

В. Н. Щедрин, А. Л. Кожанов, В. И. Коржов, И. В. Коржов

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА СИСТЕМАХ ДВОЙНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВ

Введение.

В наше время двадцать первого века стабильно возрастает применение различных геоинформационных систем, в связи с чем возрастает и потребность в моделировании различных процессов в мелиорации. К таким процессам можно отнести создание имитационных моделей водохозяйственных задач при поиске перспективных участков орошения [1], задач распределения водных ресурсов на оросительных, осушительных, осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных системах и другие [2].

С развитием интернета многие работы невозможно осуществлять без его использования, так как информационные технологии, основанные на интернете, открывают перед будущими поколениями возможности беспрепятственного распространения разнообразных сведений и материалов. Постоянно увеличивается использование различных гаджетов, информационных систем и прочего в геометрической прогрессии. Для обеспечения наивысших показателей нужны отдельные новшества, в частности внедрение различных информационных технологий, например, при ведении государственного водного реестра и мониторинга водных объектов мелиорации [3].

Также в век компьютерных технологий уменьшение трудоемкости различных расчетов при проектировании и эксплуатации различных мелиоративных систем и сооружений может достигаться путем автоматизации данных расчетов [4], разработки программ для ЭВМ, которые востребованы в мелиоративной отрасли и разрабатываются как для

развития и расширения сложных задач, например, такие программы как IRRICAD [5], PivotMapper, IrriMaker [6], так и для примитивных программ проектирования решающих небольшие узкие задачи [7, 8].

В свою очередь водные ресурсы Российской Федерации с каждым годом уменьшаются, что говорит о необходимости рационального использования их во всех отраслях, а в частности и в мелиоративном комплексе [9]. Автоматизация определения расчетных значений расходов, объемов, оросительных норм, сроков и других показателей мелиоративных систем, в частности систем двойного регулирования водного режима почв (СДР), позволит повысить точность и ускорить процесс определения данных показателей, что в свою очередь позволит рационально использовать водные ресурсы [9–13].

Исходя из этого, целью настоящих исследований является разработка методики моделирования для решения проблем, связанных с разработкой имитационных моделей и средств информационно-технологического обеспечения задач распределения водных ресурсов на осушительных системах двойного регулирования водного режима почв на мелиорируемых полях сельскохозяйственных культур в различных областях и регионах РФ.

Материалы и методы.

Методологическую и информационную основу работ, связанных с разработкой методики моделирования для решения проблем, связанных с разработкой имитационных моделей и средств информационно-технологического обеспечения задач распределения водных ресурсов составили опыт создания и эксплуатации существующих средств информационно-технологической поддержки задач проектирования и эксплуатации осушительно-увлажнительных систем, положения нормативно-технического документа [14], а также конструктивные особенности осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем.

Результаты и обсуждение.

Проведенный анализ существующих и вновь предлагаемых конструктивных решений осушительно-увлажнительных и осушительно-оросительных систем, а также способов и средств распределения на них водных ресурсов, позволяет выделить следующие их особенности:

- уникальность конфигураций каждой конкретной системы;
- большая разветвленность распределительной сети внутри системы;
- большое количество и пространственная разобщенность входящих в состав элементов;
- многообразие форм связи между элементами осушительных СДР;
- сложность происходящих внутри систем процессов;
- в качестве основных потребителей водных ресурсов выступают либо распределительные каналы более низкого уровня (открытые или закрытые), либо различного рода регулирующие емкости, либо непосредственно водопользователи;
- основными источниками возмущения на осушительных СДР являются расходы, забираемые либо из бьефов открытых каналов, либо из закрытых трубопроводов, либо из регулирующих емкостей, либо в виде используемых для регулирования водного режима грунтовых вод;
- контур регулирования большинства схем регулирования включает в себя каскад последовательно соединенных участков осушительных СДР, обладающих динамическими свойствами;
- большая инерционность происходящих на системе гидравлических процессов, обуславливающая наличие длительного времени перехода системы из исходного состояния в требуемое;
- наличие достаточно больших времен транспортного запаздывания добегания расходов между отдельными участками осушительных СДР;
- отсутствие предварительных данных о предстоящих изменениях режимов использования воды потребителями, не позволяющие

производить превентивные управляющие воздействия на всей осушительной СДР;

- отсутствие контроля за динамикой процессов движения воды в каналах и других элементах осушительных СДР, учет которых мог бы дать возможность осуществить априорную подготовку системы и обеспечить, тем самым, повышение качества регулирования;

- между моментом изменения режима работы потребителей в каналах более низкой ступени и началом действия этого возмущения в исходном контуре регулирования существует интервал времени, обусловленный динамическими свойствами данных каналов;

- наличие ситуаций, когда из-за динамических свойств системы, отсутствует возможность изменять выходные переменные с помощью управляющих воздействий быстрее, чем они изменяются под действием возмущающих;

- большая зависимость управляемых процессов от внешних факторов (природно-климатических, территориальных и т. п.);

- проблемы с обеспечением энергией удаленных точек контроля и управления СДР;

- необходимость защиты объектов от несанкционированного доступа.

Все это позволяет отнести осушительные СДР к категории сложных технических систем и использовать системный подход, применяемый в теории сложных систем [15, 16].

Применительно к проблеме управления водными ресурсами на СДР, основные этапы этого подхода укрупненно можно представить в виде следующей последовательности действий [17]:

- выделение СДР, для которой разрабатывается система регулирования водных ресурсов, из более общей системы (например, водохозяйственной системы бассейна реки или региона);

- описание структуры, выделенной СДР;
- выделение подсистем в структуре, выделенной СДР;
- анализ состава и классификация задач в подсистемах;
- построение информационной модели системы;
- построение комплекса моделей;
- построение процедур поиска решений.

Для разработки имитационных моделей и средств информационно-технологического обеспечения задач распределения водных ресурсов на СДР, предлагается использовать методику поконтурного моделирования.

Основная идея предлагаемой методики заключается в том, что в структуре водораспределительной сети определяются типичные (характерные) контуры. Контуры выбираются по принципу, позволяющему проводить последовательный расчет параметров водораспределения, применять средства расчета и типовые моделирующие алгоритмы, которые возможно оперативно настроить на параметры любого из выбранных контуров.

Далее рассмотрим принцип предложенной методики применительно к осушительным системам двойного регулирования водного режима почв.

Предполагаемая структура, принимаемого за основу типового контура регулирования водораспределения на осушительных СДР приведена на рисунке 1.

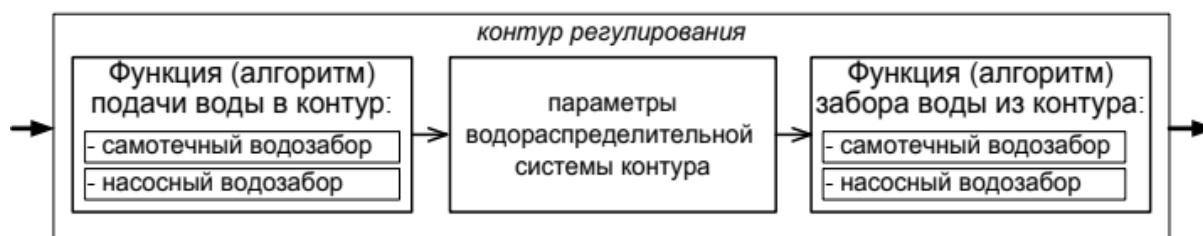


Рисунок 1 – Структура типового контура регулирования водораспределения [18]

Предложенная структура содержит:

- описание алгоритмов, либо функций направления оросительной воды в контур регулирования самотечным водоподающим гидротехническим сооружением или насосной станцией в зависимости от условий рельефа местности,

- показания текущего, максимального и минимального объема заполнения мелиоративных каналов выбранного контура регулирования (параметры водораспределительной сети),

- параметры водораспределительной сети этого контура (текущее, минимальное, максимальное заполнение каналов);

- описание алгоритмов, либо функций забора воды из контура регулирования водопотребителями.

В случае регулирования водораспределения на осушительных СДР, сперва необходимо проводить описание функций или алгоритмов забора (отвода) воды с осушаемой территории, параметров водораспределительной сети, и далее описание алгоритмов, либо функций направления водных ресурсов в контур регулирования.

Для моделирования процессов водораспределения в типовом контуре регулирования применительно к осушительным СДР, необходимо использовать компьютерную программу моделирования [18], в которой возможна реализация принятого способа регулирования и вероятность обеспечения ее легкой адаптации на определенные условия применения эксплуатирующими организациями осушительных СДР.

Далее определяются типичные начальные контуры регулирования, которые гидравлически объединены между собой в единую сеть. Пример выделения начальных контуров приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Выделение начальных контуров регулирования в осушительных СДР

Затем в контуре регулирования 1 необходимо провести моделирование процессов регулирования водораспределения, для чего необходимо применить универсальную компьютерную программу моделирования, которую необходимо настроить на первичные (исходные) параметры данного контура, такие как, режимы забора (отвода) воды из контура, а также данные о регулирующих емкостях в контуре регулирования. Вести моделирование необходимо согласованно с эксплуатационно-техническими показателями средств подачи (отвода) воды в выбранный контур путем варьирования режимов подачи (отвода) воды в контур регулирования. Итогом проведенного моделирования является алгоритм (или функция) отвода (подачи) дренажной (оросительной) воды в контур регулирования. Данная функция представляется для дальнейшего моделирования режимов водораспределения в виде алгоритма (или функции) забора водных ресурсов в контуре 2.

В след за этим, в контуре регулирования 2, проводится имитационное моделирование процессов регулирования водораспределения с использованием универсальной типовой программы моделирования та же, а лучше другая, находящаяся в отдельной закладке (файле). Однако при этом данную программу необходимо настроить на исходные данные контура регулирования 2. Исходными данными могут быть как алгоритм (или функция) забора воды из контура 2, равная

функции подачи (отвода) воды в контур регулирования 1, а также необходима оперативная информация (данные) о регулирующих емкостях всего контура регулирования 2. Вести моделирование необходимо согласованно с эксплуатационно-техническими показателями средств подачи (отвода) воды в выбранный контур путем варьирования режимов подачи (отвода) воды в контур регулирования 2. Итогом данного моделирования является алгоритм распределения водных ресурсов в контуре регулирования (системе).

При наличии дополнительных контуров регулирования (третьего, четвертого и т. д.) моделирование водораспределения проводится аналогичным образом.

Полученные по предложенной методике моделирования режимы управления распределением водных ресурсов можно применять службой эксплуатации осушительной СДР в качестве вариаций решений при управлении работой регулирующих сооружений, насосных станций и других сооружений системы, применяемых для управления водораспределением на осушительной СДР.

Исходя из предложенной выше методики и принятой на большинстве оросительных систем технологии управления водораспределением [6–9], была определена структура построения моделей осушительных СДР, представленная на рисунке 3.

Нижним звеном в данной структуре являются контуры регулирования «Водопотребитель» (представляющие, по сути, в рамках СДР мелиорируемые поля).

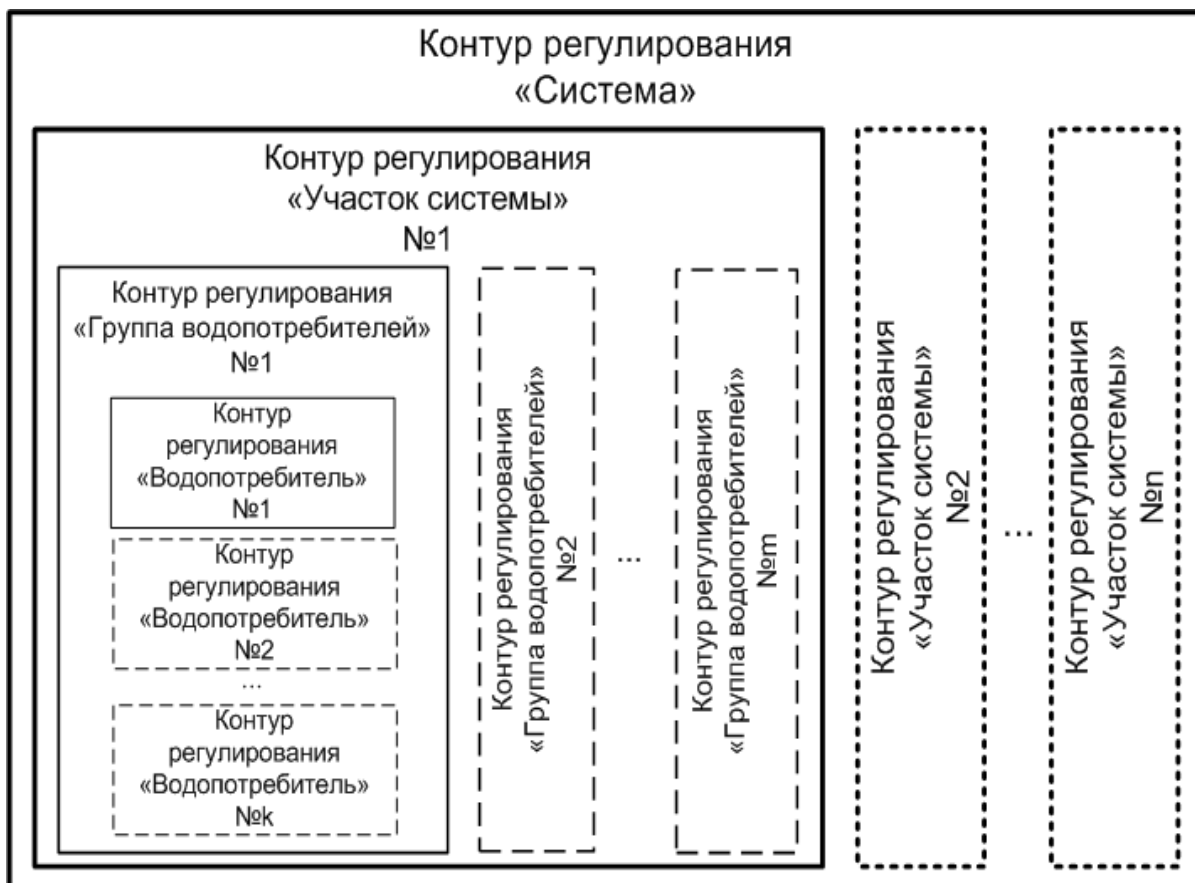


Рисунок 3 – Структура построения моделей регулирования распределения водных ресурсов на СДР

Они, по сути, являются основой всех остальных контуров СДР, поскольку именно здесь реализуется главная миссия СДР, обеспечивающая ее эффективную работу – обеспечение потребителей (растений) водными ресурсами в нужное время и необходимом количестве.

Контур регулирования «Группа водопотребителей» могут включать в себя один или несколько контуров «Потребитель», объединенных едиными для всех источниками водоподдачи, регулирования и т.п. Типичным представителем такого контура в рамках СДР может служить севооборотный участок, использующий единый для всех источник водоподдачи, водопроводящую и дренажную системы и т.п.

Контур регулирования «Участок системы», в свою очередь, могут включать в себя несколько контуров «Группа водопотребителей» и/или «Водопотребитель», объединенных по тем же признакам: источнику

водоподачи, распределения, регулирования, отведения воды. Примером таких контуров могут быть магистральные распределители или каналы более низкого порядка, регулирующие подачу воды к разным участкам СДР.

И, наконец, контур регулирования «Система» объединяет в себе все контуры регулирования распределения водных ресурсов на СДР. Очевидно, что здесь должны решаться вопросы, обеспечивающие оптимальную работу всей СДР в целом. При этом должны учитываться не только ее технические ресурсы и возможности, но весь комплекс других показателей и ограничений: эксплуатационных, экономических, экологических и т. п.

Выводы.

Для решения проблем, связанных с разработкой имитационных моделей и средств информационно-технологического обеспечения задач распределения водных ресурсов на осушительных системах двойного регулирования водного режима почв на мелиорируемых полях сельскохозяйственных культур в различных областях и регионах РФ необходима разработка методики моделирования процессов распределения водных ресурсов.

Предложенная методика позволяет выбрать типовой контур регулирования, структура которого включает в себя описание алгоритма забора (отвода) воды, параметры водораспределительной сети и описание алгоритма подачи воды.

Для моделирования процессов водораспределения в принятом типовом контуре выбираются характерные контуры регулирования водораспределения и далее уже проводится имитационное моделирование процессов регулирования распределения водных ресурсов по всем контурам регулирования.

Заключение.

Проведенное имитационное моделирование процессов регулирования водных ресурсов по всей «системе» могут использоваться в качестве вариантов решений, используемых службой эксплуатации осушительной СДР в качестве вариаций решений при управлении работой регулирующих сооружений, насосных станций и других сооружений системы, применяемых для управления водораспределением на осушительной системе двойного регулирования водного режима почв.

Список использованных источников

1. Кузьмичев А. А., Пономаренко Т. С. Методологический подход к вопросу использования местного стока для вовлечения в сельскохозяйственный оборот дополнительных площадей орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4 (72). С. 84–90.
2. Щедрин В. Н., Васильев С. М., Слабунов В. В., Слабунова А. В. Завалин А. А. Подходы к формированию информационной системы «цифровая мелиорация» // Информационные технологии и вычислительные системы. М. 2020. С 53–64.
3. Мартынов Д. В., Рыжаков А. Н., Капустян А. С. Особенности внедрения геоинформационных технологий при ведении государственного водного реестра и мониторинга водных объектов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4 (72). С. 68–74.
4. Гонзалез-Гальего М. Р., Белоусов А. А., Нецепляев Д. А., Коржов В. И. Информационно-технологическая поддержка гидравлических расчетов водозаборных сооружений оросительных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 4 (76). С. 154–160.
5. Lincoln Agritech. What we do? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lincolnagritech.co.nz/about/what-we-do> (дата обращения 02.12.2021).
6. Model Maker Systems. IrrMaker consists of numerous functions... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irrimaker.com/irrigation-software-functions>, 2019.
7. Palau C. V., Arviza J., Balbastre I., Manzano J. DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies // SCIENTIA AGRICOLA. 2020. Vol. 77. № 3. 8 p. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0184.
8. Carrión F., Montero J., Tarjuelo J. M., Moreno M. A. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain // Water Resources Management. 2014. № 14. Vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>, 2019.
9. Коржов В. И., Белоусов А. А., Гонзалез-Гальего М. Р., Нецепляев Д. А. Автоматизация определения расчетных значений расходов на водозаборных и регулирующих сооружениях оросительной системы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 2 (74). С. 93–98.
10. Кожанов А. Л. Моделирование процесса компоновки функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 4 (72). С. 24–31.
11. Васильев С. М. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы

XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Барнаул, 27–28 февр. 2017 г. – Новосибирск: СФНЦ РАН, 2017. – Т. 2. – С. 167–169.

12. Кожанов А. Л. Конструктивные схемы энергосберегающих осушительных систем двойного регулирования водного режима // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1 (73). С. 27–34.

13. Щедрин В. Н., Коржов В. И., Белоусов А. А. Подходы к формированию принципов создания современных мелиоративных систем и объектов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2020. № 3(39). С. 170–188. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1145-field12.pdf (дата обращения 10.12.2021).

14. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология (ИТ). Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Введ. 1992-01-01. – М.: Стандартинформ, 2009 г. – 6 с.

15. Кудин М. Ф. Системный подход к повышению эффективности земельно-водных ресурсов // Эффективность мелиорации и водного хозяйства ВАСХНИЛ. М.: Агропромиздат, 1986. С. 12–15.

16. Рекс Л. М. Системные исследования мелиоративных процессов и систем // М.: «Аслан», 1995. 192 с.

17. Кисаров О. П., Косолапов А. Е. Системное управление в эксплуатации оросительных систем: учеб. пособие. Новочеркасск: НИМИ, 1980. 90 с.

18. Коржов В. И., Сорокина О. В., Коржова Т. В., Матвиенко Г. О. Вариант имитационного моделирования водораспределения по контурам регулирования // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: Материалы науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), 07-24 ноября 2017 г., Вып. 15. Ч. 1 / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2017. С.85–93.

1. Kuz'michev A. A., Ponomarenko T. S. Metodologicheskij podhod k voprosu is-pol'zovaniya mestnogo stoka dlya вовлечения в sel'skohozyajstvennyj оборот dopolnitel'nyh ploshchadej oроsheniya // Puti povыsheniya effektivnosti oроshaemogo zemlede-liya. 2018. № 4 (72). S. 84–90.

2. SHCHedrin V. N., Vasil'ev S. M., Slabunov V. V., Slabunova A. V. Zavalin A. A. Podhody k formirovaniyu informacionnoj sistemy «cifrovaya melioraciya» // Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy. M. 2020. S 53–64.

3. Martynov D. V., Ryzhakov A. N., Kapustyan A. S. Osobennosti vnedreniya geo-informacionnyh tekhnologij pri vedenii gosudarstvennogo vodnogo reestra i moni-toringa vodnyh ob"ektov // // Puti povыsheniya effektivnosti oроshaemogo zemlede-liya. 2018. № 4 (72). S. 68–74.

4. Gonzalez-Gal'ego M. R., Belousov A. A., Neceplyaev D. A., Korzhov V. I. In-formacionno-tekhnologicheskaya podderzhka gidravlicheskih raschetov vodozabornyh so-oruzhenij orositel'nyh sistem // Puti povыsheniya effektivnosti oроshaemogo zemle-deliya. 2019. № 4 (76). S. 154–160.

5. Lincoln Agritech. What we do? [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.lincolnagritech.co.nz/about/what-we-do> (data obrashcheniya 02.12.2021).

6. Model Maker Systems. IrrMaker consists of numerous functions... [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.irrimaker.com/irrigation-software-functions>, 2019.

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

8. Carrión F., Montero J., Tarjuelo J. M., Moreno M. A. Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain // Water

Resources Management. 2014. № 14. Vol. 28. P. 5073–5089. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0793-x>, 2019.

9. Korzhov V. I., Belousov A. A., Gonzalez-Gal'ego M. R., Neceplyaev D. A. Avtomatizatsiya opredeleniya raschetnykh znachenij raskhodov na vodozabornyyh i reguliruyushchih sooruzheniyah orositel'noj sistemy // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2019. № 2 (74). S. 93–98.

10. Kozhanov A. L. Modelirovanie processa komponovki funkcional'nykh modulej osushitel'noj sistemy dvustoronnego dejstviya // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2018. № 4 (72). S. 24–31.

11. Vasil'ev S. M. Strategicheskie napravleniya razvitiya meliorativnogo sektora v APK // Strategicheskie napravleniya razvitiya APK stran SNG: materialy XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Barnaul, 27–28 febr. 2017 g. – Novosibirsk: SFNC RAN, 2017. – T. 2. – S. 167–169.

12. Kozhanov A. L. Konstruktivnye skhemy energosberegayushchih osushitel'nykh sistem dvojnogo regulirovaniya vodnogo rezhima // Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya. 2019. № 1 (73). S. 27–34.

13. SHCHedrin V. N., Korzhov V. I., Belousov A. A. Podhody k formirovaniyu principov sozdaniya sovremennykh meliorativnykh sistem i ob"ektov // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii [Elektronnyj resurs]. 2020. № 3(39). S. 170–188. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1145-field12.pdf (data obrashcheniya 10.12.2021).

14. GOST 34.601-90. Informacionnaya tekhnologiya (IT). Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniya. – Vved. 1992-01-01. – M.: Standartinform, 2009 g. – 6 s.

15. Kudin M. F. Sistemnyj podhod k povysheniyu effektivnosti zemel'no-vodnykh resursov // Effektivnost' melioracii i vodnogo hozyajstva VASKHNIL. M.: Agropromizdat, 1986. S. 12–15.

16. Reks L. M. Sistemnye issledovaniya meliorativnykh processov i sistem // M.: «Aslan», 1995. 192 s.

17. Kisarov O. P., Kosolapov A. E. Sistemnoe upravlenie v ekspluatatsii oro-sitel'nykh sistem: ucheb. posobie. Novochoerkassk: NIMI, 1980. 90 s.

18. Korzhov V. I., Sorokina O. V., Korzhova T. V., Matvienko G. O. Variant imitacionnogo modelirovaniya vodoraspredeleniya po konturam regulirovaniya // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. Puti povysheniya effektivnosti i ekologicheskoy bez-opasnosti melioracij zemel' YUga Rossii: Materialy nauch.-prakt. konf. (SHumakovskie chteniya), 07-24 noyabrya 2017 g., Vyp. 15. CH. 1 / Novochoerk. inzh.-melior. in-t Don-skoj GAU. Novochoerkassk: Lik, 2017. S.85–93.