

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОПОДАЧИ В КОНТУРЕ «СИСТЕМА» НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ДВОЙНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.Л. КОЖАНОВ, О.В. ВОЕВОДИН

Ключевые слова: мелиоративная система, двойное регулирование, моделирование, контур регулирования, водный режим, водные ресурсы, регулирующая емкость.

Keywords: reclamation system, dual regulation, modeling, control loop, water regime, water resources, regulating capacity.

Аннотация. Целью исследований являлась разработка алгоритма моделирования режимов водоподдачи в контуре регулирования «Система» на мелиоративных системах двойного регулирования для дальнейшей разработки программных или информационных средств. Объектом исследований принят процесс водораспределения на мелиоративных системах двойного регулирования водного режима (МСДР). Для моделирования в данном контуре регулирования «Система» применяли принцип обеспечения системного подхода к регулированию режимов водоподдачи на всех предыдущих уровнях регулирования («Водопотребители» — «Группы водопотребителей» — «Участки системы»). Для возможности моделирования в данном контуре разработана схема, включающая регулируемую емкость для приема дренажных вод в паводковый период и подачи для увлажнения в вегетационный период, головное сооружение, регулирующее подачу воды в систему, открытую (или закрытую), распределительную сеть и вододелительные узлы, которые имеют регулирующие сооружения различного порядка, а также потребителей водных ресурсов и устьевое сооружение. Определена исходная информация необходимая для моделирования диспетчерского графика в контуре «Система». На основании схемы и исходных данных разработан алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР. Алгоритм состоит из трех основных модулей: подготовка к моделированию, само моделирование распределения и соответственно результаты моделирования. При этом модуль «моделирование распределения» состоит из «расчета режима работы вододелительных узлов» и «реализации водораспределения». Предложенная система моделирования с разработанным алгоритмом позволяет проводить динамическое управление подачей воды, создать программное обеспечение и программный комплекс информационно-технологической поддержки моделирования режимов регулирования водных ресурсов на МСДР.

Abstract. The purpose of the research was to develop an algorithm for modeling water supply modes in the «System» control loop on reclamation dual-control systems for further development of software or information tools. The object of research is the process of water distribution on reclamation systems of dual regulation of the water regime (MSDR). For modeling in this «System» control loop, the principle of ensuring a systematic approach to regulating water supply regimes at all previous levels of regulation was applied («Water consumers» — «Groups of water consumers» — «System sections»). For the possibility of modeling in this circuit, a scheme has been developed that includes a regulating tank for receiving drainage water during the flood period and supplying it for humidification during the growing season, a head structure regulating the supply of water to the system, open (or closed), a distribution network and water separation nodes that have regulating structures of various orders, as well as consumers of water resources and an estuarine structure. The initial information necessary for modeling the dispatcher schedule in the «System» contour has been determined. Based on the scheme and the initial data, an algorithm has been developed for modeling the dispatcher schedule of water distribution in the control loop «System» on the MSDR. The algorithm consists of three main modules: preparation for modeling, the distribution modeling itself, and, accordingly, the simulation results. At the same time, the module «distribution modeling» consists of «calculation of the mode of operation of water separation units» and «implementation of water distribution». The proposed modeling system with the developed algorithm makes it possible to dynamically control the water supply, create software and a software package for information technology support for modeling water resource management modes on the MSDR.

Введение. Рассматривая процесс водораспределения на мелиоративных системах двойного регулирования (МСДР) видим, что данный процесс представляет из себя транспортирование водных ресурсов различными каналами или трубопроводам с конечной целью —

подачи водопотребителю в нормированных объемах, но также могут применяться ненормированный и комбинированный способы [1, 2].

При разработке планов водопользования строят графики нормированной водоподдачи между потребителями, но для этого определяются лимиты и наличие водных ресурсов как за пределами системы (забор воды из крупных водохранилищ), так и может учитываться и наличие водных ресурсов внутри системы двойного регулирования [3–5].

Рассматривая сам процесс водораспределения можно сделать вывод, что он является многозадачным и ручное управление затруднено, в связи с чем необходимо использовать систему автоматизированного управления. Участие человека эксплуатирующего систему также необходимо сводить к нулю, оставляя ему функцию настройки системы автоматизированного водораспределения [6, 7].

В век, когда направление информационных технологий очень сильно развивается и происходит многочисленное использование «гаджетов», которые позволяют использовать программное обеспечение для расчета различных задач в мелиорации [8–11] то и в области водораспределения водных ресурсов систем двойного регулирования необходима разработка программного комплекса информационно-технологической поддержки моделирования режимов регулирования водных ресурсов [12, 13].

Процесс распределения водных ресурсов на МСДР выражается в решении сложной задачи, так как имеет-ся осушительная часть системы для отвода дренажного стока в регулирующие емкости и оросительная — для подачи воды на увлажнение [12, 14, 15].

Анализируя процесс моделирования распределения водных ресурсов на МСДР наиболее рациональным и целесообразным является принцип моделирования по контурам регулирования: водопотребитель (мелиорируемое поле) — группа водопотребителей — участок системы, включающие несколько водопотребителей — и конечный контур — это «Система» [12]. Ранее авторами уже рассматривались основные контуры регулирования [4, 13, 16], что говорит о необходимости рассмотрения контур «система» с разработкой алгоритма моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система».

Исходя из этого, целью настоящих исследований является разработка алгоритма моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» для МСДР. При этом МСДР включает закрытый дренаж и расположенной регулирующей емкости (водоприемника-водоисточника) на более высоких отметках.

Материалы и методы. Информационное ядро работы для моделирования режима водораспределения

в контуре «Система» составили положения по информационным технологиям на автоматизированные системы, методы обработки и систематизации информации, а также правилам водораспределения на мелиоративных системах [13].

Для моделирования в данном контуре регулирования «Система» применяли принцип обеспечения системного подхода к регулированию режимов водоподдачи на всех предыдущих уровнях регулирования («Водопопотребители»–«Группы водопотребителей»–«Участки системы») [9, 12].

При этом необходимо решить задачи определения режимов работы: головного водозаборного сооружения, вододелительных узлов, подпорно-регулирующих сооружений, подающих воду водопользователям водовыделов и др. [17]. Эти задачи должны решаться исходя из имеющейся структуры распределительной сети, ее эксплуатационных характеристик, оперативно изменяющихся режимов заборов воды водопользователями, установленных лимитов водопользования и т. п. На действующих МСДР эти задачи, как правило, решаются диспетчерскими службами. В этой связи, процедура моделирования управления водными ресурсами на этом уровне должна сводиться к моделированию диспетчерского управления водораспределением.

Укрупненная схема моделирования приведена на рис. 1.

Предложенная схема моделирования в контуре «Система» включает регулируемую емкость для приема дренажных вод в паводковый период и подачи для увлажнения в вегетационный период, головное сооружение, регулирующее подачу воду в систему, открытую (или закрытую), распределительную сеть и вододелительные узлы, которые имеют регулирующие сооружения различного порядка, а также потребителей водных ресурсов и устьевое сооружение.

При моделировании диспетчерского графика в качестве исходной информации для контура «Система» используют исходные данные:

- а) схема водораспределения на МСДР;
- б) характеристики элементов МСДР:
 - обозначения водопользователей;
 - КПД ее элементов k_i ;
 - пропускные способности сооружений МСДР $Q_{\max,i}$, $\text{м}^3/\text{с}$;
- в) заявки водопотребителей на воду:
 - сроки начала подачи $t_{\text{нач},i}$ ч;
 - сроки окончания подачи $t_{\text{кон},i}$ ч;
 - расходы $Q_{в/п,i}$, $\text{м}^3/\text{с}$;
- г) лимиты водопотребления: расходы $Q_{\text{лим},i}$, $\text{м}^3/\text{с}$ и объемы $W_{\text{лим},i}$, м^3 ;
- д) интервалы регулирования $\Delta t_{\text{рег},i}$ ч.

Результаты и обсуждение. На основе исходной информации и существующих принципов водораспределения разработан алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР, изображенный на рис. 2.

В разработанном алгоритме модуль «Подготовка к моделированию» включает три основные операции: определяются основные характеристики (параметры)

МСДР, в том числе по контурам регулирования более низкого уровня, такие как «участок системы», «группа водопотребителей» или «водопотребители», согласно [12] (блок 1). Далее устанавливаются лимиты на водопользование (если такие существуют) и (или) пропускные способности каналов и сооружений МСДР (блок 2). В конце вводятся заявки водопотребителей на воду (блок 3) как в виде отдельных водопотребителей, так и в виде ранее определенных контуров регулирования «группа водопотребителей» и (или) «участок системы».

Процесс моделирования на всей МСДР (группа блоков 4–12 «Моделирование водораспределения») в простейшем случае сводится к последовательному регулированию работы ее вододелительных узлов (группа подблоков 4–8 «Расчет режимов работы вододелительных узлов»).

В начале определяется i -й вододелительный узел, для которого необходимо совершить регулирование, представленный блоком 4. Для этого узла производится:

- расчет суммарного водопотребления всех водопотребителей данного узла $Q_{в/п,\Sigma}$, $\text{м}^3/\text{с}$, с учетом возможных потерь, в алгоритме это блок 5;
- расчет суммарного водопотребления всех нижележащих вододелительных узлов $Q_{уз,\Sigma}$, $\text{м}^3/\text{с}$, учетом возможных потерь в алгоритме это блок 6;
- расчет общего водопотребления узла $Q_{уз,i}$, $\text{м}^3/\text{с}$, в алгоритме это блок 7;
- выбор следующего ($i + 1$)-го вододелительного узла (блок 8) и процедура регулирования для этого узла повторяется, начиная с блока 4.

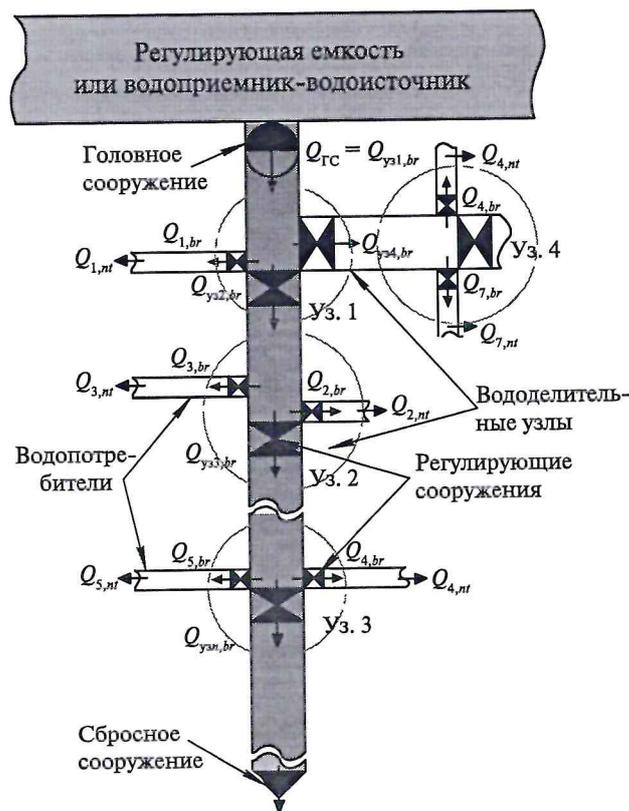


Рис. 1. Укрупненная схема моделирования режимов управления водораспределения в контуре «Система»

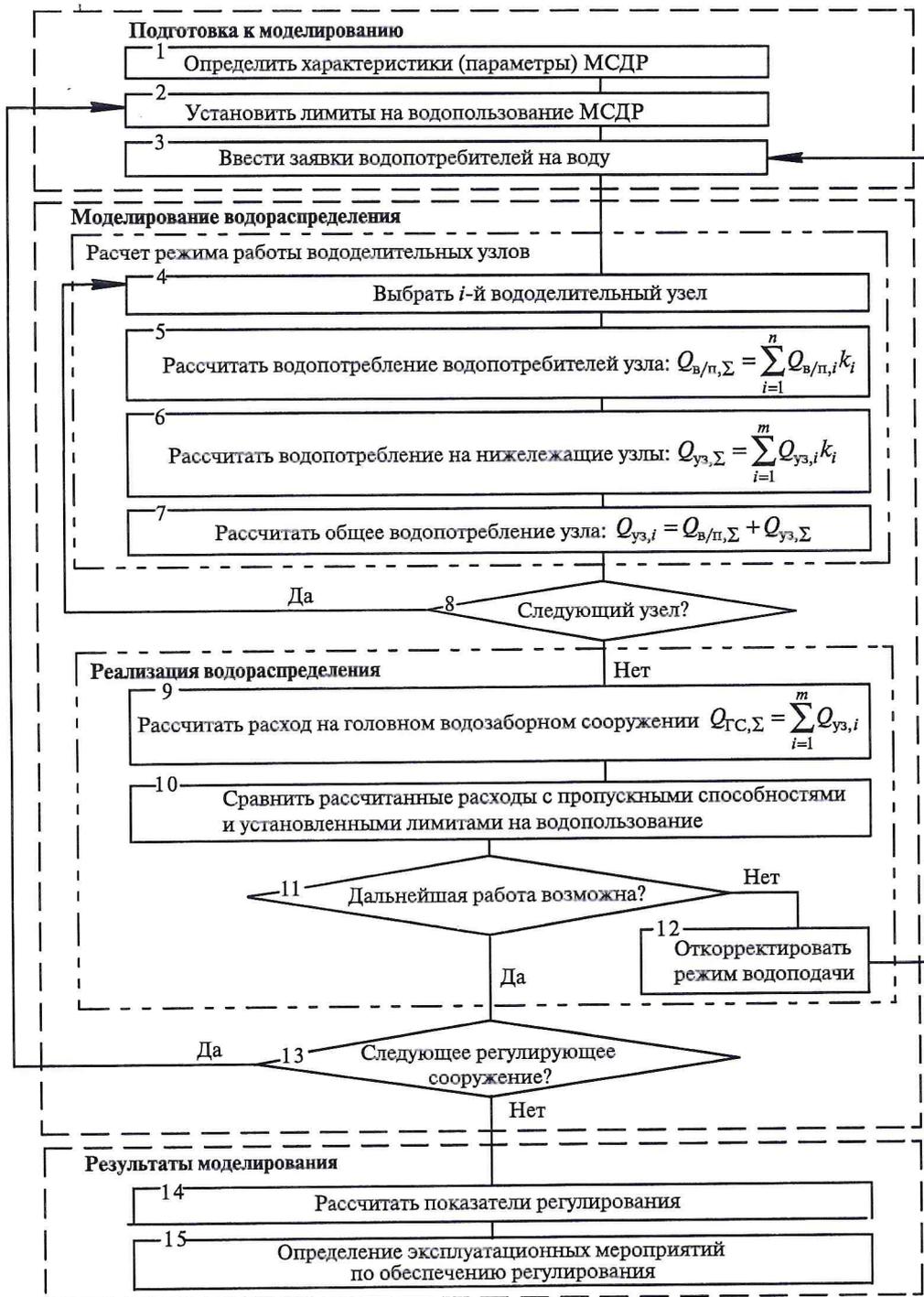


Рис. 2. Алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения

При этом если расчеты по всем вододелительным узлам проведены (т. е. узлы закончились) и согласно блока 8, при отсутствии следующего узла то переходят к определению режимов подачи воды в систему (группа блоков 9–12 «Реализация водораспределения»).

На начальном этапе «реализации водораспределения» рассчитываются расходы на головном сооружении системы $Q_{гс, \Sigma}$, м³/с, в алгоритме это блок 9.

Полученные результаты сравниваются с пропускными способностями каналов и сооружений и уста-

новленными лимитами на водопользование (блоки 10 и 11 алгоритма).

При этом если дальнейшее регулирование невозможно, то производится корректировка (согласование) режимов водоподдачи (блок 12 алгоритма) и проводится повторное рассмотрение заявок водопотребителей и повторяются блоки алгоритма 4–11.

А если дальнейшая работа возможна, то производится переход к следующему этапу моделирования (блок 13).

После завершения процедуры моделирования всех регулирующих сооружений производится оценка результатов моделирования (группа блоков 14–15 «Результаты моделирования»)

Для визуальной оценки ситуации на системе при моделировании должны отображаться:

- номограмма, отображающая смоделированные заборы воды водопотребителями и пропускные способности подающих им воду каналов и сооружений;
- номограмма, отображающая смоделированные расходы на вододелительных узлах МСДР и их пропускные способности;

- график забора воды из системы и установленных лимитов на водопользование.

Вид экранной формы программы моделирования диспетчерского графика водоподдачи в контуре регулирования «Система» приведен на рис. 3.

Выводы. Рассматривая процесс водораспределения на мелиоративных системах двойного регулирования (МСДР) видно, что данный процесс представляет из себя транспортирование водных ресурсов различным каналам или трубопроводам с конечной целью – подачи

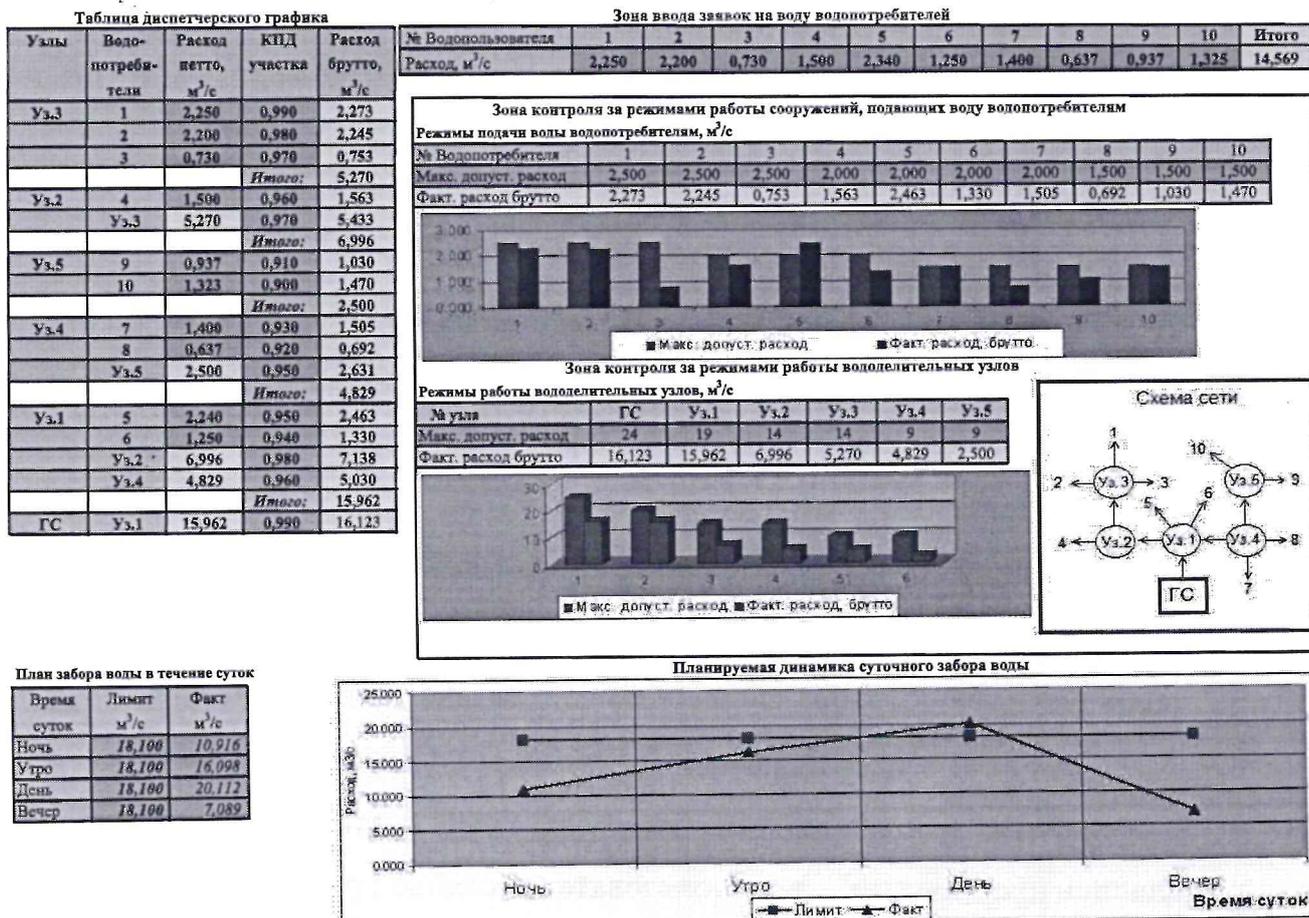


Рис. 3. Экранная форма программы моделирования диспетчерского графика водоподдачи

водопотребителю в нормированных объемах, но также могут применяться ненормированный и комбинированный способы. При разработке планов водопользования строят графики нормированной водоподдачи между потребителями, но для этого определяются лимиты и наличие водных ресурсов как за пределами системы (забор воды из крупных водохранилищ), так и может учитываться и наличие водных ресурсов внутри системы двойного регулирования. Анализируя процесс моделирования распределения водных ресурсов на МСДР наиболее рациональным и целесообразным является принцип моделирования по контурам регулирования: водопотребитель (мелиорируемое поле) – группа водопотребителей – участок системы, включающие несколько водопотребителей – и конечный контур – это «Система».

Задачей моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР принято определение распределения воды из водисточника, являющегося и приемником дренажного стока, по нескольким группам регулирования «участок системы», представленных каждая из нескольких контуров «группы водопотребителей».

Разработанный алгоритм моделирования диспетчерского графика водораспределения в контуре регулирования «Система» на МСДР состоит из трех основных модулей: подготовка к моделированию, само моделирование распределения и соответственно результаты

моделирования. При этом модуль «моделирование распределения» состоит из «расчета режима работы вододелительных узлов» и «реализации водораспределения».

Первый модуль включает определение основных характеристик и лимитов на водопользование МСДР и сбор заявок водопотребителей. Блок второго модуля «расчет режима работы вододелительных узлов» включает в себя основные расчеты показателей водораспределения, такие как водопотребление водопотребителей *i*-го узла, водопотребление нижележащего *i* + 1 узла и общее водопотребление узла. Блок второго модуля «реализация водораспределения» включает в себя расчет расхода на головном сооружении, при этом сравнивая с пропускными способностями сети и установленными лимитами с возможностью корректировки режима водоподдачи при необходимости. Третий модуль «результаты моделирования» содержит окончательные результаты расчета показателей регулирования и определения эксплуатационных мероприятий по обеспечению регулирования всем контуром регулирования «Система» на МСДР.

Заключение. Предложенная система моделирования режимов распределения водных ресурсов на МСДР в контуре «Система» с разработанным алгоритмом позволяет проводить динамическое управление подачей воды из регулирующего резервуара. Это позволяет эффективно адаптироваться к быстро меняющимся потребностям в воде в контурах «Водопотребитель»,

«Группа водопотребителей» и «Участок системы» минимизируя потери воды и оптимизируя ее использование в системах мелиоративного осушения и орошения (МСДР). Предложенный алгоритм может быть использован как основа для создания программного обеспечения, которое станет важным инструментом при эксплуатации современных мелиоративных систем, а также дальнейшего создания программного комплекса информационно-технологической поддержки моделирования режимов регулирования водных ресурсов на МСДР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев А.А., Иваненко Ю.Г., Зарубин В.В. Управление водораспределением на магистральных каналах оросительных систем в современных условиях. Новочеркасск: Лик, 2024. 180 с. ISBN 978-5-907708-63-1. EDN СТТФТТ.

2. Информационные технологии планирования водопользования в орошаемых хозяйствах / В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко, А.В. Польский, С.В. Тихий // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы V Международной научно-практ. интернет-конф. Новочеркасск, 22–24 апреля 2024 г. Новочеркасск: Лик, 2024. С. 89–94. EDN JNHZQB.

3. Злодеев Ю.Г., Ялалова Г.Х. Опытная эксплуатация цифровой технологии поддержки управления водораспределением на орошении // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4(72). С. 12–19. EDN: YPEQXZ.

4. Моделирование водного режима почв на полях мелиоративных систем двойного регулирования / В.Н. Щедрин, В.И. Коржов, А.Л. Кожанов, В.Б. Черемисова // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 1. С. 1–17. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1257-field12.pdf. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17. EDN: GWLIDT.

5. Коржов В.И., Белоусов А.А. Средства имитационного моделирования режимов водозабора и водораспределения на оросительной системе при использовании схемы регулирования по верхнему бьефу // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 132–138. EDN: LYILQZ.

6. Мобильные средства поддержки управления водораспределением для условий реальной эксплуатации оросительной системы / В.И. Коржов, О.В. Сорокина, Г.О. Матвиенко, И.В. Коржов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 4(32). С. 38–59. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec952-field12.pdf. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-38-59. EDN: YOZHON.

7. Вариант имитационного моделирования водораспределения по контурам регулирования / В.И. Коржов, О.В. Сорокина, Т.В. Коржова, Г.О. Матвиенко // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель юга России: материалы Всерос. научно-практ. конф. (Шумаковские чтения) НИМИ имени А.К. Кортунова. Новочеркасск. 2017. Вып. 15. Ч. I. С. 85–92.

8. Методические положения по обоснованию количественных характеристик элементов водного баланса при регулировании режимов влажности почвы на осушительно-увлажнительных системах / С.А. Меньшикова, В.П. Максименко, А.В. Евграфов, Т.Л. Волчкова // Сбор. науч. трудов: Основные результаты научных исследований института за 2018 г. М.: 2019. С. 215–221. DOI: 10.37738/VNIIGiM.2020.23.79.017.

9. Юрченко И.Ф., Трунин В.В. Методология и компьютерная технология поддержки решений при оперативном управлении водораспределением на межхозяйственных оросительных системах // Мелиорация и водное хозяйство. 2012. № 2. С. 6–10. EDN: OXGZNN.

10. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies / C.V. Palau, J. Arviza, I. Balbastre, J. Manzan // SCIENTIA AGRICOLA. 2020. Vol. 77. № 3. 8 p. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184. EDN: OALQEG.

11. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain / F. Carrión, J. Montero, J.M. Tarjuelo, M.A. Moren // Water Resources Management. 2014. № 14. Vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>. EDN: ALAJIE.

12. Особенности моделирования распределения водных ресурсов на системах двойного регулирования водного режима почв / В.Н. Щедрин, А.Л. Кожанов, В.И. Коржов, И.В. Коржов // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 3. С. 31–35. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-38-43. EDN: YKAXRS.

13. Кожанов А.Л. Моделирование режимов распределения водных ресурсов мелиоративных систем двойного регулирова-

ния // Мелиорация и водное хозяйство. 2024. № 3. С. 28–36. DOI 10.32962/0235-2524-2024-3-28-36. EDN EBJDXQ.

14. Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов // International agricultural journal. 2022. № 5. С. 474–491. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_5_31. EDN: MQNTRQ.

15. Кожанов А.Л. Обзор осушительно-увлажнительных систем с максимальным использованием возобновляемых природных ресурсов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2(38). С. 105–123. DOI 10.31774/2222-1816-2020-2-105-123. EDN VJNPAQ.

16. Кожанов А.Л. Моделирование режимов распределения водных ресурсов мелиоративных систем двойного регулирования в контуре «группа водопотребителей» // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 3. С. 31–35. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-3-31-36. EDN: YKAXRS.

17. Кисаров О.П., Поворов В.А., Кангуров А.А. Диспетчерское регулирование водораспределения по расчетному приращению объемов // Вестник сельскохозяйственной науки. 1986. Вып. 2. С. 131–134.

REFERENCES

1. Tkachev A.A., Ivanenko Yu.G., Zarubin V.V. Water distribution management on main channels of irrigation systems in modern conditions. Novocherkassk: Lik, 2024. 180 p. ISBN 978-5-907708-63-1. EDN СТТФТТ.

2. Olgarenko V.I., Olgarenko I.V., Polsky A.V., Tikhij S.V. Information technologies for planning water use in irrigated farms // Irrigation as a driver of agricultural modernization in the context of climate change: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Internet conference. Novocherkassk, April 22–24, 2024. Novocherkassk: Lik, 2024. Pp. 89–94. EDN JNHZQB.

3. Villaine Yu.G., Yalalova G.H. Pilot operation of digital technology for supporting water distribution management in irrigation // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2018. № 4(72). Pp. 12–19. EDN: YPEQXZ.

4. Shchedrin V.N., Korzhov V.I., Kozhanov A.L., Cheremisova V.B. Modeling the water regime of soils in the fields of reclamation systems of dual regulation // Land reclamation and hydraulic engineering. 2022. Vol. 12. № 1. Pp. 1–17. [Electronic resource]. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1257-field12.pdf. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-1-17. EDN: GWLIDT.

5. Korzhov V.I., Belousov A.A. Means of simulation of water intake and water distribution regimes in an irrigation system using an upstream control scheme // Ways to increase the efficiency of irrigated agriculture. 2019. № 1(73). Pp. 132–138. EDN: LYILQZ.

6. Korzhov V.I., Sorokina O.V., Matvienko G.O., Korzhov I.V. Mobile water distribution management support tools for the conditions of real operation of the irrigation system // Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [Electronic resource]. 2018. № 4(32). Pp. 38–59. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec952-field12.pdf. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-38-59. EDN: YOZHON.

7. Korzhov V.I., Sorokina O.V., Korzhova T.V., Matvienko G.O. A variant of simulation modeling of water distribution by control contours // Land reclamation and water management. Ways to increase the efficiency and environmental safety of land reclamation in the South of Russia. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Shumakov readings) named after A.K. Kortunov. Novocherkassk, 2017. Issue 15. Part I. Pp. 85–92.

8. Menshikova S.A., Maksimenko V.P., Evgrafov A.V., Volchkova T.L. Methodological provisions on substantiating the quantitative characteristics of water balance elements in regulating soil moisture regimes in drainage and humidification systems // Collection of scientific papers: The main results of scientific research of the Institute for 2018. 2019. Pp. 215–221. DOI: 10.37738/VNIIGiM.2020.23.79.017.

9. Yurchenko I.F., Trunin V.V. Methodology and computer technology for decision support in the operational management of water distribution in inter-household irrigation systems // Land reclamation and water management. 2012. № 2. Pp. 6–10. EDN: OXGZNN.

10. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies / C.V. Palau, J. Arviza, I. Balbastre, J. Manzan // SCIENTIA AGRICOLA. 2020. Vol. 77. № 3. 8 p. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184. EDN: OALQEG.

11. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain / F. Carrión, J. Montero, J.M. Tarjuelo, M.A. Moren // Water Resources Management. 2014. № 14. Vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>. EDN: ALAJIE.

12. Shchedrin V.N., Kozhanov A.L., Korzhov V.I., Korzhov I.V. Features of modeling the distribution of water resources on systems of dual regulation of the water regime of soils // Melioration and water management. 2022. № 3. Pp. 31–35. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-38-43. EDN: YKAXRS.