УДК 631.6

DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-271-287

И. Ф. Юрченко

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, Москва, Российская Федерация

ТРЕБОВАНИЯ К АВТОМАТИЗАЦИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЛИОРАТИВНОГО РЕЖИМА АГРОЭКОСИСТЕМ

Цель: формирование основополагающих требований к системам точного регулирования мелиоративного режима агроэкосистем, базирующихся на теории, принципах, способах построения и эксплуатации автоматизированных систем управления, минимизирующих участие человека. **Методы:** методологическую основу исследований составляли анализ, индукция, дедукция, сравнительный метод, описание, трендовый анализ. **Результаты:** определены цели и задачи создания автоматизированной системы регулирования мелиоративного режима. Выполнен анализ действующих подходов к созданию и использованию автоматизированных систем управления технологическими процессами, и выявлены приоритетные направления эволюции автоматизированных систем управления в мелиорируемой земледелии. Установлены ключевые особенности настоящего этапа автоматизации процесса растениеводства, заключающиеся в объединении техники с биологическими объектами, обладающими непостоянными во времени параметрами, – растениями и почвой. Сформулированы унифицированные, основанные на единой методологии требования к созданию методического, технологического, информационного и организационного обеспечения автоматизированных систем управления продуктивностью мелиорируемых агроценозов в условиях экологического императива. Представлена функциональная структура автоматизированных систем управления технологическим процессом, дифференцированная по информационным и управляющим операциям автоматизированной системы управления. Охарактеризован состав требований к надежности, безопасности, оперативности срабатывания, эффективности, предсказуемости, простоте в использовании автоматизированных систем. **Выводы:** приоритетные исследования в сфере мелиораций должны обеспечить разработку инновационных систем управления, которые будут контролировать в режиме онлайн мелиоративную ситуацию в агроэкосистемах, осуществлять интеллектуальную обработку информации, подготовку вариантов решений и их реализацию, обращаясь к сельхозпроизводителю лишь в специально оговоренных ситуациях.

Ключевые слова: требования; автоматизация; прецизионное (точное) управление; мелиоративный режим; агроэкосистема.

I. F. Yurchenko

All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

REQUIREMENTS FOR AUTOMATION OF REGULATING AGROECOSYSTEM RECLAMATION REGIME

Purpose: the formation of fundamental requirements for precise regulation systems of agroecosystems reclamation regime based on the theory, principles, methods of building and operating the automated control systems that minimize human participation. **Methods:** the

methodological basis of the research was analysis, induction, deduction, comparative method, description, trend analysis. **Results:** the goals and objectives of creating an automated system for regulating the reclamation regime are identified. The analysis of the current approaches to creation and application of automated process control system is carried out, and priority areas for the evolution of automated control systems in reclamation agriculture are identified. The key features of this stage of plant growing process automation have been determined, consisting in combining technology with biological objects that have unstable in time parameters – plants and soil. The unified requirements based on a single methodology are formulated for the creation of methodological, technological, informational and organizational support of automated control of the productivity of reclaimed agrocenoses under the conditions of ecological imperative. The functional structure of automated process control systems differentiated by information and control operations of the automated control system is presented. The composition of the requirements for reliability, safety, responsiveness, efficiency, predictability, ease of use of automated systems is described. **Conclusions:** priority research in the field of land reclamation should ensure the development of innovative control systems that will monitor the land reclamation situation in agroecosystems online, carry out the intellectual processing of information, preparation of decision options and their implementation, addressing the agricultural producer only in specially agreed situations.

Key words: requirements; automation; precision (precise) control; reclamation regime; agroecosystem.

Введение. Автоматизирование агропроизводства, предполагающее применение автоматического и (или) автоматизированного оборудования, полностью или же частично освобождающего человека от участия в технологическом процессе производства, и возлагающее на оператора только контроль, является достаточно новым техническим решением. Последнее сформировалось в середине прошлого века благодаря появлению мощных вычислительных машин, позволяющих моделировать сложные динамические системы, обеспечивающие контроль при получении, передаче, обработке и реализации энергии, материалов или информации [1].

Механизация и автоматизирование агропроизводства существенно, в несколько раз повышают производительность труда [2–4]. Новации обеспечивают рост уровня производства и качества сельскохозяйственной продукции. С учетом того, что мировой уровень механизации всех основных процессов агропроизводства практически близок к 100 %, ее последующее развитие связывается с интенсификацией использования методов информатизации, автоматизирования, а также применением робототехнических комплексов.

Однако использование интенсивных технологических процессов наряду с максимизацией качества продукции ограничивается индивидуальными физиологическими возможностями человека. В связи с этим в системе растениеводства становится актуальным внедрение точных технологий, основанных на автоматическом управлении процессами ухода за растениями и использовании технических средств точного позиционирования техники на поле с помощью навигационных и спутниковых систем и тому подобных новаций [5–7].

Цель настоящей работы – формирование основополагающих требований к автоматизированным системам точного (прецизионного) управления мелиоративным режимом (водным, воздушным, тепловым, пищевым, а также микробиологическим состоянием почвы, температурой и влажностью приземного слоя атмосферы, внекорневым питательным режимом растений и тому подобными параметрами агроэкосистем), базирующихся на теории, принципах построения, а также способах эксплуатации автоматизированных систем управления по возможности без участия человека (АСУ ТП_{мр}).

Научная новизна исследований заключается в разработке унифицированного, основанного на единой методологии подхода к созданию методического, технологического, информационного и организационного обеспечения автоматизированных систем управления продуктивностью мелиорируемых агроценозов в условиях экологического императива.

Практическая значимость – в обеспечении условий для широкого внедрения и применения интегрированных цифровых решений в мелиоративном водохозяйственном комплексе АПК, что может стать не только мероприятием, повышающим эффективность деятельности отдельных предприятий, но и новым вызовом для всей сферы мелиорации.

Методика. Методологическая основа исследований базируется на следующих методах научного познания: анализ, индукция, дедукция, сравнительный метод, описание, трендовый анализ и пр.

Результаты и обсуждение. Современные производственные процессы мелиорируемого земледелия относятся к технически сложным объектам управления, для которых характерно на порядок больше среднего количество управляемых и контролируемых параметров и действий возмущений в технологических процессах производства, что оказывает влияние на эффективность выполнения агромелиоративных операций [8]. Сельхозтоваропроизводители далеко не всегда могут своевременно и адекватно отреагировать на изменяющиеся условия роста и развития растений, отсюда востребованность автоматизированных и автоматических технологий управления агропроизводством.

Автоматизирование агротехнологий преобразовалось в отдельное направление техники и науки, включающее теорию, принципы конструирования, а также способы использования автоматизированных систем управления в сфере агропроизводства с минимальным человеческим участием, в течение нескольких последних десятилетий [9].

Ключевой особенностью настоящего этапа становления автоматизирования растениеводства является объединение техники с биологическими объектами с изменяющимися во времени параметрами – растениями и почвой.

Необходимость рассмотрения связи техники и биологических объектов в качестве человеко-машинной системы обусловлена [10–12]:

- сложностью и многообразием производственных процессов, разнообразием технологических процессов и техники;
- распределенностью регулируемых и контролируемых параметров большинства объектов по полю или гидромелиоративной системе со случайными возмущающими воздействиями;
- рассредоточением техники по большой территории (большая удаленность ремонтной базы и недостаточная квалификация обслуживающего персонала).

Существенное расширение областей использования средств автоматизации в растениеводстве (в перспективе) вызвано появлением инновационных средств механизации, а также отдельных машинных технологий [13]. К подобным средствам следует отнести и технологию регулирования мелиоративного режима агроэкосистем, разработанную специалистами ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова».

Современные решения в области управления мелиоративным режимом агроэкосистем и его автоматизирования на западном рынке успешно реализуются компаниями John Deere, Lindsay Corp. [14]. Информация о влагообеспеченности территории оперативно передается на смартфон датчиками влажности компании CropX [15] (рисунок 1).

Рисунок 1 – Контроль процедур полива CropX [15]

Контроллеры от компании Sprinkl, установленные на дождевальную технику, позволяют экономить воду при поливе путем дифференцированного подхода к дождеванию (полив локальных участков поля в соответствии с данными о фактической почвенной влажности) [16].

Система диспетчерского контроля и сбора данных SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), разработанная Лабораторией водных ресурсов Университета штата Юта (США), осуществляет точный,

интегрированный контроль водопользования на гидромелиоративных системах и мелиорируемых землях в режиме реального времени [17]. Реализован автоматизированный учет водозабора, воды, находящейся в каналах системы, и воды, поданной на поля. Пользователям SCADA-систем обеспечена информация о водораспределении и водопользовании на системе, повышающая действенность управляющих процедур [18].

Сельхозтоваропроизводителям доступно и множество технологий поддержки решений по реализации полива, формируемых на основе анализа и оценки информации со спутников, данных состояния агроэкосистем, условий эвапотранспирации, материалов картографии контролируемой территории.

Технологии прецизионного орошения рационализируют способы водоподдачи агроценозам с учетом конфигурации и топографии участка, необходимости полива различных фрагментов одного поля и других особенностей поливаемых территорий, что способствует оптимизации водопотребления и экономии водных ресурсов.

Вместе с тем очевидно, что дополнительное регулирование воздушного, теплового, пищевого режима, а также микробиологического состояния почвы, температуры и влажности приземного слоя атмосферы, внекорневого питательного режима растений и т. п. гарантирует более эффективное использование суммарной солнечной радиации, это способствует формированию продуктивности агрофитоценозов и повышению плодородия почв [1, 19]. Это обуславливает приоритеты автоматизирования такого направления. Указанный подход в настоящее время не практикуется отечественным мелиоративным агропроизводством, ограничивающимся по большей мере рассмотрением только автоматизирования процесса управления поливами. Целью функционирования АСУ ТП_{мр} должно стать автоматическое управление объектом в обычном, предаварийном и аварийном периодах работы.

Следующая особенность создаваемой автоматизированной системы

управления мелиоративным режимом (АСУ ТП_{мр}) – усиление роли аналитических методов в процедурах подготовки решений и реализации мероприятий по формированию мелиоративного режима. Традиционно практикующиеся подходы к формированию и регулированию мелиоративного режима связаны с использованием значений измеренных физических параметров состояния агроэкосистемы (температуры, уровня грунтовых вод и тому подобных параметров).

Важным требованием к АСУ ТП_{мр} является также требование ее реализации в качестве единой системы, интегрирующей комплекс технических и программных средств для решения задач контроля и регулирования мелиоративного режима агроценозов, а также основного и вспомогательного оборудования, технологических процессов и инструментальных систем для цифрового управления гидромелиоративными системами [20, 21].

Информационное обеспечение автоматизированной технологии регулирования мелиоративного режима составляют системы управления базами данных (СУБД), географические информационные системы (ГИС), математические модели, среды имитационного моделирования, сетевые службы (web-сервер, облачное хранилище данных) [22].

Структура самой АСУ ТП_{мр} должна представлять собой многоуровневую иерархическую систему, которая соответствует технологической структуре агросистемы, имеет блочно-модульную архитектуру, обеспечивающую масштабирование и расширение функциональных возможностей системы управления [23].

Необходимым требованием сегодняшнего дня является возможность коллективного пользования системой для всех заинтересованных участников производственного процесса с применением web-технологий на основе сервиса WWW – интернет, а также соответствие АСУ ТП_{мр} действующим технологическим стандартам к облачным технологиям и технологиям больших данных (Big Data).

Архитектуру АСУ ТП_{мр} формируют: технические средства для получения и передачи информации, характеризующей состояние объекта управления; устройства для автоматической обработки данных (регуляторы-контроллеры); исполнительные устройства, реализующие управляющие воздействия; организующие и транслирующие программы и другие элементы программного обеспечения; система хранения справочной, оперативной, технологической информации; системы учета и визуализации данных (экраны, табло и другие носители), состав и функции которых определяются целями системы управления. Для действующих автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) сферы мелиорации традиционна распределительная структура управления, формируемая согласно заданной цели эксплуатации системы – передача данных для анализа, оптимизации и планирования работы оборудования. На рисунке 2 приведена в качестве примера структурная схема АСУ ТП водораспределения межхозяйственного канала [24].

Рисунок 2 – Структурная схема автоматизированной системы управления технологическими процессами межхозяйственного канала [24]

Концептуальная организационная схема автоматизированной системы управления орошением фирмы Tevatronik, реализующей полив сельскохозяйственных культур и внесение удобрений без вмешательства человека, приведена на рисунке 3 [25].

Рисунок 3 – Концептуальная организационная схема автоматизированной системы управления орошением фирмы Tevatronik [25]

Архитектура системы включает:

- беспроводные тензиометры для контроля и передачи данных о почвенной влаге;
- контроллеры для сбора данных с тензиометров и их трансляции по сотовой связи на облачный сервер с целью анализа и выработки управляющих воздействий на переключатели гидравлических затворов оросительных каналов;
- дистанционный беспроводной переключатель гидравлических затворов оросительных каналов;
- облачный интернет-сервер, использующий математические модели и алгоритмы для анализа данных и принятия управляющих решений, транслирующихся на переключатель затворов для выполнения;
- беспроводной передатчик, формирующий зону приема сигнала от тензиометров;

- оборудование контроля температуры и относительной влажности почвы.

Базовая функциональная структура технопрограммного комплекса (ТПК) АСУ ТП_{мр} может иметь вид, представленный на рисунке 4.

Рисунок 4 – Базовая функциональная структура технопрограммного комплекса автоматизированной системы управления мелиоративным режимом

Основные требования к функционирующей АСУ ТП_{мр} интуитивно понятны. Это надежность, безопасность, оперативность срабатывания, эффективность, предсказуемость, простота в использовании.

Ключевыми стандартами, которыми следует руководствоваться при создании этих систем, являются ГОСТ 34.601-90, ГОСТ 34.602-90 и ГОСТ 34.201-90, а также методические указания с общими положениями РД 50-682-89.

Безопасность функционирования АСУ ТП_{мр} обеспечивается на программном и технологическом уровне защитой:

- от несанкционированного доступа;
- разрушения и (или) использования накопленной информации;
- компьютерных вирусов;
- остановки или поломки в результате ошибки оператора.

Требования к надежности определяют, насколько система в целом и отдельные ее подсистемы будут справляться с отведенными им функциями. Так, программное обеспечение не должно прекращать работу при отказе каких-либо технических средств функциональной подсистемы и (или) при ошибках оператора. В свою очередь, при ошибках программной подсистемы технические средства не должны допускать отказа выполнения функций всей АСУ ТП_{мр}. Система должна содержать специальные средства для восстановления данных.

Критерием надежности может стать объем потерь, возникающих из-за отказов АСУ ТП_{мр}, в сравнении их с прогнозируемым объемом в случае аварийных ситуаций [26].

Требуемая оперативность достигается централизованным сбором и обработкой текущей информации с помощью контактных (наземных) и дистанционных средств и методов контроля и учета мелиоративного режима агроэкосистем.

Требования к эффективности устанавливают ограничения в части использования системой аппаратных ресурсов для своих собственных нужд. Система должна быть как можно более экономичной, чтобы большая часть ресурсов оставалась в распоряжении пользователей. Кроме того, система

должна управлять ресурсами пользователей так, чтобы свести к минимуму время простоя, добиваясь максимальной загруженности ресурса.

Требование предсказуемости отклика системы в процессе ее эксплуатации обеспечивает прозрачность обслуживания системой, т. е. пользователь, запуская программу, должен иметь представление, основанное на предыдущем опыте, о том, когда ему ожидать выдачи результатов.

Для облегчения работы персонала система АСУ ТП_{мр} должна иметь гибкую и адаптивную структуру, возможность изменения алгоритмов работы, обладать «дружественным» веб-интерфейсом, ориентированным на персональный компьютер, планшет и смартфон, располагать стройной системой запросов, обеспечивать сортировку данных и диалоговый режим взаимодействия с пользователем. Кроме того, программное обеспечение должно обладать несколькими уровнями доступа для выполнения каждым специалистом непосредственно своей части работы.

Несмотря на повышение уровня автоматизации технологических процессов, роль оперативного персонала в АСУ ТП_{мр} остается чрезвычайно высокой. Требования к составу оперативного персонала конкретной АСУ ТП_{мр} и установленные взаимоотношения между работниками определяют организационную структуру системы.

Заключение. Разработку креативных систем управления агропроизводством на орошаемых землях следует ориентировать в первую очередь на контроль и учет мелиоративной ситуации агроэкосистем в режиме онлайн, интеллектуальную обработку и анализ больших объемов информации, формирование вариантов готовых решений и реализацию управляющих агро-мелиоративных воздействий по большей мере без участия человека. Наличие основополагающих требований к системам точного (прецизионного) регулирования мелиоративного режима агроэкосистем (АСУ ТП_{мр}), базирующихся на теории, принципах построения, а также способах эксплуатации автоматизированных систем управления, минимизирующих участие

человека, будет способствовать успешному решению указанной первоочередной задачи техники и науки сферы мелиорации.

Список использованных источников

- 1 Научные основы создания и управления мелиоративными системами в России / под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИ агрохимии, 2017. – 296 с.
- 2 Волосухин, Я. В. Проведение эксплуатационного мониторинга с применением неразрушающих методов контроля и автоматизация моделирования технического состояния гидротехнических сооружений / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2011. – № 3. – С. 88–93.
- 3 Волосухин, Я. В. Вопросы моделирования технического состояния водопроводящих каналов при проведении эксплуатационного мониторинга / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 1. – С. 70–74.
- 4 Волосухин, Я. В. Применение неразрушающих методов при проведении эксплуатационного мониторинга технического состояния каналов обводнительно-оросительных систем / Я. В. Волосухин, М. А. Бандурин // Мониторинг. Наука и безопасность. – 2012. – № 2. – С. 102–106.
- 5 Кирейчева, Л. В. Экологические принципы создания совершенных мелиоративных систем / Л. В. Кирейчева // Природообустройство. – 2010. – № 5. – С. 70–75.
- 6 Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / Л. В. Кирейчева, Н. П. Карпенко, О. Б. Хохлова, И. Ф. Юрченко, И. В. Белова, А. В. Тиньгаев, В. М. Яшин, Ю. Я. Гольцов; под ред. Л. В. Кирейчевой. – М., 2010. – 240 с.
- 7 Эколого-экономическая эффективность комплексных мелиораций Барабинской низменности / Л. В. Кирейчева, И. В. Белова, М. В. Глистин, М. Т. Устинов, О. Б. Хохлова, И. Ф. Юрченко, В. М. Яшин; под ред. Л. В. Кирейчевой. – М.: ВНИИА, 2009. – 312 с.
- 8 Карпенко, Н. П. Оценка эколого-мелиоративной устойчивости сельскохозяйственных агроландшафтов в низовьях реки Сырдарьи / Н. П. Карпенко, Ж. С. Мустафеев, Ж. Е. Ескермесов // Природообустройство. – 2010. – № 5. – С. 98–103.
- 9 Yusupbekov, N. Development and improvement of systems of automation and management of technological processes and manufactures / N. Yusupbekov, F. Adilov, F. Ergashev // Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems. – 2017. – Vol. 11, № 3. – P. 53–57. – DOI: 10.14313/JAMRIS_3-2017/28.
- 10 Yurchenko, I. F. Information support for decision making on dispatching control of water distribution in irrigation / I. F. Yurchenko // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1015. – 042063. – DOI: 10.1088/1742-6596/1015/4/042063.
- 11 Bandurin, M. A. Remote monitoring of reliability for water conveyance hydraulic structures / M. A. Bandurin, I. F. Yurchenko, V. A. Volosukhin // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 931. – P. 209–213. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.209.
- 12 Risk assessment of land reclamation investment projects / I. Yurchenko, V. Vanzha, M. Bandurin, V. Volosukhin, I. Bandurina // Advances in social science, education and humanities research. Proceedings of the International Conference Communicative Strategies of Information Society (CSIS 2018). – 2019. – P. 216–221. – DOI: 10.2991/csis-18.2019.45.
- 13 Бородычев, В. В. Система «анализ – визуализация данных – принятие решений» в составе ГИС управления орошением / В. В. Бородычев, М. Н. Лытов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2(50). – С. 37–43.
- 14 Lindsay Corporation. Plug & Play Add-Ons [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.growsmart.com>, 2020.

15 John Deere Field Connect [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/field-and-water-management>, 2020.

16 Acromag. SM-Autonomous Irrigation Control [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.acromag.com/content/sm-autonomous-irrigation-control>, 2020.

17 Save and Grow. A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. – Rome: FAO, 2011. – 112 p.

18 Об общих научных подходах к созданию унифицированных прецизионных энергосберегающих АСУ ТП / Г. И. Канюк, И. А. Бабенко, М. Л. Козлова, И. В. Сук, А. Ю. Мезеря // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2016. – № 2(145). – С. 20–32.

19 Шабанов, В. В. Автоматизация комплексного регулирования факторов жизни растений / В. В. Шабанов // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 1. – С. 60–75.

20 Юрченко, И. Ф. Система поддержки принятия решений по водораспределению на базе веб-технологий / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2014. – № 2(14). – С. 87–97. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=716>.

21 Юрченко, И. Ф. Эксплуатационный мониторинг мелиоративных систем для поддержки управленческих решений / И. Ф. Юрченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 4. – С. 48–52.

22 План мероприятий («дорожная карта») «Развитие технологий в области Интернета вещей» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/35845126-Plan-meropriyatiy-dorozhnaya-karta-razvitie-tehnologiy-v-oblasti-interneta-veshchey.html>, 2020.

23 Добрачев, Ю. П. Структура управления агрономическими режимами сельскохозяйственного поля / Ю. П. Добрачев, А. В. Матвеев // Природообустройство. – 2011. – № 2. – С. 5–12.

24 Савичев, О. Г. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений природообустройства и водопользования / О. Г. Савичев. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. – 109 с.

25 Tevatronic. Autonomous Irrigation [Electronic resource]. – Mode of access: <http://tevatronic.net>, 2020.

26 Юрченко, И. Ф. О критериях и методах контроля безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного водохозяйственного комплекса / И. Ф. Юрченко, А. К. Носов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – Вып. 53. – С. 158–165.

References

1 Kireycheva L.V., 2017. *Nauchnye osnovy sozdaniya i upravleniya meliorativnymi sistemami v Rossii* [Scientific Basis for the Creation and Management of Reclamation Systems in Russia]. Moscow, All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, 296 p. (In Russian).

2 Volosukhin Ya.V., Bandurin M.A., 2011. *Provedenie ekspluatatsionnogo monitoringa s primeneniem nerazrushayushchikh metodov kontrolya i avtomatizatsiya modelirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Conducting operational monitoring using non-destructive testing methods and automating the simulation of technical condition of hydraulic structures]. *Monitoring. Nayka i bezopasnost'* [Monitoring. Science and Security], no. 3, pp. 88-93. (In Russian).

3 Volosukhin Ya.V., Bandurin M.A., 2012. *Voprosy modelirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya vodoprovodyashchikh kanalov pri provedenii ekspluatatsionnogo monitoringa* [Issues of modeling the technical condition of water supply canals during operational monitoring]. *Monitoring. Nayka i bezopasnost'* [Monitoring. Science and Security], no. 1, pp. 70-74. (In Russian).

4 Volosukhin Ya.V., Bandurin M.A., 2012. *Primenenie nerazrushayushchikh metodov pri provedenii ekspluatatsionnogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya kanalov obvodnitel'no-orositel'nykh sistem* [Application of non-destroying methods when conducting operational monitoring of the technical state of irrigation and watering systems canals]. *Monitoring. Nayka i bezopasnost'* [Monitoring. Science and Security], no. 2, pp. 102-106. (In Russian).

5 Kireycheva L.V., 2010. *Ekologicheskie printsipy sozdaniya sovershennykh meliorativnykh sistem* [Ecological principles of creating perfect reclamation systems]. *Prirodoo-bustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 70-75. (In Russian).

6 Kireycheva L.V., Karpenko N.P., Khokhlova O.B., Yurchenko I.F., Belova I.V., Tingaev A.V., Yashin V.M., Goltsov Yu.Ya., 2010. *Novye tekhnologii proektirovaniya, obosnovaniya stroitel'stva, ekspluatatsii i upravleniya meliorativnymi sistemami* [New Technologies for Design, Justification of Construction, Operation and Management of Reclamation Systems]. Moscow, 240 p. (In Russian).

7 Kireycheva L.V., Belova I.V., Glistin M.V., Ustinov M.T., Khokhlova O.B., Yurchenko I.F., Yashin V.M., 2009. *Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' kompleksnykh melioratsiy Barabinskoy nizmennosti* [Environmental and Economic Efficiency of Complex Reclamation of the Barabinskaya Lowland]. Moscow, VNIIA Publ., 312 p. (In Russian).

8 Karpenko N.P., Mustafaev Zh.S., Eskermesov Zh.E., 2010. *Otsenka ekologo-meliorativnoy ustoychivosti sel'skokhozyaystvennykh agrolandshaftov v nizov'yakh reki Syrdar'i* [Assessment of ecological reclamation stability of agricultural agro landscapes in the lower reaches of the Syr Darya River]. *Prirodoo-bustroystvo* [Environmental Engineering], no. 5, pp. 98-103. (In Russian).

9 Yusupbekov N., Adilov F., Ergashev F., 2017. Development and improvement of systems of automation and management of technological processes and manufactures. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 53-57, DOI: 10.14313/JAMRIS_3-2017/28.

10 Yurchenko I.F., 2018. Information support for decision making on dispatching control of water distribution in irrigation. *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1015, 042063, DOI: 10.1088/1742-6596/1015/4/042063.

11 Bandurin M.A., Yurchenko I.F., Volosukhin V.A., 2018. Remote monitoring of reliability for water conveyance hydraulic structures. *Materials Science Forum*, vol. 931, pp. 209-213, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.209.

12 Yurchenko I., Vanzha V., Bandurin M., Volosukhin V., Bandurina I., 2019. Risk assessment of land reclamation investment projects. *Advances in social science, education and humanities research. Proceedings of the International Conference Communicative Strategies of Information Society (CSIS 2018)*, pp. 216-221, DOI: 10.2991/csis-18.2019.45.

13 Borodychev V.V., Lytov M.N., 2018. *Sistema "analiz – vizualizatsiya dannykh – prinyatie resheniy" v sostave GIS upravleniya orosheniem* [System “analysis – data visualization – decision-making” as part of the GIS for irrigation management]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bull. of the Lower Volga Agricultural University: Science and Higher Professional Education], no. 2(50), pp. 37-43. (In Russian).

14 Lindsay Corporation. Plug & Play Add-Ons, available: <http://www.growsmart.com> [accessed 2020].

15 John Deere Field Connect, available: <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/field-and-water-management> [accessed 2020].

16 Acromag. SM-Autonomous Irrigation Control, available: <https://www.acromag.com/content/sm-autonomous-irrigation-control> [accessed 2020].

17 Save and Grow. A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. Rome, FAO, 2011, 112 p.

18 Kanyuk G.I., Babenko I.A., Kozlova M.L., Suk I.V., Mezerya A.Yu., 2016. *Ob obshchikh nauchnykh podkhodakh k sozdaniyu unifikirovannykh pretsizionnykh energosberegayushchikh ASU TP* [On general scientific approaches to the creation of unified precision energy-saving automated process control systems]. *Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit* [Energy Saving. Energy. Energy Audit], no. 2(145), pp. 20-32. (In Russian).

19 Shabanov V.V., 1982. *Avtomatizatsiya kompleksnogo regulirovaniya faktorov zhizni rasteniy* [Automation of complex regulation of plant life factors]. *Gidrotekhnika i melioratsiya* [Hydraulic Engineering and Reclamation], no. 1, pp. 60-75. (In Russian).

20 Yurchenko I.F., Trunin V.V., 2014. [The decision support system for water allocation based on web technologies]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 2(14), pp. 87-97, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=716>. (In Russian).

21 Yurchenko I.F., 2004. *Ekspluatatsionnyy monitoring meliorativnykh sistem dlya podderzhki upravlencheskikh resheniy* [Operational monitoring of land reclamation systems to support managerial decisions]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 48-52. (In Russian).

22 *Plan meropriyatiy ("dorozhnaya karta") "Razvitie tekhnologiy v oblasti Interneta veshchey"* [Activity Plan ("road map") "Development of Technologies in the Field of Internet of Things"], available: <https://docplayer.ru/35845126-Plan-meropriyatiy-dorozhnaya-karta-razvitie-tehnologiy-v-oblasti-interneta-veshchey.html> [accessed 2020]. (In Russian).

23 Dobrachev Yu.P., Matveev A.V., 2011. *Struktura upravleniya agromeliorativnymi rezhimami sel'skokhozyaystvennogo polya* [The management structure of agro-reclamation regime of agricultural field]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 2, pp. 5-12. (In Russian).

24 Savichev O.G., 2014. *Ekspluatatsiya i monitoring sistem i sooruzheniy prirodoobustroystva i vodopol'zovaniya* [Operation and Monitoring of Systems and Structures of Environmental Engineering and Water Use]. Tomsk, Tomsk Polytechnical University Publ., 109 p. (In Russian).

25 Tevatronic. Autonomous Irrigation, available: <http://tevatronic.net> [accessed 2020]. (In English).

26 Yurchenko I.F., Nosov A.K., 2014. *O kriteriyakh i metodakh kontrolya bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnogo vodokhozyaystvennogo kompleksa* [On criteria and methods for monitoring the safety of hydraulic structures of reclamation water management complex]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture]. Novocherkassk, RosNIIPM Publ., iss. 53, pp. 158-165. (In Russian).

Юрченко Ирина Федоровна

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: главный научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова»

Адрес организации: ул. Большая Академическая, 44, г. Москва, Российская Федерация, 127550

E-mail: irina.507@mail.ru

Yurchenko Irina Fedorovna

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Chief Researcher

Affiliation: All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A. N. Kostyakov

Affiliation address: st. Bolshaya Akademicheskaya, 44, Moscow, Russian Federation, 127550

E-mail: irina.507@mail.ru

Поступила в редакцию 25.05.2020

После доработки 08.07.2020

Принята к публикации 10.07.2020