



ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМНЫМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МОДЕЛЕЙ — ДВОЙНИКОВ ОРГАНИЗАЦИИ

Д.А. Рогачев¹, Л.В. Кирейчева¹, И.Ф. Юрченко¹, А.Ф. Рогачев²

¹Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, Москва, Россия

²Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

Аннотация. Повышение эффективности системного водопользования неразрывно связано с использованием в практике мелиораций инновационных технологий информационной и технологической поддержки управленческих решений. Цель исследований — обоснование перспективной технологии управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах с применением методов искусственного интеллекта и моделей — двойников организации. Методологические подходы к созданию унифицированной автоматизированной системы управления базировались на оптимизации управленческих решений, принимающихся в условиях неполноты и неопределенности сведений и информации, а также требующих обработки больших массивов данных. Выполнен анализ теории и практики принятия управленческих решений и сформулированы принципы создания автоматизированной системы управления водопользованием на орошении с использованием искусственного интеллекта и моделей — двойников организации. Выявлены приоритетные направления совершенствования управленческих воздействий. Сформирована функционально-структурная схема АСУ «Водопользование» и алгоритмы поддержки управленческих решений. Разработана система моделей оптимизации водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов; прогнозирования технического состояния водопроводящих сетей и сооружений; управления финансово-экономическим состоянием производства, а также вспомогательные и сервисные модели. Определены состав и структура базы данных; знаний и моделей АСУ «Водопользование». Автоматизация и оптимизация процесса принятия решений по результатам диагностики решаемых проблем, многовариантности формирования и классификации решений, информационной и технологической поддержки специалистов, занимающихся подготовкой и принятием решений, обеспечат повышение производительности труда и качества управляющих воздействий.

Ключевые слова: управление, орошение, водопользование, технологии, цифровизация, искусственный интеллект

Original article

SYSTEM CONTROL TECHNOLOGY WATER USE USING METHODS ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MODELS — DOUBLE ORGANIZATIONS

D.A. Rogachev¹, L.V. Kireicheva¹, I.F. Yurchenko¹, A.F. Rogachev²

¹All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, Moscow, Russia

²Volgograd State Agricultural University, Volgograd, Russia

Abstract. Improving water efficiency is closely linked with the use of innovative information and technologies to support management decisions in land reclamation projects. The aim of this study is to validate a promising approach for managing water use in inter-farm irrigation systems using artificial intelligence techniques and twin models. Methodological approaches to creating a unified and automated management system are based on the optimization of management decisions made in conditions of incomplete and uncertain information, as well as the necessity to process large volumes of data. The analysis of the theoretical and practical aspects of managerial decision-making has been conducted, and principles for the creation of an automated irrigation management system using artificial intelligence and dual organizational models have been formulated. Priority areas for enhancing the management impact have been identified, and a functional and structural design of the automated control system “Water Use” and algorithms to support management decisions have been developed. A system of models has been developed to optimize water distribution in conditions of water scarcity, and to forecast the technical status of water supply networks and infrastructure. It also manages the financial and economic performance of operations, as well as auxiliary and service functions. The composition and structure of the database and knowledge for the automated control system, “Water Use”, have been determined. Automation and optimization of decision making based on diagnostic analysis of current issues, a range of possible solutions, and informational and technological support for specialists involved in preparation and decision making, will ensure enhanced efficiency and quality in control activities.

Keywords: management, irrigation, water use, technology, digitalization, artificial intelligence

Введение. Сохранение и расширение необходимого преимущества производства при усиливающейся конкуренции на рынке сельскохозяйственной продукции неразрывно связано с масштабностью внедрения в практику отечественного АПК новых, современных и креативных технологий и оборудования. Задачи управления водопользованием на межхозяйственных оросительных системах (ОС), характеризующихся значимой ресурсоемкостью, включая важнейший природный ресурс — пресную воду; высокой вероятностью изношенности оборудования и стохастичностью природно-климатических условий сельскохозяйственного производства, требуют повышенного внимания

к качеству, своевременности и рациональности управленческих решений. Необходима перманентная оценка последствий принятых решений и прогнозирование развития ситуаций при эксплуатации ОС.

Основное содержание дихотомии между рациональными решениями, поученными на основе формализованных процедур количественной оценки результата, и решениями, основанными на суждениях лица, принимающего решения (ЛПР), состоит в том, что первые не критично зависят от ретроспективного опыта и предпочтений ЛПР. Практическая реализация формализованных подходов эффективно осуществляется, прежде всего, в компьютерных программах

систем поддержки принятия решений на базе информационно-аналитических технологий. Приоритетным вектором общего развития сельхозпроизводства в мире становится создание умных хозяйств и предприятий в сферах растениеводства и животноводства [1, 2].

Методологической основой современных систем поддержки управленческих решений в мире становятся нейротехнологии и искусственный интеллект (ИИ) [3, 4]. Новые решения открывают масштабные возможности для конкуренции, формируя интерфейсы, способствующие развитию взаимодополняющих разработок [5, 6]. Актуализация процессов разработки и использования перспективных технологий



планирования и реализации водораспределения на орошении, базирующихся на достижениях цифровизации отечественной экономики, повышая действенность агропроизводства на мелиорируемых землях становится значимым фактором для всей сферы мелиорации [7].

В публикации представлены концептуальные подходы к созданию унифицированной автоматизированной системы управления технологическими и финансово-экономическими процессами водопользования на межхозяйственных ОС с использованием ИИ и моделей — двойников организации (АСУ «Водопользование ОС»), реализуемой в составе исследований ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова».

Материалы и методы. Объектом автоматизации являются процедуры управленческих решений по водопользованию на межхозяйственных оросительных системах (ОС). Служба эксплуатации ОС в пределах своей компетенции, руководствуясь требованиями законодательства, нормативными документами, Положением об организации и должностными инструкциями осуществляет [8]:

- забор воды из источника, подачу поливной воды хозяйствам/потребителям согласно принятым планам водопользования;
- учет и контроль мелиоративного состояния орошаемых земель;
- обеспечение ремонтно-восстановительных работ, реконструкции, модернизации и должного уровня технического состояния ОС.

Планирование водораспределения на межхозяйственной оросительной системе осуществляется в соответствии с заявками водопотребителей на подачу воды. Определение объемов забора воды на систему выполняется по результатам суммирования объемов водоподдачи сельхозтоваропроизводителям в узлах-водовыделах ОС. Требуемые объемы водоподдачи ОС согласуются с объемами возможного водозабора из источника орошения. В условиях маловодности водисточника рассогласование баланса указанных статей водопользования становится основным лимитирующим фактором водораспределения межхозяйственной ОС. Баланс считается увязанным при отклонении объемов возможного водозабора из источника орошения от планируемого объема водоподдачи потребителям на ОС не более $\pm 5\%$.

Управление водораспределением на оросительной системе осуществляется по одной из технологических схем: «управление по плану» или «управление по требованию». Технологическая схема управления водоподачей «по плану» применяется на оросительных системах при недостаточной водообеспеченности оросительной системы, пропускной способности канала и резервных емкостей бьефов канала. В процессе оперативного управления водораспределением выполняется корректировка системного плана водоподдачи потребителям, обусловленная несоответствием фактически сложившейся на системе групповой водообеспеченности брутто предварительно заявленной.

В настоящее время традиционно корректировка водоподдачи производится изменением плановых объемов на водовыделах в хозяйства пропорционально изменившейся водообеспеченности системы. Эффективность метода не соответствует современным требованиям агропроизводства, что делает актуальным формирование инновационной методологии автоматизированного планирования

водораспределения на основе экономико-математического и нейросетевого моделирования, обеспечивающих поиск наилучшего управленческого решения в конкретных природно-хозяйственных условиях по результатам многовариантных рассмотрений возможных подходов с учетом экономических, социальных и экологических ограничений. Проблемы водораспределения на межхозяйственных оросительных системах усугубляются старением и неудовлетворительным состоянием водопроводящих сетей и сооружений, что приводит к потерям и неадекватности предоставляемых услуг хозяйствам/водопользователям. Ремонт и обновление мелиоративного фонда — сложная задача, требующая финансовых ресурсов, технических знаний и координации между различными заинтересованными сторонами. Ограниченность средств, выделяемых на техническую эксплуатацию, обуславливает высокую цену принимаемых управленческих решений и необходимость научно обоснованных инновационных технологий их поддержки.

Действенным направлением повышения качества управления современной теорией и практики экономики производства становится обеспечение специалистов информационно-технологической поддержкой управленческих решений на основе автоматизированных технологий, реализующих инновационные методы и способы формирования необходимой информации на модели — двойнике водохозяйственной организации, интегрирующей показатели систем управления технологическими процессами водопользования [9, 10]. Методологические подходы к созданию унифицированной автоматизированной системы управления технологическими и финансово-экономическими процессами водопользования на межхозяйственных оросительных системах с использованием ИИ и моделей — двойников организации (АСУ «Водопользование ОС») базировались на оптимизации управленческих решений, принимающихся в условиях неполноты и неопределенности сведений и информации, а также требующих обработки больших массивов данных.



Рисунок 1. Структурно-функциональная схема автоматизированной системы
Figure 1. Structural and functional diagram of the automated system





Результаты и обсуждение. Целью разработки и внедрения АСУ «Водопользование ОС» является повышение качества управления:

- технологическим процессом планирования оптимального тактического (годового) и оперативного (суточного) водораспределения на межхозяйственных оросительных системах, имеющего решающее значение в условиях маловодья источников орошения, аварий и других форсмажорных обстоятельств;
- техническим состоянием и ремонтно-восстановительными работами на ГТС по результатам плановых обследований, обеспечивающих возможность реализации управляющих воздействий системной водоподачи;
- финансово-экономическими процессами водохозяйственной организации, необходимыми для сохранения и расширения требующегося преимущества предприятия при усиливающейся конкуренции на рынке сельскохозяйственной продукции.

На рисунке 1 представлена функциональная модель АСУ, интегрирующая картографическую и атрибутивную базы данных; процедуры экономико-математического моделирования; интеллектуальные модели оптимизации многокритериальных функций водораспределения и прогнозирования технического состояния

водопроводящих ГТС; финансово-экономическую модель оценки качества управления водохозяйственной организацией.

1. Алгоритмы автоматизированного планирования системного водопользования

Автоматизированное планирование системного водораспределения в водохозяйственной мелиоративной организации (управлении оросительной системы), алгоритм которого представлен на рисунке 2, начинается с сообщения водопользователям ориентировочных лимитов воды при составлении внутрихозяйственного плана водопользования.

Предварительные лимиты водоподачи хозяйствам/водопользователям определяются в соответствии с лимитами водообеспеченности оросительной системы планируемого периода и в зависимости от потребности в водных ресурсах в складывающихся климатических условиях агропроизводства, прогнозируемой водности года, технического состояния (с учетом плановых технических обслуживаний (ТО) и ремонтов) и пропускной способности водопроводящей сети и сооружений.

После «машинной» проверки данных заявок (логической, полноты данных и др.) на соответствие требованиям автоматизированной обработки специалисты выполняют корректировку

данных (при необходимости с возвращением водопользователю) и последующую загрузку данных в базу. Затем программно-техническим комплексом АСУ формируется системный план водопользования, который анализируется соответствующим структурным подразделением водохозяйственной организации на наличие дефицита водообеспеченности. В отсутствие дефицита системный план и внутрихозяйственные планы водопользования утверждаются и принимаются к реализации после заключения договоров водоподачи.

При наличии дефицита выполняется снижение лимитов и корректировка внутрихозяйственных планов водопользования в соответствии с политикой управления распределением водных ресурсов. Планирование водораспределения в условиях маловодья предлагается на основе экономико-математического моделирования, обеспечивающего достижение планируемых экономических результатов водохозяйственного комплекса в условиях устойчивого агропроизводства на орошении. В качестве базовой разработана и апробирована универсальная многокритериальная, нелинейная целевая модель оптимизации, включающая критерии эффективности водопользования для эксплуатационной организации и хозяйств-водопотребителей. Практическая реализация таких моделей эффективна при использовании эволюционно-генетического программирования.

В процессе экономико-математического моделирования водораспределения решается задача оценки технического состояния и работоспособности сооружений ОС, для реализации которого привлекаются модели ГИС визуализации и искусственного интеллекта. Алгоритм решения приводится на рисунке 3.

При необходимости выполняется прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, точность и достоверность которого определяют показатели экономико-математического моделирования водораспределения. Прогноз выполняется на модели «Прогнозирование урожайности» искусственного интеллекта с учетом ретроспективных данных и распознавания оперативных изображений, получаемых с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Включение в состав АСУ «Водопользование ОС» модели «Цифрового двойника», которая реализуется с использованием штатного функционала программного обеспечения 1С-ERP, с учетом особенностей водохозяйственных организаций обусловлено требованием повышения качества управления предприятием, гарантирующим его конкурентоспособность и, как следствие, выживаемость [9, 10]. Необходимость решения той или иной вышеупомянутой задачи определяется специалистом в зависимости от целеполагания планирования водораспределения и полноты имеющихся данных.

По завершению цикла планирования системного водораспределения аппаратно-программными средствами формируются внутрихозяйственные планы водопользования. Системный и внутрихозяйственные планы водоподачи утверждаются и принимаются к исполнению. Реализация системного плана водопользования производится по заявкам хозяйств, составленных на основе запланированных сроков и объемов водоподачи с учетом наличествующей потребности в поливной воде и производственных возможностей. Увеличение водоподачи в сравнении с планом выполняется по обоснованной

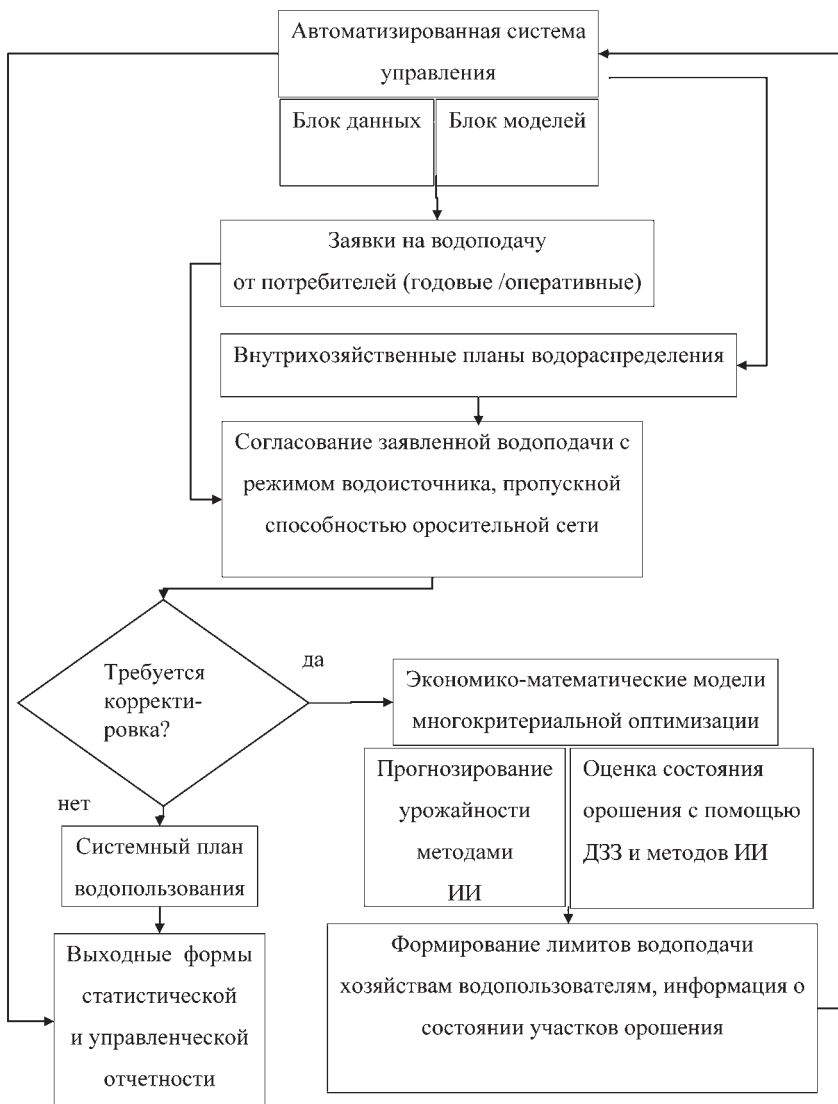


Рисунок 2. Алгоритм автоматизированного планирования системного водораспределения
Figure 2. Algorithm for automated system planning water distribution



Рисунок 3. Алгоритм планирования мероприятий технической эксплуатации
Figure 3. Algorithm for planning technical operation activities

заявке за счет резерва, имеющегося в системе, или воды неиспользованной в данный период другими хозяйствами.

Системный план водопользования корректируется при изменении основных исходных данных, таких как:

- большие отклонения в размере и структуре орошаемых земель;
- значимое отклонение водности источника орошения от плановых показателей.

Выполняется он по результатам оптимизационного моделирования водораспределения с использованием вышеуказанных подходов.

Информационная и технологическая поддержка реализации алгоритмов управления системным водопользованием осуществляется с помощью специализированной базы данных, а также информации и сведений базы знаний и моделей.

2. Базы данных, знаний и моделей

База данных и база знаний и моделей являются эффективными компонентами АСУ «Водопользование ОС». Структура специализированной базы данных включает разделы (табл. 1):

- базовые данные, характеризующие объект управления;
- оперативная информация планирования водопользования;

- ретроспективные (многолетние) и оперативные (текущего года) данные природно-хозяйственных условий;
- нормативно-справочные финансово-экономические данные.

В состав базы знаний и моделей входят разделы:

- экономико-математические модели оптимизации водопользования;
- интеллектуально-эвристические модели;
- вспомогательные модели;
- финансово-экономические модели;
- информационные технологии интеграции с государственной информационной системой.

Детализация состава разделов моделей описана в таблице 2.

Краткое описание базовых моделей АСУ и их функциональных возможностей приводится ниже по тексту.

2.1. Экономико-математическая модель оптимизации водораспределения

Ключевая модель блока оптимизации водопользования представлена экономико-математической моделью оптимизации водораспределения, максимизирующей финансовые результаты подачи воды, производства сельскохозяйственной продукции на поливе и

Таблица 1. Специализированная база данных
Table 1. Specialized database

Группы показателей	Таблицы
1. Базовая информация	План ОС и схемы водовыделов
	Посевная площадь водопользователей на орошении
	Техническая характеристика оросительной сети и сооружений
2. Оперативная информация	Почвенно-мелиоративные условия орошаемых земель
	Планы водопользования хозяйств
	Заявки на воду
	Режим водоисточника
	Показатели технического состояния водопроводящей системы
3. Ретроспективные данные	Информация о природно-климатических условиях водопользователей
	Статистика урожайности
	Гидрометеорологические показатели
4. Нормативно-справочная информация	Данные дистанционного зондирования (спутниковые снимки + данные БПЛА)
	Правовая информация
5. Финансово-экономические данные	Методическая информация
	Техническая информация
	Движение денежных средств
	Доходы и расходы
	Балансовые показатели

Таблица 2. База знаний и моделей
Table 2. Knowledge base and models

Раздел	Модель
1. Экономико-математические модели оптимизации водопользования	1.1. Модель многокритериальной оптимизации водораспределения с учетом интересов всех участников процесса
	1.2. Модель оптимизация планирования мероприятий технической эксплуатации в условиях ограниченных капиталовложений
2. Интеллектуально-эвристические модели	2.1. Модель эволюционно-генетического программирования для оптимизации нелинейных многокритериальных целевых функций
	2.2. Интеллектуальные модели прогнозирования технического состояния водопроводящих ГТС
	2.3. Модель искусственного интеллекта «прогнозирование урожайности» с учетом ретроспективных данных и распознавания оперативных изображений, получаемых с БПЛА
3. Вспомогательные модели ИИ	3.1. ГИС — визуализации ИИ
	3.2. Сервисные модели ИИ
	3.3. Экспертные модели ИИ
	3.4. Лучшие решения теории и практики объектов аналогов
4. Финансово-экономическая модель производства	4.1. Цифровой двойник водохозяйственной организации
5. Модели интеграции АСУ с внешними информационными системами	5.1. Информационная технология API интеграции с государственной информационной системой Минсельхоза РФ «единое окно» и прочими сторонними системами





суммарную площадь орошаемых земель. Она имеет вид (1) при ограничениях (2).

$$Z_{max} = (\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (c_j - r_j) * w_{ij}) / D_z + (\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} z_{ij}) / B_z + (\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij} S_i) / S_z \Rightarrow \max$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \geq S_i;$$

$$\sum_{i=1}^n w_{ij} = W_j;$$

$$\sum_{i=1}^n M_{ij} x_{ij} = W_j;$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_{ij} = W;$$

где c_j — удельная стоимость водоподачи для j -водопользователя, руб./тыс. м³; r_j — удельные затраты на водоподачу j -водопользователю, руб./тыс. м³; w_{ij} — объем водоподачи на полив i культуры j водопользователю, тыс. м³; x_{ij} — площадь орошения i культуры j водопользователя, га; z_i — закупочная цена i орошаемой культуры, руб./т; z_{ij} — урожайность i культуры j водопользователя, т/га. M_{ij} — оросительная норма i культуры j водопользователя, тыс. м³/га; S_i — площадь орошения i культуры на системе; $i = 1, 2, \dots, n$ — индекс возделываемой сельскохозяйственной культуры, $j = 1, 2, \dots, m$ — индекс хозяйства водопользователя; $S(x_{ij})$ — суммарная площадь орошения на системе, га. D_z, B_z, S_z — соответственно доход от водоподачи эксплуатационной организацией ОС, стоимость валового объема производства продукции на орошении и площадь орошения при заявленной водоподаче; W_i, W_j — объем водоподачи на полив i культуры всех водопользователей, j водопользователю для полива всех культур, тыс. м³; W — общий объем водоподачи на ОС, тыс. м³.

Задача многокритериальной оптимизации целевой функции (1) решается методом эволюционно-генетического программирования, инвариантным к виду целевой функции и не

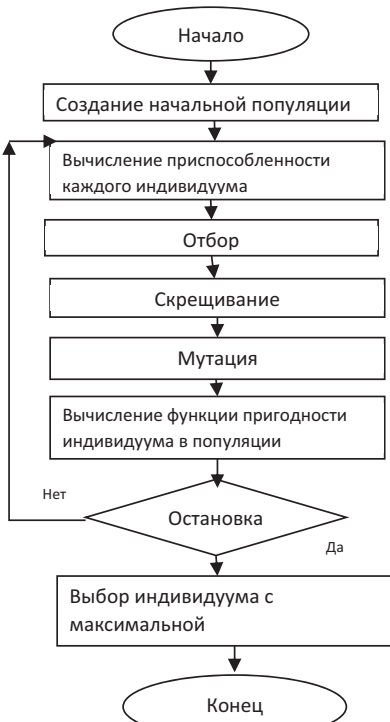


Рисунок 4. Структурная схема генетического алгоритма
Figure 4. Block diagram of the genetic algorithm

требующим вычисления ее частных производных. В пользу структуры разработанной модели следует отметить ее универсальность, обеспечиваемую многокритериальностью.

2.2. Интеллектуально-эвристические модели

2.2.1. Модель эволюционно-генетического программирования для оптимизации нелинейных многокритериальных целевых функций

Оптимизация нелинейной целевой функции (1) осуществляется методом эволюционно-генетического программирования — одним из важнейших направлений теории искусственного интеллекта. Генетические алгоритмы (ГА) позволяют исследовать гораздо большее разнообразие возможных решений проблемы по сравнению с методами линейного программирования за счет пересчета элементов формируемой совокупности ЦФ с использованием операторов отбора, скрещивания и мутации, что определяет пригодность анализируемых элементов. Структурная схема классического генетического алгоритма приведена на рисунке 4.

2.2.2. Модель нейросетевого прогнозирования урожайности

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур выполняется с использованием интеллектуальной нейросетевой технологии путем моделирования временных рядов данных методом последовательного решения задачи регрессии на отрезках исходного временного ряда (ВР).

Укрупненный алгоритм прогнозирования урожайности с использованием нейросетевой технологии представлен на рисунке 5.

2.2.3. Интеллектуальные модели прогнозирования технического состояния водопроводящих ГТС

Эффективность системного водопользования во многом обусловлена работоспособностью сооружений и оборудования, что определяет актуальность периодической оценки пропускной способности и производительности водопроводящей сети и сооружений на ней.

В составе функциональных возможностей ИАС предусматривается построение 3-х уровней прогнозов:

1. Долгосрочный (3-5 лет) — для обоснования нового строительства, реконструкции и планов капитального ремонта водопроводящих гидротехнических сооружений (ГТС).

2. Краткосрочный (1-2 года) — для согласования планируемого водопользования с намечаемыми на ОС мероприятиями технической эксплуатации.
3. Оперативный — для срочного перераспределения воды между хозяйствами-потребителями в текущем периоде (декаде, месяце) и проведения аварийных ремонтов оборудования. Трехуровневое прогнозирование позволит повысить эффективность деятельности водохозяйственной организации за счет экономии оросительной воды при сокращении ее непроизводительных затрат.

Прогнозирование водопотребления на каждом из уровней планируется реализовать с использованием генетических алгоритмов, позволяющих решать оптимизационные задачи, в том числе и в случае нелинейной целевой функции.

2.3. Вспомогательные модели

2.3.1. Модель ГИС — визуализации с использованием элементов ИИ

В рамках разработки и внедрения АСУ «Водопользование ОС» выполняется интеграция программного комплекса «1С-GIS: Управление пространственными данными» с сервисами Российской ГК «Сканэк», специализирующейся на использовании данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и их аналитики с применением методов ИИ.

ГИС технологии, обеспечивая наглядность, формирование дополнительных карт, графиков и диаграмм существенно расширяют возможности анализа технического состояния ОС в сравнении с паспортными, нормативными и тому подобными данными.

Геоинформационная подсистема, функционирующая на основе разномасштабных пространственных данных и современных подходов к обработке больших данных с помощью нейросетевых технологий, эффективна для решения широкого круга задач по фиксации изменений природных и техногенных сред. Облачная система упрощает работу на всех этапах обработки материалов (предварительная обработка, эталонирование, оценка достоверности и др.).

Интеграция геоинформационной подсистемы в состав АСУ существенно расширяет возможности ЛПР за счет динамической актуализации и визуализации информации, что особенно важно при планировании и обосновании технических решений на различных уровнях управления ОС.

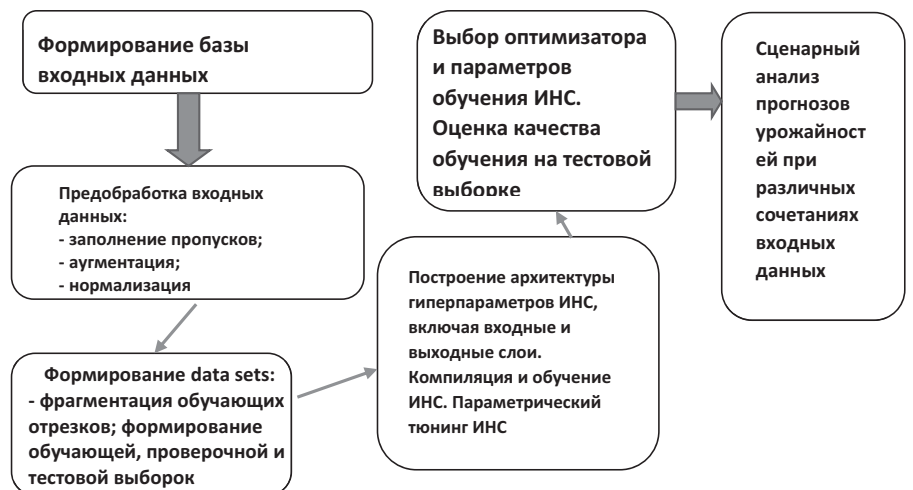


Рисунок 5. Алгоритм интеллектуальной технологии нейросетевого прогнозирования урожайности
Figure 5. Algorithm for intelligent technology of neural network yield forecasting



2.3.2. Сервисные модели ИИ

К сервисным моделям АСУ относится модуль интеграции с моделью искусственного интеллекта YandexGPT. Функционал данного модуля включает возможность использования генеративной языковой модели для текстовых описаний различной направленности.

2.3.3. Экспертные модели ИИ

Экспертной моделью АСУ «Водопользование ОС» является модуль интеграции с экспертным функционалом сервиса YandexGPT. Обеспечивается поддержка специалистов водохозяйственной организации в решении вопросов использования нормативно-справочной подсистемы, выдаются рекомендации по выбору нормативно-справочного источника, выполняется поиск, обобщение и анализ теории и практики лучших решений объектов аналогов.

2.4. Финансово-экономическая модель производства

Финансово-экономическая модель — «Цифровой двойник» водохозяйственной организации, представляет собой набор взаимосвязанных показателей, которые помогают оценить финансово-экономическое состояние организации, позволяют спрогнозировать выручку, прибыль и другие экономические показатели, обеспечивают расчет последствий принятых решений на показатели работы организации [9, 10].

Финансовая модель показывает, сколько и на чем зарабатывает и теряет водохозяйственная организация, каким образом происходит формирование доходов, расходов, движение денежных средств. Модель используется для нивелирования узких мест, выявления точек роста и развития, прогнозирования различных сценариев развития.

Основу модели составляют существующие показатели работы организации:

- движение денежных средств;
- доходы и расходы;
- финансовый баланс.

Данные показатели, полученные и актуализированные за несколько временных интервалов, дадут информацию о работе водохозяйственной организации. Использование финансовой модели «Цифрового двойника» обосновано для моделирования работы водохозяйственной организации и поддержки принятия решений на основании анализа нескольких альтернативных сценариев лицом, принимающим решение.

2.5. Модель интеграции с единой цифровой платформой АПК Минсельхоза РФ

В качестве интерфейса системы управления разработан модуль API (интерфейс программирования приложений) для интеграции АСУ с внешними информационными системами. Это позволит выполнить интеграцию с государственной информационной системой Минсельхоза России «Единое окно», с учетом актуальных требований и особенностей архитектуры государственной информационной системы, во избежание дублирования функционала на момент внедрения последней.

Указанный подход обеспечивает реальную возможность включения методологических, технологических, программных и иных решений интеллектуальной автоматизированной системы в состав сервиса ведения реестра мелиоративных сооружений и мероприятий под платформы цифрового землепользования и землеустройства цифровой платформой АПК Минсельхоза РФ, что существенно повышает вероятность

увеличения масштабов использования интеллектуальной автоматизированной системы в практике мелиоративного сектора экономики.

3. Структурная схема АСУ «Водораспределение ОС»

Структурная схема АСУ «Водораспределение ОС» сформирована с учетом базовых этапов и процедуры функционирования АСУ, включая сбор данных, обработку и трансформацию информации, автоматическую подготовку отчетов, ответов на запросы в текстовом и графическом вариантах (рис. 1).

Инструментарием реализации программно-аппаратных решений разрабатываемой системы управления принята технологическая платформа «Предприятие 8» фирмы «1С», которая является лидером на рынке таких систем в России.

Заключение. В соответствии с целевыми установками НИР в составе настоящих исследований:

1. Выполнен анализ теории и практики принятия управленческих решений и сформулированы принципы системного подхода к программной и технологической реализации автоматизированных систем управления технологическими процессами производства и организации, в целом, обусловившие методологическую основу создания унифицированной автоматизированной системы управления водопользованием на межхозяйственных ОС.

2. Систематизированы функциональные задачи системы управления водопользованием межхозяйственных оросительных систем и основные обязанности правообладателей оросительных систем, выявившие три основополагающих блока водопользования, требующих максимального внимания к качеству управленческих воздействий. К ним относятся система планирования и реализации: тактического (годового) и оперативного (декадного/суточного) водораспределения и мероприятий технической эксплуатации, а также финансово-экономический сектор. Указанные компоненты определили состав и структуру объекта автоматизации создаваемой АСУ.

3. Разработана концепция создания автоматизированной системы управления технологическими и финансово-экономическими процессами водопользования на межхозяйственных ОС с использованием искусственного интеллекта и моделей — двойников организации «АСУ Водопользование ОС», обеспечивающей повышение качества управления производством.

В процессе исследований:

- сформирована функционально-структурная схема АСУ и алгоритмы информационно-технологической поддержки управленческих решений водопользования на межхозяйственных ОС;
- разработана система моделей оптимизации водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов; прогнозирования технического состояния водопроводящих сетей и сооружений на них; управления финансово-экономическим состоянием производства, а также вспомогательные и сервисные модели;
- определены состав и структура базы данных; базы знаний и моделей АСУ «Водопользование ОС», включающие:
 - 1) ключевые данные, характеризующие объект управления;
 - 2) оперативную информацию планирования водопользования;

- 3) ретроспективные (многолетние) и оперативные (текущего года) данные природно-хозяйственных условий;
- 4) нормативно-справочные финансово-экономические данные;
- 5) экономико-математические модели оптимизации водопользования;
- 6) интеллектуально-эвристические модели;
- 7) вспомогательные модели;
- 8) финансово-экономические модели;
- 9) модели интеграции АСУ с внешними информационными системами;

– обоснована целесообразность интеграции АСУ с учетно-управленческой подсистемой (ERP-система). Показана эффективность реализации последней на базе технологической платформы «Предприятие 8» фирмы «1С», поддерживающей ввод, хранение, актуализацию и обработку картографической информации, а также, в перспективе, взаимодействие с глобальной навигационной системой ГЛОНАС.

Совершенствование методологии управления водопользованием межхозяйственных оросительных систем на основе процедур, алгоритмов и моделей цифровизации с использованием методов искусственного интеллекта, реализованных в программном обеспечении АСУ «Водопользование ОС», обеспечит повышение производительности труда в службе эксплуатации мелиоративного водохозяйственного комплекса и качества управляющих воздействий. Этому способствует автоматизация и оптимизация процесса принятия решений по результатам диагностики решаемых проблем, многовариантности формирования и классификации решений, информационной и технологической поддержки специалистов, занимающихся подготовкой и принятием решений.

Список источников

1. Alaimo, L.S., Maggino, F. (2020). Sustainable development goals indicators at territorial level: Conceptual and methodological issues — the Italian perspective. *Social Indicators Research*, vol. 147, pp. 383-419.
2. Agriculture's connected future: How technology can yield new growth/McKinsey. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/ourinsights/agricultures-connected-future-how-technology-can-boost-new-growth> (accessed: 02.12.2023).
3. Transforming Agriculture through Digital Technologies/Deloitte. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gr/Documents/consumer-business-gr_Transforming_Agriculture_through_Digital_Technologies_noexp.pdf (accessed: 30.11.2022). <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (accessed: 02.02.2023).
4. UNDESA (2015). *The millennium development goals report 2015*. UN, 75 p.
5. Xarvio™ Digital Farming Solutions. Xarvio. Available at: <https://www.xarvio.com/global/en.html> (accessed: 02.08.2023).
6. Product Overview. *Smart farm systems*. Available at: <https://www.smartfarm.ag/products/automation-options> (accessed: 07.12.2023).
7. Поле возможностей: цифровые решения для сельского хозяйства / Ростех. URL: <https://rostec.ru/news/pole-vozmozhnostey-tsifrovye-resheniya-dlya-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 16.01.2023).
8. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 31 июля 2020 г. № 438 «Об утверждении Правил эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений».
9. Верховая Г.В., Акимов С.В. Модели для цифровых двойников пространственно-распределенных объектов // Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем: сборник докладов Международной конференции. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 163-170.





10. Курганова Н.В., Филин М.А., Черныев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. № 5. С.105-111.

References

1. Alaimo, L.S., Maggino, F. (2020). Sustainable development goals indicators at territorial level: Conceptual and methodological issues — the Italian perspective. *Social Indicators Research*, vol. 147, pp. 383-419.

2. Agriculture's connected future: How technology can yield new growth/McKinsey. Available at: <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/ourinsights/agricultures-connected-future-how-technology-can-lead-new-growth> (accessed: 02.12.2023).

3. Transforming Agriculture through Digital Technologies/Deloitte. Available at: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gr/Documents/consumer-business-gr_Transforming_Agriculture_through_Digital_Technologies_noexp.pdf (accessed: 30.11.2022). <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (accessed: 02.02.2023).

4. UNDESA (2015). *The millennium development goals report 2015*. UN, 75 p.

5. Xarvio™ Digital Farming Solutions. Xarvio. Available at: <https://www.xarvio.com/global/en.html> (accessed: 02.08.2023).

6. Product Overview. *Smart farm systems*. Available at: <https://www.smartfarm.ag/products/automation-options> (accessed: 07.12.2023).

7. Pole vozmozhnostei: tsifrovye resheniya dlya sel'skogo khozyaistva [The field of possibilities: digital solutions for agriculture]. Available at: <https://rostec.ru/news/pole-vozmozhnostey-tsifrovye-resheniya-dlya-selskogo-khozyaystva/> (accessed: 16.01.2023).

8. Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaistva RF ot 31 iyulya 2020 g. № 438 «Ob utverzhenii Pravil ehkspluatatsii meliorativnykh sistem i otdel'no raspolozhennykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii» [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 438 dated July 31, 2020 "On Approval of the Rules for the Operation of Reclamation systems and separately located hydraulic structures"].

9. Verkhova, G.V., Akimov, S.V. (2022). Modeli dlya tsifrovyykh dvoynikov prostranstvenno-raspredeleennykh ob'ektov [Models for digital twins of spatially distributed objects]. *Proektirovanie i obespechenie kachestva informatsionnykh protsessov i sistem: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi konferentsii* [Design and quality assurance of information processes and systems: collection of reports of the International Conference]. Saint-Petersburg, St. Petersburg Electro-technical University "LETI", pp.163-170.

10. Kurganova, N.V., Filin, M.A., Chernyaev, D.S., Shakleyn, A.G., Namiot, D.E. (2019). Vnedrenie tsifrovyykh dvoynikov kak odno iz klyuchevykh napravlenii tsifrovizatsii proizvodstva [The introduction of digital twins as one of the key areas of digitalization of production]. *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 7, no. 5, pp.105-111.

Информация об авторах:

Рогачев Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-4014-4770>, rogachev.soft@gmail.com

Кирейчева Людмила Владимировна, доктор технических наук, профессор, руководитель отдела, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7114-2706>, kireychevalw@mail.ru

Юрченко Ирина Федоровна, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2390-1736>, irina.507@mail.ru

Рогачев Алексей Фруминович, доктор технических наук, профессор, Волгоградский государственный аграрный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3077-6622>, rafr@mail.ru

Information about the authors:

Dmitry A. Rogachev, candidate of technical sciences, leading researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-4014-4770>, rogachev.soft@gmail.com

Ludmila V. Kireicheva, doctor of technical sciences, professor, head of the department, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7114-2706>, kireychevalw@mail.ru

Irina F. Yurchenko, doctor of technical sciences, associate professor, chief researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2390-1736>, irina.507@mail.ru

Alexey F. Rogachev, doctor of technical sciences, professor, Volgograd State Agricultural University, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3077-6622>, rafr@mail.ru

✉ rogachev.soft@gmail.com

РЕКЛАМА 0+

СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ
Международная агропромышленная выставка

6 - 8 НОЯБРЯ 2024

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- Сельхозтехника / Запчасти / Расходные материалы
- Оборудование и материалы для животноводства
- Агрохимия / Удобрения / Семена
- Оборудование и материалы для переработки агропромышленной продукции

ПРИМИТЕ УЧАСТИЕ В ВЕДУЩЕМ ОТРАСЛЕВОМ СОБЫТИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА!

sibagroweek.ru

[@sibagroweek](https://t.me/sibagroweek) [sibagroweek](https://vk.com/sibagroweek) +7 (383) 304-83-88

СИБИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ **НОВОСИБИРСК ЭКСПО ЦЕНТР**