприятии. Предметом исследования служил процесс проектирования технологии производства продукции растениеводства

(агротехнологий). Это достаточно сложный, длительный и трудоёмкий процесс, из-за чего документация на производство часто поступает с опозданием. Однако известно, что агротехнические сроки выполнения большинства сельскохозяйственных работ перенести невозможно. В таких случаях специалисты, руководящие производством, вынуждены принимать управленческие решения с недостаточной информационной поддержкой, в условиях информационного голода. Использование в процессе проектирования онтологического подхода, по нашему замыслу, должно сократить время проектирования, снизить его трудоёмкость, повысить качество конечного продукта (проекта) и обеспечить предоставление требуемого объёма информации специалистам и руководителям производства для реализации технологии ТЗ.

Система управления цехом или отраслью растениеводства это часть системы управления сельскохозяйственным предприятием, то есть его подсистема. Она связана не только с внутренними структурами предприятия, но и с несколькими структурами за его пределами. Система управления включает субъекты, выполняющие работу, и информационные потоки с каналами, обеспечивающими связь между субъектами. В исследуемом предприятии из 19-и потоков, задействованных в принятии решений, 15 основаны на проекте технологии производства. Информация, циркулирующая между субъекта-

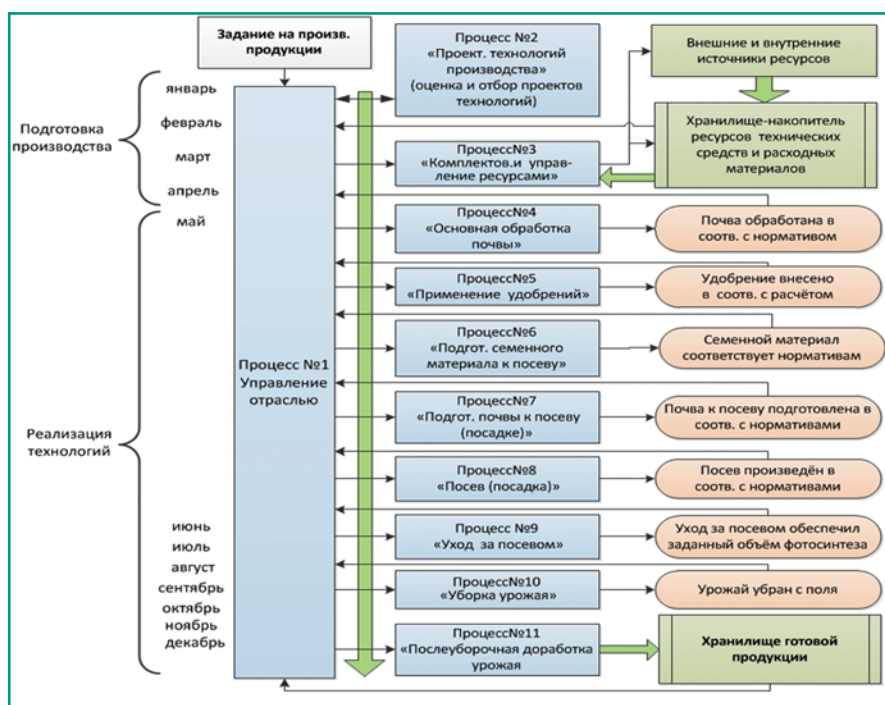


Рис. 1. Блок-схема процессов в производственном цикле отрасли растениеводства: \longleftrightarrow – направления информационных потоков; \longrightarrow – направления материальных потоков.

ми при выполнении работ, отражена в документах установленных образцов. Из упомянутых 19 информационных потоков компьютерную обработку в той или иной мере применяют только в 6 случаях. Руководитель отрасли растениеводства (агроном) использует 8 из 19 информационных потоков и, как правило, только при работе с 1 из 8 он применяет компьютерные технологии. Основой документооборота при управлении отраслью растениеводства служит «проект технологии производства продукции растениеводства». Даже частичная автоматизация его подготовки может значительно повысить эффективность управления предприятием. В случае же использования точного земледелия автоматизация создания «проекта технологии производства продукции растениеводства» увязывается в один программный комплекс, на выходе которого вместе со стандартными документами выдаются цифровые карты-задания на дифференцированное выполнение агротехнических операций.

Разбивка сложного производства на более простые сегменты позволила представить производственный цикл отрасли растениеводства в виде блок-схемы из 11 процессов, связанных материальными и информационными потоками с генераторами, потребителями и накопителями ресурсов (рис. 1). Субъекты управления, проектируя и организуя движение ресурсов, реализуют в этом цикле свою функцию производства товарной продукции.

Каждый из представленных на схеме процессов включает соответствующие ему «агротехнические операции». Из операций различных типов в определенной последовательности, в соответствии с возделываемыми культурами и привязкой к конкретным сельскохозяйственным полям или рабочим участкам синтезируются «агротехнологии» (АТ). Они и служат, на наш взгляд, основным стержнем всех мероприятий, обеспечивающих сельскохозяйственное производство. В зависимости от почвенно-климатических и других условий не обязательно все указанные процессы должны входить в агротехнологию. Например, при нулевой обработке процесс «основная обработка почвы» исключен.

Создание максимально эффективной агротехнологии ставится главной целью онтологического подхода к описанию агротехнологических знаний. Такой подход, на наш взгляд, обеспечивает создание комплексных решений, что дает явное преимущество перед существующими на рынке программными средствами, подавляющее большинство которых предусматривает выполнение одной или нескольких агротехнических операций.

Выбор тех или иных агротехнологий и определение их параметров лежит в основе планирования в любом сельскохозяйственном предприятии. Базовые агротехнологии (БАТ), отражающие порядок выполнения и параметры операций в общем виде, необходимо адаптировать для конкретных природно-климатических и

хозяйственно-экономических условий предприятия. Такие привязанные к реальным условиям технологии называют адаптивными агротехнологиями (ААТ).

При построении базы знаний (БЗ) важен выбор способа их представления. Среди основных типов моделей представления знаний можно назвать продукционные модели; семантические сети; фреймовые модели; онтологии; и др. Для структуризации агротехнологических знаний всего цикла работ от описания БАТ и до оперативного управления ААТ, необходимо создать соответствующую модель представления знаний. На сегодняшний день неструктурированные или слабо структурированные описания БАТ уже существуют в виде текстов или знаний экспертов (например, утвержденный Минсельхозом реестр БАТ), однако необходимо создать более структурированные описания БАТ, пригодные для машинного хранения, обработки и трансформации в ААТ [11, 12, 13].

Для структуризации и формализации агротехнологических знаний разработан программный модуль «Просмотр и адаптация агротехнологий» (рис. 2). Это настольное приложение, работающее под управлением операционной системы Windows 10/11 и требующее наличия NET Framework (версия 4.8). Для визуализации (пользовательского интерфейса) приложение использует технологию Windows Presentation Foundation (WPF).

Приложение «Просмотр и адаптация агротехнологий» состоит из трёх

№ п/п	НОМЕР ПОЛЯ	НОМЕР ОПЕРАЦИИ	НАИМЕНОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ	СРОК ПРОВЕДЕНИЯ ОТ	СРОК ПРОВЕДЕНИЯ ДО	ТРАКТОР (КОМБАЙН, ТРАНСПОРТ, СП-80)	С/Х МАШИНА	НОРМА ВЫРАБОТКИ	КОЛ. ВО	НОРМА СМЕН	РАСХОД ТОПЛИВА	ПРИМЕЧАНИЕ
1	26	1	Дискование	01.10.2019	10.10.2019	JD 6920SE	RUBIN 9/300	21,50	0,41		6,40	RUBIN 9/300 брали в аренду у Белок
2	26	2	Зяблевая вспашка	20.10.2019	30.10.2019	JD 6920SE	Kverneland EM 100	8,90	1,12		21,60	
3	26	3	Погрузка удобрений	01.05.2020	01.05.2020	Воуноу (1,25 тонны на всю площадь)	AMAZONE ZA-M	55,00	0,18		11,19	3-4 человека
4	26	4	Предпосевное внесение мин.удобрений	01.05.2020	01.05.2020	JD 6920SE	AMAZONE ZA-M	55,00	0,18		11,19	После 2 га, разбрасывателя сломался
5	26	5	Загрузка семян в сеялку	02.05.2020	02.05.2020	Воуноу (2,9 тонны зерна - 3 заправки сеялки)	AMAZONE ZA-M	55,00	0,18		11,19	3-4 человека
6	26	6	Посев	02.05.2020	03.05.2020	JD 6920SE	Lemken Solitair HD9	16,00	0,63		12,60	
7	26	7	Защита от сорной растительности	27.05.2020	28.05.2020	JD 6920SE	AMAZONE UF	18,00	0,56		11,90	
8	26	8	Защита от болезней листового аппарата	26.06.2020	27.06.2020	JD 6920SE	AMAZONE UF	15,00	0,67		11,90	
9	26	9	Уборка (прямое комбайнирование)	01.09.2020	10.09.2020	CLAAS Dominator		15,20	0,66		11,00	
10	26	10	Отвоз зернового вороха	01.09.2020	10.09.2020	FA3-CA3-35071						Плечо перевозки с поля на зерносклад
11	26	11	Лучение стерни	20.09.2020	10.10.2020	JD 6920SE	БДМ-V-2,8-4П	14,40	0,46		5,25	
12	26	12	Зяблевая вспашка	20.10.2020	30.10.2020	JD 6920SE	Kverneland EM 100	8,90	1,12		21,60	

Рис. 2. Окно программного модуля.

основных функциональных частей:

загрузка и просмотр ранее созданной БАТ;

просмотр и редактирование базы данных (БД) хозяйства;

адаптирование БАТ применительно к БД хозяйства с возможностью просмотра полученной ААТ.

При этом данные по хозяйству содержат только ту информацию, которая необходима для адаптации и принятия последующих управленческих решений.

Левая верхняя область окна заполнена элементами, визуализирующими базовую агротехнологию (БАТ). Она строится в виде Swimlane-диаграммы, которая представляет собой горизонтально расположенную древовидную структуру со следующими уровнями иерархии: агротехнология → модули (процессы) → операции. Модули (процессы) представляют собой сущности, позволяющие группировать операции по некоторым общим технологическим признакам. Например, технология выращивания зерновых имеет следующий набор модулей (процессов): основная обработка почвы; применение удобрений; подготовка семян; предпосевная подготовка почвы и посев; уход за растениями; уборка; послеуборочная обработка зерна; хранение; подготовка к реализации.

Модули внутри диаграммы агротехнологии визуализированы отдельными горизонтальными «дорожками», весь набор которых организован сверху вниз. Дорожка имеет набор операций в виде прямоугольников, каждый из которых содержит визуализированные данные заголовка, формуляра, атрибутов и условий операции, привязанных к конкретным данным хозяйства (культуры, техника, ресурсы, люди и др.).

Таким образом, на основании проведенных исследований производственный цикл отрасли растениеводства был представлен в виде блок-схемы из 11 процессов, связанных материальными и информационными потоками с генераторами, потребителями и накопителями ресурсов. С ее использованием в сочетании со слабоструктурированными знаниями, которые содержатся в регистрах базовых агротехнологий, разработан программный модуль, позволяющий формализовать и адаптировать агротехнологии к реальным условиям конкретного сельскохозяйственного поля.

Предложенные подходы к структуризации агротехнологических знаний служат попыткой создания инструмента для описания части предметной области, относящейся

к формализации агротехнологий в растениеводстве, направленного на создание онтологических моделей. Считаем, что дальнейшие исследования в области инженерии знаний в сельском хозяйстве помогут создать информационно-технологическую платформу для разработки интеллектуальных программно-аппаратных средств, позволяющих вывести управление агротехнологиями в растениеводстве на качественно новый уровень.

Литература

1. Mouromtsev D. Semantic Reference Model for Individualization of Information Processes in IoT Heterogeneous Environment. Electronics, 2021. Vol.10 (20). P. 2523. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics10202523>. (дата обращения: 21.05.2022).
2. Кельчевская Н. Р. Интеллектуализация управления как основа эффективного развития предприятия // Вестник УГТУ-УПИ. 2002. №2. С.112–121.
3. Боргест Н. М., Будаев Д. В., Травин В. В. Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. №. 4 (26). С. 423–442.
4. L Cooper L., Meier A., Laporte M.A. The Planteome database: an integrated resource for reference ontologies, plant genomics and phenomics // Nucleic acids research. 2018. Vol. 46. No. D1. P. 1168–1180.
5. Kaushik N., Chatterjee N. Automatic relationship extraction from agricultural text for ontology construction // Information processing in agriculture. 2018. Vol. 5. No. 1. С. 60–73.
6. Ерешко Ф. И., Меденников В. И., Кульба В. В. Сквозные технологии в АПК на основе цифровых стандартов // Мякие измерения и вычисления. 2019. №. 10. С. 29–36.
7. Омельченко Т. В., Омельченко П. Н., Горюнова А. М. Моделирование системы аккумуляции знаний для управления агропромышленным предприятием // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. №. 3 (97). С. 5.
8. Завражнов А. И., Ланцев В. Ю., Заврюжнов А. А. Онтологический анализ современных машинных технологий интенсивного садоводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. №. 3. С. 11–14.
9. Стребков Д. С., Меденников В. И., Кузнецов И. М. Цифровая экономика в сельском хозяйстве // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. №1 (34). С. 111.
10. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 608 с.
11. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
12. Люгер Д. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2003. 864 с.
13. Якушев В. П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России // Вестник Российской академии наук. 2021. Т. 91. №. 8. С. 755–768.

Structurization of agrotechnological knowledge for building ontologies in crop production

V. V. Yakushev

Agrophysical Research Institute, Grazhdanskiy prosp., 14, Sankt-Peterburg, 195220, Russian Federation

Abstract. The emergence of a large number of information systems and digital tools for agriculture inevitably raises the question of their compatibility and integration into the overall production process. The task of creating compatible digital platforms, tools and services for agriculture can be solved using ontological modelling. The purpose of the research was to formalize the entities involved in the design of agricultural technologies and the relationship between them in a form suitable for constructing an ontological model, as well as to create software tools for structuring knowledge in the design of agricultural technologies. On the example of a typical agricultural enterprise in the Leningrad region, the information flows of the management system for the "plant growing" industry at the enterprise were identified and studied. The subject of the study was the process of designing a technology for the crop products production (agrotechnologies). In the enterprise under the study, out of 19 information flows involved in decision-making, 15 are based on a production technology project, the head of the crop industry (agriscientist) uses 8 and, as a rule, only when working with 1 information flow, he uses computer technology. The breakdown of complex production into simpler segments made it possible to present the production cycle of the crop industry in the form of a flowchart of 11 processes connected by material and information flows with generators, resource eaters and resource accumulators. The basis for building automated systems for precision control of crop production is the study and identification of information flows of the management system for the "crop" industry at the enterprise. As one of the elements of solving this problem, the software module "View and adaptation of agricultural technologies" has been developed, which is a desktop application running under the Windows operating system. It is designed to view the previously created basic agricultural technology, edit the database of the farm, and then adapt the basic agricultural technology to the farm data to obtain the adapted agricultural technology in electronic form.

Keywords: precision farming; crop production ontology; knowledge engineering; agricultural technologies.

Author Details: V. V. Yakushev, D. Sc. (Agr.), corresponding member of the RAS, head of laboratory (e-mail: mail@agrophys.com).

For citation: Yakushev VV [Structurization of agrotechnological knowledge for building ontologies in crop production] Zemledelie. 2022;(7):3-7. Russian. doi: 10.24412/0044-3913-2022-7-3-7.