

Разработка экспертных систем для повышения эффективности выращивания растений в сельском хозяйстве

М. А. Шереужева^{1,2}, М. А. Шереушев³

¹ Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

² Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1

³ Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
105005, Россия, Москва, ул. Бауманская, 5, корп. 1

Аннотация. В статье рассмотрен перспективный способ повышения производительности сельского хозяйства, а именно основные вопросы разработки и внедрения экспертной системы поддержки принятия решений. Предложена структура рекомендательной системы для определения болезней растений. Рассмотрены вопросы представления профессиональных знаний как части рекомендательной системы с помощью онтологической базы знаний. Описан интерфейс рекомендательной системы в виде web-приложения и реализован вариант взаимодействия элементов рекомендательной системы с web-приложением.

Ключевые слова: экспертные системы, база знаний, рекомендательные системы в сельском хозяйстве, разработка web-приложения, информационные технологии

Поступила 29.09.2022, одобрена после рецензирования 10.10.2022, принята к публикации 14.10.2022

Для цитирования. Шереужева М. А., Шереушев М. А. Разработка экспертных систем для повышения эффективности выращивания растений в сельском хозяйстве // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5 (109). С. 93–104. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-93-104

MSC: 68T35

Review article

Development of expert systems to improve the efficiency of growing plants in agriculture

M.A. Shereuzheva^{1,2}, M.A. Shereuzhev³

¹ Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

² Moscow State University of Technology "STANKIN"
127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane

³ Moscow State Technical University named after N. E. Bauman
105005, Russia, Moscow, Bld 5/3 Baumanskaya street

Annotation. The article discusses a promising way to improve the productivity of agriculture, namely main problems of developing and implementing expert decision support system. The article proposes the structure of an agriculture expert system for determining plant diseases and considers the issues of representing professional knowledge as part of a recommender system with the help of an ontological

knowledge base. The interface of the expert system in the form of a web application is described, and a variant of the interaction of the elements of the recommender system with the web application is implemented.

Key words: expert systems, knowledge bases, recommender systems in agriculture, expert systems, knowledge bases, recommender systems in agriculture, web application development, information technology

Submitted 29.09.2022,

approved after reviewing 10.10.2022,

accepted for publication 14.10.2022

For citation. Shereuzheva M.A., Shereuzhev M.A. Development of expert systems to improve the efficiency of growing plants in agriculture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 93–104. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-93-104

ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии в современном мире определили новый уровень развития науки, производства и общества в целом. Глобальная цифровизация становится ведущим фактором и для повышения экономической эффективности сельскохозяйственного производства¹. Использование информационных технологий в сельском хозяйстве в основном ограничивалось применением компьютеров и программного обеспечения, предназначенного для управления финансами, сбора аналитической информации и предоставления отчетности².

Исследования по применению информационных технологий сейчас ведутся с разной степенью интенсивности практически по всем направлениям сельскохозяйственной науки и практики. Цифровая трансформация сельского хозяйства охватывает применение в производстве сельскохозяйственной продукции и продовольствия широкого спектра технологий (интернета вещей, робототехники, искусственного интеллекта, анализа больших данных, электронной коммерции и ряда других).

В целом в сельскохозяйственном производстве можно выделить ключевую область, в которой эффективность от внедрения цифровых технологий проявляется наиболее ярко: земледелие (управление продуктивностью посевов с учетом состояния и изменения факторов среды обитания растений) [1]. Один из перспективных путей повышения эффективности развития земледелия – применение рекомендательных систем. Рекомендательные системы помогают пользователю выбрать оптимальное решение, адаптированное к реальным условиям и основанное на профессиональной информации, уже накопленной наукой и практикой в необходимой предметной области [2].

Экспертные и рекомендательные системы имеют ключевое значение для цифровой трансформации. Экспертные системы обладают широкими возможностями применения в сельском хозяйстве, способны анализировать большие массивы данных, в том числе на естественном языке, что позволяет осуществлять комплексную поддержку принятия решений. Рекомендательные системы обладают более узким функционалом, направлены на решение достаточно узких задач, но обладают большим потенциалом роста, представляют значительный интерес для данной сферы. Используемые в рамках рекомендательных систем технологии делают данный тип систем все более приближенным к экспертным системам, стирая грань между ними.

¹ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/>
Статья: ИТ_в_агропромышленном_комплексе_России

²Цифровое сельское хозяйство – Digital agriculture [Электронный ресурс]. URL: https://ru.abcdef.wiki/wiki/Digital_agriculture.

Цель исследования – разработать информационно-аналитическую экспертную систему для мониторинга состояния выращиваемой сельскохозяйственной культуры, определения развития болезней и выработки экспертных рекомендаций по борьбе с болезнями и предотвращению их развития [11]. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ состояния современных рекомендательных систем, используемых в сельском хозяйстве, а также перспективных направлений развития рекомендательных систем;
- определить структуру экспертной системы, спроектировать архитектуру программного обеспечения экспертной системы;
- спроектировать прототип пользовательской части программного обеспечения.

Для создания сельскохозяйственных информационных систем (ИС) наиболее целесообразно применение баз данных (БД), экспертных систем (ЭС), геоинформационных (ГИС), сетевых и виртуальных технологий, CALS-технологий [3]. Экспертные системы аккумулируют опыт квалифицированных специалистов и оперативно предоставляют его пользователю в качестве интеллектуального решения конкретной производственной задачи [4]. Основа ЭС – база знаний – модель предметной области, изложенная на языке сверхвысокого уровня, приближенном к естественному. Обязательная часть такой системы – механизм логического вывода, обеспечивающий поиск необходимых знаний и формирование экспертного заключения.

АРХИТЕКТУРА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Экспертные системы в сельском хозяйстве осуществляют:

- планирование программ агротехнических мероприятий для конкретных полей, на которых будут выращиваться культуры;
- определение параметров управления, срок проведения операций, их характеристики и условия воспроизводства;
- коррекция информационной базы проектирования согласно новым представлениям о технологии обработки;
- выдачу обоснованных рекомендаций;
- автоматизацию системы оперативного управления технологическим процессом возделывания с.-х. культур системами экономических расчетов.

Для создания экспертной системы должны соблюдаться следующие критерии:

- наличие базы знаний по предметной области;
- возможность построения оптимального решения для потенциальных проблемных ситуаций;
- наличие пользовательского интерфейса.

Чтобы разработать экспертную систему, сначала нужно определить проблему и понять основные характеристики проблемы, которую необходимо решить в экспертной системе. Входная задача для системы связана с рекомендацией. Входная проблема структурирована для системы, экспертный модуль распознает ее как образец и передает на обработку для постановки диагноза и устранения неполадок, если таковые имеются [5–6].

Работу экспертной системы можно представить в виде контекстной диаграммы (рис. 1-а). На входе данной работы имеются знания, полученные от эксперта, и диалог с пользователем. Работа с системой производится экспертами и пользователями.

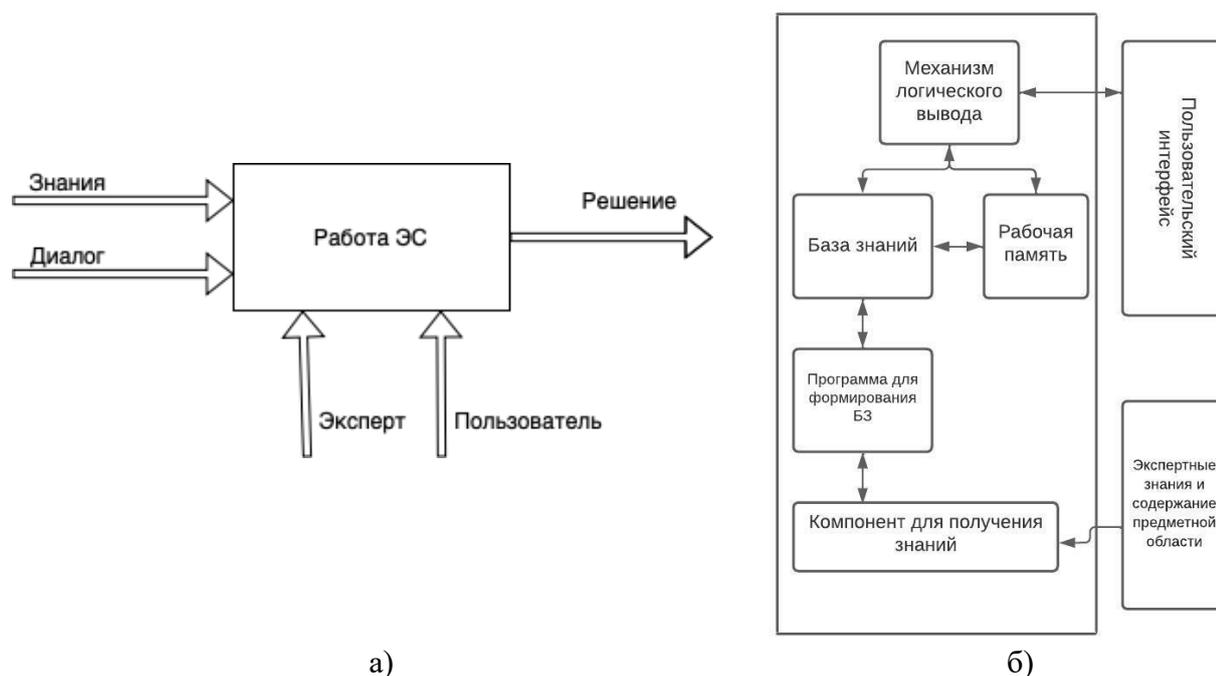


Рис. 1. а – контекстная диаграмма «Работа экспертной системы»;
б – обобщенная архитектура экспертной системы

Fig. 1. a – context diagram "Work of the expert system";
b – generalized architecture of the expert system

Архитектура экспертных систем, как правило, состоит из нескольких компонентов, присутствие каждого из которых обеспечивает работу системы в целом. Эти компоненты важны не столько по отдельности, сколько в слаженной взаимосвязанной работе, т.к. все они играют важную роль в решении задач, для которых и предназначена экспертная система (рис. 1-б). База знаний в ЭС предназначена для хранения данных, описывающих рассматриваемую область, и правил, описывающих целесообразные преобразования данных этой области. Рабочая память служит для хранения данных, полученных от пользователя, и промежуточных данных, выведенных в ходе работы системы.

Машина логического вывода – механизм рассуждений, оперирующий знаниями и данными с целью получения новых данных из знаний и других данных, имеющихся в базе знаний. Для этого обычно используется программно-реализованный механизм дедуктивного логического вывода (какая-либо его разновидность) или механизм поиска решения в сети фреймов или семантической сети. Компонент приобретения знаний автоматизирует процесс корректировки и наполнения ЭС знаниями, осуществляемый пользователем-экспертом. В простейшем случае это интеллектуальный редактор базы знаний, в более сложных экспертных системах – средства для извлечения знаний из баз данных, неструктурированного текста, графической информации и т.д.

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Экспертные системы содержат лингвистический процессор для общения между пользователем и компьютером (лингвистический процессор преобразует входные данные, представленные на ограниченном естественном языке – русском, английском – в пред-

ставление на внутреннем языке системы и обратно – сообщения системы на внутреннем языке в сообщения на ограниченном естественном). Общение это может сопровождаться графикой и многооконным меню.

С помощью интерфейса, реализованного в виде, например, мобильного приложения, пользователь может авторизоваться, передать исходные данные о локации обрабатываемого участка, вид и сорт выращиваемой культуры, данные, определяющие текущее состояние культуры, – дата высадки, наличие проведенных операций по нанесению препаратов (гербицидов, инсектицидов и т.д.). После внесения исходных данных пользователю предлагается загрузить фото- и видеоданные растений и плодов для последующей обработки на облачном сервисе и формирования рекомендации. В дальнейшем в специальном интерфейсе приложение осуществляет вывод рекомендаций по уходу за растениями для пользователя [7–8].

Функциональные требования: для доступа к сервису пользователь регистрируется на сайте и далее авторизуется в мобильном приложении, если осуществлял регистрацию ранее. Пользователь может увидеть основную информацию о видах рекомендаций. Пользователь может загружать фото- и видеоинформацию качеством не хуже 1080 p (Full-HD).

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В базу знаний данные могут поступать откуда угодно. Обычно базу знаний пополняют и расширяют авторы, хорошо разбирающиеся в конкретных областях.

Базы знаний могут строиться на основе онтологий. В моделировании онтологии актуальны знания того, для чего необходима онтология и насколько детализированной или единой она может быть. Так как онтология – это модель реального мира, понятия в ней должны отображать реальность.

Онтология представляет собой формальное описание предметной области. Определение и построение онтологии включает анализ предметной области, выделение базовых онтологических элементов (объектов, атрибутов, отношений и процессов), проведение операций над этими онтологическими элементами. Онтология на основе предметной области разработана с использованием гибридизации методологий Fox-Gruninger, Methontology и FAO и написана с использованием синтаксиса RDF/XML языка веб-онтологий OWL2.

Предлагаемая система обеспечит хорошо структурированную систему, основанную на знаниях, для сложных запросов по знаниям о почвах и удобрениях, которые могут повлиять на урожай пшеницы, в виде более точной и своевременной информации [9]. Существует потребность в повышении урожайности сельскохозяйственных культур, которая зависит исключительно от различных факторов, таких как типы почвы, удобрения, орошение (что зависит от географического положения или погодных условий). Эти знания можно рассматривать как факторы урожая, способные влиять на рост определенной культуры и таким образом повышать урожайность [10].

Моделирование онтологии требует множества соображений, которые строго зависят от типа, цели и объема проектируемой онтологии. В этом проекте разработка онтологии выходит за рамки простой классификации классов и их отношений, то есть онтологии предметной области. Предлагаемая онтология на основе приложения предназначена для решения некоторых актуальных вопросов, другими словами, вопросов компетенции группы экспертов и пользователей, рассматривающих знания о почвах и удобрениях (рис. 2).

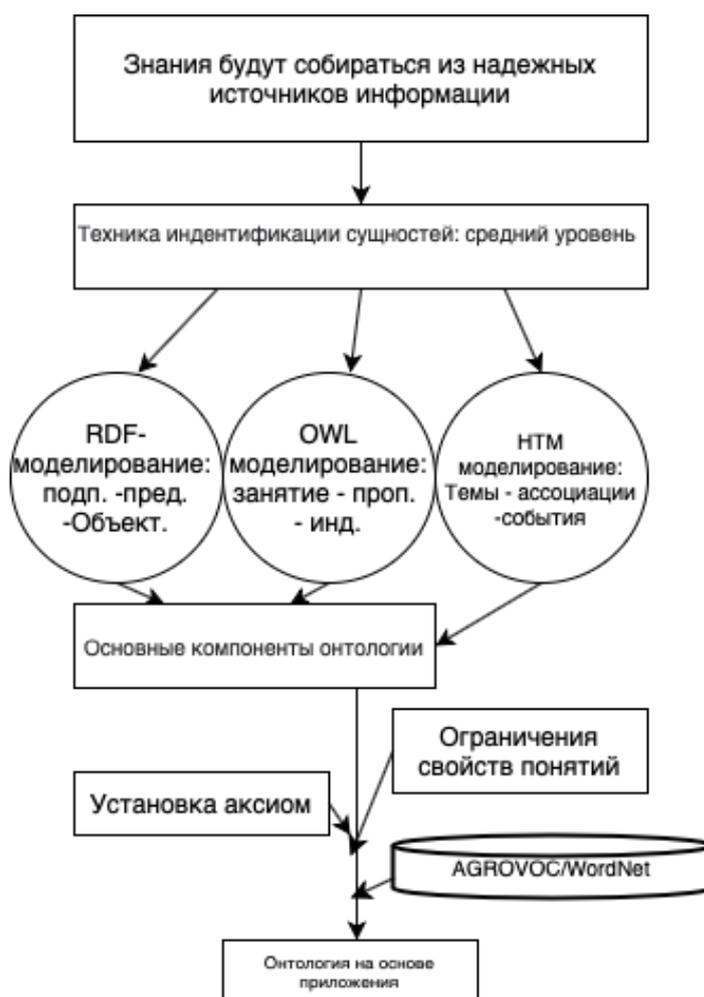


Рис. 2. Концептуальные основы проектирования онтологий

Fig. 2. Conceptual foundations of ontologies designing

Проектирование онтологий должно обеспечивать соблюдение принципа процесса разработки онтологий. Предполагается, что при моделировании онтологии для любой предметной области знания будут собираться из надежных источников информации. Также для снижения ошибок построения корректности онтологии используется метод идентификации концепций, в котором используется подход «от середины к выходу». Он обладает способностью сначала определять наиболее важные понятия, а затем обобщать и специализировать их на других понятиях.

После того как концепции должным образом обобщены и специализированы с помощью специалистов в соответствующие концепции, их можно смоделировать в любом из языков представления знаний и форматов стандартизации. Для обеспечения надежного дизайна онтологии в значительной степени учитывается, как смягчить проблемы несоответствия слов или неоднозначности терминов (например, синонимов), связанных с естественными языками. Эта исследовательская проблема обычно непреднамеренно влияет на полноту и точность результатов запроса пользователя.

ОПИСАНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ

Работу Web-приложения можно представить в виде схемы (рис. 3). НМИ (human-machine interface – человеко-машинный интерфейс) обеспечивает единый высокопроизво-

дительный интерфейс HMI для нескольких источников данных с целью улучшения ситуационной осведомленности и уменьшения времени реакции операторов. Web HMI модернизирует визуализацию, обеспечивая правильные действия оператора с первого взгляда. Web HMI также облегчает разработку, развертывание и обслуживание клиентских приложений. Это программное обеспечение, основанное на модели, позволяет автоматически генерировать runtime приложения HMI.

HMI открывает загруженное изображение, и далее модуль распознавания на базе YOLOV5 в свою очередь распознает объект, находящийся на изображении. Впоследствии в интерфейсе рекомендательной системы формируется с использованием базы знаний и базы правил.

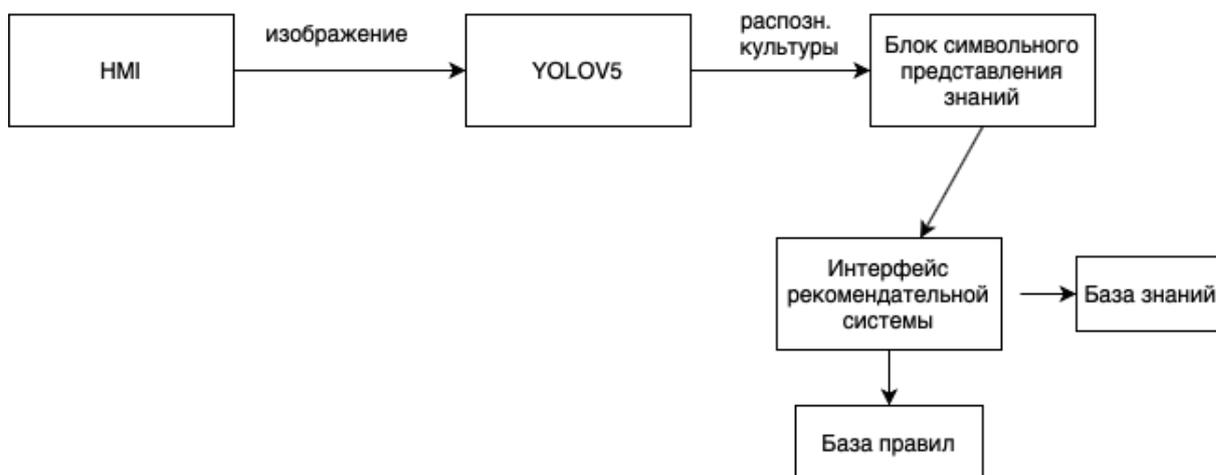


Рис. 3. Схема взаимодействия элементов Web-приложения

Fig. 3. Scheme of interaction between elements of the Web application

На главной странице сайта располагается форма для загрузки изображения (рис. 4).

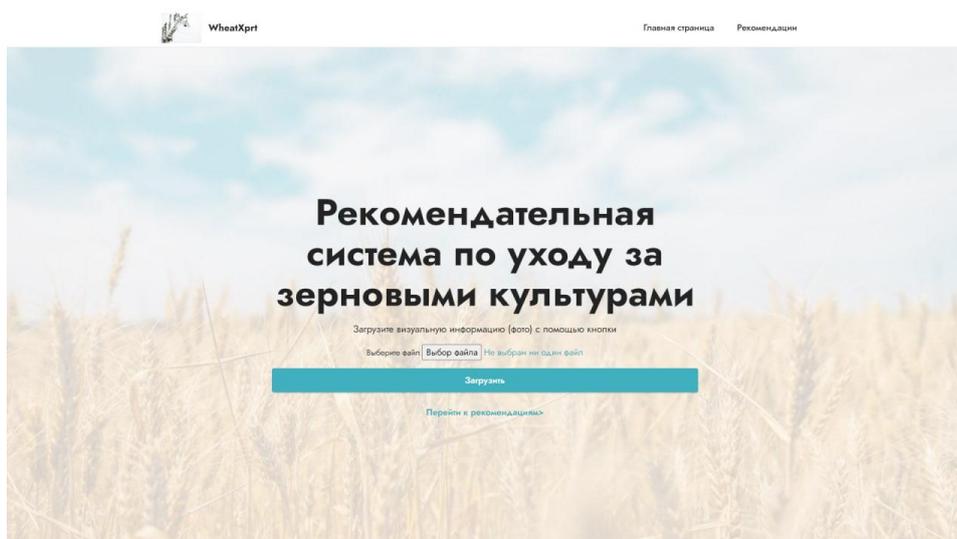


Рис. 4. Загрузочная форма Web-приложения

Fig. 4. Loading form of the Web application

После выбора файла открывается загруженное изображение (рис. 5).

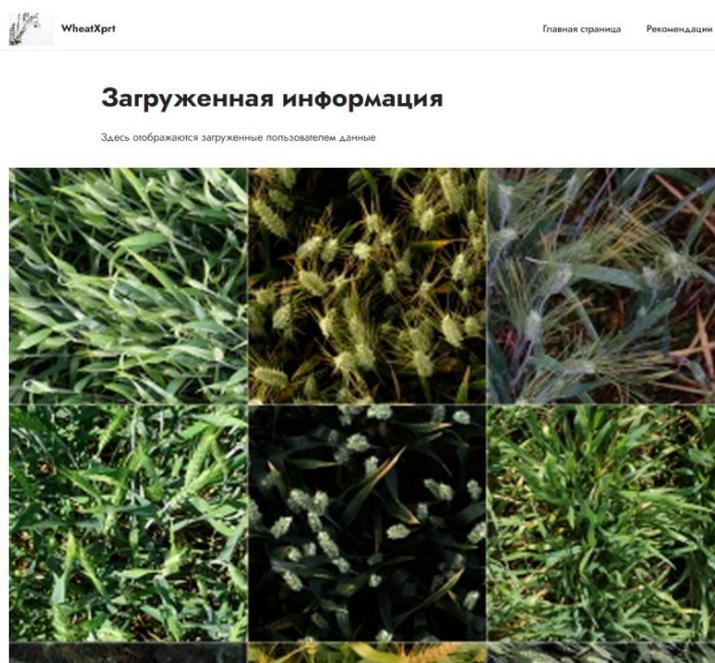


Рис. 5. Загруженные изображения зерновых культур

Fig. 5. Images of crops uploaded through the Web application

Далее с помощью блока распознавания на базе нейронной сети YOLOV5 происходит распознавание культуры и ее дефектов (рис. 6). На данный момент нейронная сеть была обучена с открытого набора данных портала Kaggle³.



Рис. 6. Распознавание культуры

Fig. 6. Crops recognition

³ <https://www.kaggle.com/competitions/global-wheat-detection/data>

На следующем этапе передается символическое сообщение об обнаружении заболевания в блок принятия решения. Под полученный запрос блок производит поиск ответа согласно прописанным правилам. Ответ, являющийся рекомендацией, пользователь видит в соответствующем разделе сайта. Таким образом, для реализации реальной системы очевидным становится, что экспертную систему для решения задач по устранению болезней культур можно разбить на три основных уровня: сенсорный, информационно-коммуникационный и интеллектуальный (рис. 7).

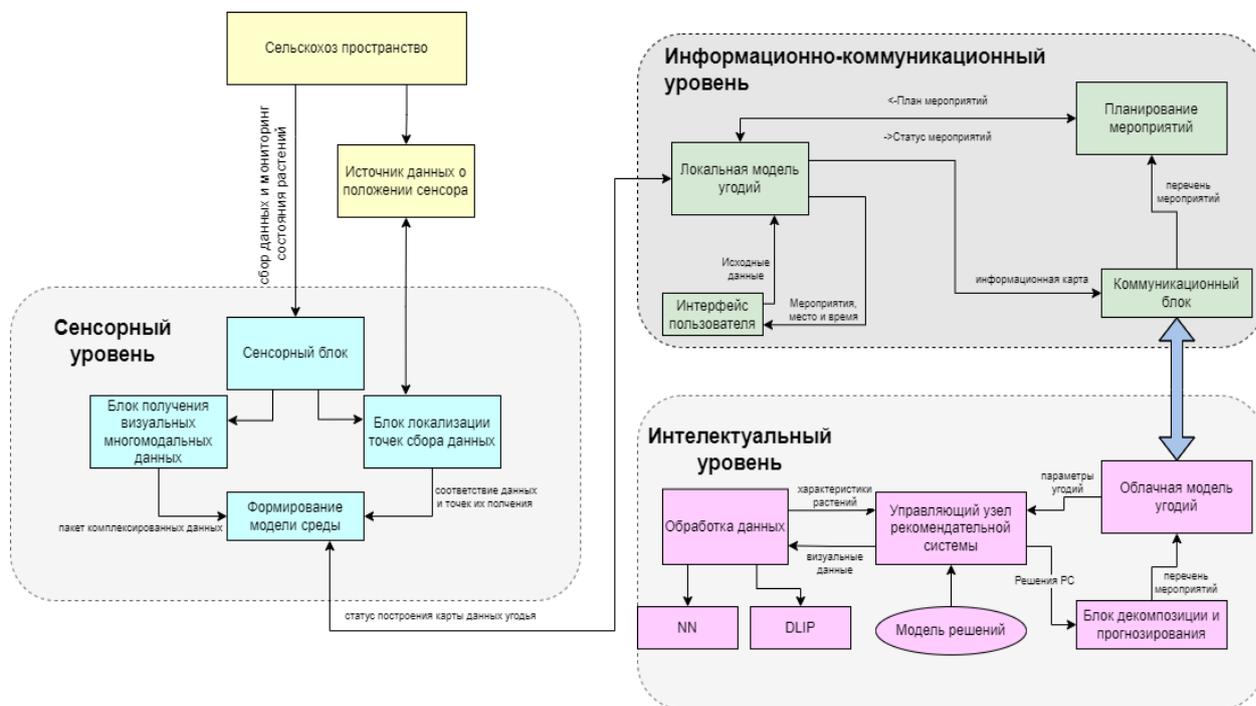


Рис. 7. Уточненный состав рекомендательной системы с возможностью формирования моделей сельскохозяйственных участков

Fig. 7. Refined composition of the recommender system with the possibility of forming models of agricultural plots

Задача сенсорного уровня – формирование данных для обработки, в случае осуществления визуального контроля растений это могут быть изображения с видеокамер, мультиспектральных камер и др. Информационно-коммуникационный уровень отвечает за передачу данных и ввод пользовательских данных через интерфейс пользователя. На интеллектуальном уровне осуществляется обработка данных по распознаванию болезней культур, выявляются символические факты о состоянии культур, а именно факт наличия болезни и ее классификация, формируется модель принятия решений по известным заранее экспертным данным с онтологической базой знаний. На вход модуля принятия решения передаются символические выражения, которые обрабатываются модулем принятия решений на базе системы правил, сформированной по онтологии. Сформированное решение-рекомендация передается обратно на информационно-коммуникационный уровень пользователю.

Фиксирование факта обнаружения болезни культуры с локализацией конкретных растений и формированием модели сельскохозяйственного участка может стать основой не только для системы рекомендаций по устранению текущих болезней, но и

основой системы предиктивной аналитики с историей произрастания культур на конкретных участках. Однако подобная система в свою очередь потребует реализации средств локализации растений.

ВЫВОДЫ

Важную роль в повышении эффективности сельскохозяйственного производства играют информационно-аналитические системы поддержки принятия решений. Внедрение экспертных систем в перспективе позволит оперативно и достоверно выполнять расчеты, проводить анализ или получать информацию о состоянии и производственном потенциале сельхозкультур, выдавать экспертные заключения для выработки и принятия обоснованных решений. На текущем этапе данной работы определена принципиальная возможность реализации экспертной системы для распознавания болезней культур и определены необходимые инструменты для дальнейшей реализации подобной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нагоев З. В., Шуганов В. М., Бжыхатлов К. Ч., Замоев А. Ю., Иванов З. З.* Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2021. № 6(104). С. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165.
2. *Pushkarev A., Yakubailik O.* A web application for visualization, analysis, and processing of agricultural monitoring spatial-temporal data // *CEUR Workshop Proceedings.* 2021. Vol. 3006. Pp. 231–237. URL: http://ceur-ws.org/Vol-3006/27_short_paper.pdf
3. *Скворцов Е. А., Скворцова Е. Г., Санду И. С., Иовлев Г. А.* Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // *Экономика региона.* 2018. Т. 14. № 3. С. 1014–1028.
4. *Савченко О.Ф.* Методологические аспекты создания информационных систем в сельском хозяйстве // *Достижения науки и техники АПК.* 2006. № 11. С. 5–10.
5. *Москалев С. М., Клименок-Кудинова Н. В.* Искусственный интеллект и интернет вещей как инновационные методы совершенствования агропромышленного сектора // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.* 2018. № 52. С. 121–130.
6. *Воронин Б. А., Митин А. Н., Пичугин О. А.* Управление процессами цифровизации сельского хозяйства России. *Аграрный вестник Урала.* 2019. № 4(183). С. 86–95.
7. *Ксолов А. М., Бжыхатлов К. Ч., Канкулов С. А., Аталиков Б. А., Энес А. З.* Система визуализации данных для интеллектуальной экспертной системы активной защиты растений // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН.* 2021. № 2(106). С. 22–30. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-22-30.
8. *Wolfert Sjaak, Ge Lan, Verdouw Cor, Bogaardt Marc-Jeroen.* Big Data in Smart Farming – A review // *Agricultural Systems.* 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.
9. *Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B.* Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation // *Journal of agricultural and environmental ethics.* 2017. No. 32 (5–6). Pp. 741–768. DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5.
10. *Боргест Н. М., Будаев Д. В., Травин В. В.* Онтология проектирования точного земледелия: состояние вопроса, пути решения // *Онтология проектирования.* 2017. Т. 7. № 4. С. 423–442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442.

11. Калимуллина О. В., Ярцева К. А., Литун К. В. Роль экспертных и рекомендательных систем для интеллектуализации бизнеса: отраслевой анализ рынка // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. №. 3. С. 1613–1636. DOI: 10.18334/vines. 12.3.114969

Информация об авторах

Шереужева Милана Артуровна, магистр кафедры «Информационные технологии и вычислительные системы», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»;

127055, Россия, Москва, Вадковский пер., 1;

стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

milana.shereuzheva2001@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6668-4703>

Шереушев Мадин Артурович, ст. преподаватель кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана;

105005, Россия, Москва, улица 2-я Бауманская, 5, корп. 1;

shereuzhev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>

REFERENCES

1. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Bzhikhatlov K.Ch., Zammoev A.U., Ivanov Z.Z. Prospects for increasing the productivity and efficiency of agricultural production with the use of an intelligent integrated environment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2021. No. 6(104). Pp. 155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165. (In Russian)

2. Pushkarev A., Yakubailik O. A web application for visualization, analysis, and processing of agricultural monitoring spatial-temporal data. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Vol. 3006. Pp. 231–237. URL: http://ceur-ws.org/Vol-3006/27_short_paper.pdf

3. Skvortsov E.A., Skvortsova E.G., Sandu I.S., Iovlev G.A. Transition of Agriculture to Digital, Intellectual and Robotics Technologies. *Economy of Regions*. 2018. Vol. 14. No. 3. Pp. 1014–1028. (In Russian)

4. Savchenko O.F. Methodological aspects of creating information systems in agriculture. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2006. No. 11. Pp. 20–22. (In Russian)

5. Moskalev S.M., Klimenok-Kudinova N.V. Artificial intelligence and the internet of things as innovative methods of improving the agro-industrial sector. *Izvestiya (News) of Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018. No. 52. Pp. 121–130. (In Russian)

6. Voronin B.A., Mitin A.N., Pichugin O.A. Managing the processes of digitalization of agriculture in Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019. No. 4(183). Pp. 86–95. (In Russian)

7. Ksalov A.M., Bzhikhatlov K.Ch., Kankulov S.A., Atalikov B.A., Enes A.Z. Data visualization system for intelligent expert system of active plant protection. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 2(106). Pp. 22–30. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-22-30. (In Russian)

8. Wolfert Sjaak, Ge Lan, Verdouw Cor, Bogaardt Marc-Jeroen. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

9. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation. *Journal of agricultural and environmental ethics*. 2017. No. 32(5–6). Pp. 741–768. DOI: 10.1007/s10806-017-9704-5.

10. Borgest N.M., Budaev D.V., Travin V.V. Ontology of precision agriculture design: problem state, solution approaches. *Ontology of Designing*. 2017. No. 7(4). Pp. 423–442. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-423-442. (In Russian)

11. Kalimullina O.V., Yartseva K.A., Litun K.V. The role of expert and recommendation systems for business intellectualization: industry market analysis. *Russian Journal of Innovation Economics*. 2022. Vol. 12. No. 3. Pp. 1613–1636. DOI: 10.18334/vinec. 12.3.114969 (In Russian)

Information about the authors

Shereuzheva Milana Arturovna, Master, Department “Information technologies and computing systems”, Moscow Technical University “STANKIN”;

127055, Russia, Moscow, 1 Vadkovsky lane;

Trainee Researcher (Research Assistant) of the Laboratory “Intellectual Habitats” of the Institute of Computer Science and Regional Management Problems – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

milana.shereuzheva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6668-4703>

Shereuzhev Madin Arturovich, Senior Lecturer, Department “Robotic systems and mechatronics”, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman;

105005, Russia, Moscow, Bld 5/3 Baumanskaya street;

shereuzhev@bmstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2352-992X>