

Научная статья

Original article

УДК 631

DOI 10.55186/25876740\_2022\_6\_5\_31

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО  
ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ  
РЕСУРСОВ**

**MODELING AND OPTIMIZATION OF SYSTEM WATER DISTRIBUTION  
UNDER CONDITIONS OF WATER RESOURCES DEFICIENCY**



**Рогачев Дмитрий Алексеевич**, ктн, соискатель (105120, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая 10 с .2.), тел. 8(916) 026-39-71: [rogachev.soft@gmail.com](mailto:rogachev.soft@gmail.com)

**Юрченко Ирина Федоровна**, главный научный сотрудник отдела «Природоохранных и информационных технологий» ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова (РФ, 127550 г. Москва, ул. Большая Академическая , дом 44, строение 2), дтн, доцент. Тел. +7 916 328-85-81, email: [Irina.507@mail.ru](mailto:Irina.507@mail.ru)

**Rogachev Dmitry A.** , Candidate of Technical Sciences, individual entrepreneur (105120 Russia, Moscow, Nizhnyaya Syromyatnicheskaya str . 10 p . 2), tel. 8(916) 026-39-71, [rogachev.soft@gmail.com](mailto:rogachev.soft@gmail.com)

**Yurchenko Irina Fedorovna** , Glavnyi nauchnyi sotrudnik otdela «Prirodookhrannykh i informatsionnykh tekhnologii» Vserossiiskogo nauchno issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki i melioratsii imeni A. N. Kostyakova (RF, 127550 g. Moskva, ul. Bol'shaya Akademicheskaya , dom 44, stroenie 2), doktor tekhnicheskikh nauk, dotsent, ORCID: 0000-0003-2390-1736. Tel. +7 916 328-85-81, email: [Irina.507@mail.ru](mailto:Irina.507@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются научно-методические подходы к моделированию и оптимизации водораспределения на оросительных системах (ОС) мелиоративного водохозяйственного комплекса в условиях дефицита водоподачи. Объектом исследований является теория и практика водопользования мелиоративного водохозяйственного комплекса. Предметом - методы оптимизации водораспределения на оросительной системе в условиях дефицита поливной воды. В качестве материала работы использованы документы действующей нормативно - методической базы, регулирующей процедуры системного водопользования сферы мелиорации, публикации отечественных и зарубежных авторов в открытом доступе, сведения о действующих решениях по разработке, внедрению и эксплуатации информационно - коммуникационных технологий в сельском хозяйстве. Базовыми методами исследований служили: системный подход, оптимизационное моделирование, сравнительный и логический анализ. Цель работы - формирование эффективной системы алгоритмов, моделей, процедур и т. п. решений для разработки цифровых систем планирования эффективного водораспределения на оросительных системах. Особенностью предлагаемых подходов является возможность принятия оптимального решения на основе формируемого множества вариантов водоподачи, учитывающих интересы всех участников процесса водопользования. Обоснована иерархическая структура типовой оросительной системы. Подробно рассмотрены методические подходы к обоснованию групп критериев оптимизации для математического моделирования структуры водораспределения. Показано, что для обоснования методических подходов к оптимизации размера поливных площадей в пределах ОС необходимо учитывать планируемые объемы производства сельскохозяйственной продукции с учетом многолетнего распределения количества воды подаваемой на орошение. Систематизированы требования, цели и критерии выбора альтернатив планирования водораспределения. Установлено, что при решении задачи оптимизации системного водораспределения в условиях дефицита водных

ресурсов, необходимо учитывать экологические, экономические и социальные группы критериев.

**Abstract.** The article discusses scientific and methodological approaches to modeling and optimization of water distribution on irrigation systems (OS) of the reclamation water management complex in conditions of water supply shortage. The object of research is the theory and practice of water use of the reclamation water management complex. The subject is methods of optimization of water distribution on the irrigation system in conditions of irrigation water shortage. As the material of the work, the documents of the current regulatory and methodological framework regulating the procedures of systemic water use in the field of land reclamation, publications of domestic and foreign authors in open access, information on current solutions for the development, implementation and operation of information and communication technologies in agriculture were used. The basic research methods were: a systematic approach, optimization modeling, comparative and logical analysis. The purpose of the work is to form an effective system of algorithms, models, procedures, etc. solutions for the development of digital planning systems for efficient water distribution on irrigation systems. A feature of the proposed approaches is the possibility of making an optimal decision based on the formed set of water supply options that take into account the interests of all participants in the water use process. The hierarchical structure of a typical irrigation system is substantiated. Methodological approaches to substantiating groups of optimization criteria for mathematical modeling of the water distribution structure are considered in detail. It is shown that in order to substantiate methodological approaches to optimizing the size of irrigation areas within the OS, it is necessary to take into account the planned production volumes of agricultural products, taking into account the long-term distribution of the amount of water supplied for irrigation. The requirements, goals and criteria for choosing alternatives for water distribution planning are systematized. It is established that when solving the problem of optimizing system water distribution in conditions of water scarcity, it is necessary to take into account environmental, economic and social groups of criteria.

**Ключевые слова:** *мелиорация, водораспределение, оптимизация, моделирование, прогнозирование, дефицит, критерии.*

**Keywords:** *reclamation, seaweed distribution, optimization modeling, forecasting, scarcity, criteria.*

**Введение.** Решающим условием успешного управления мелиорируемым агроландшафтом и достижения проектных показателей продуктивности агроценозов является рациональная организация системы водораспределения, что особенно проявляется в условиях дефицита водных ресурсов.

Важнейшая задача распределения водных ресурсов заключается в обеспечении заявленной потребности в поливной воде в необходимые сроки, увязанные с потребностью сельскохозяйственного производства [1,-2].

Достаточно часто, объемы водных ресурсов, необходимых пользователям оросительных систем, превышают выделяемые из водоисточника. В настоящее время отсутствует теоретически обоснованная и практически успешная методология системного водораспределения в условиях дефицита водозабора из источника орошения. Практикующиеся подходы порождают нарушения базовых принципов планового водопользования: равноправности водопотребителей и стабильности водоподачи, обуславливающие конфликт при распределении воды между сельхозтоваропроизводителями. Ситуации требует эффективного решения задач водораспределения и рационального управления ограниченными ресурсами, основанного на достижении устойчивого компромисса между наличием ресурсов и спросом. Поиск компромисса включает два главных процесса – мобилизацию ресурсов и оптимизацию их распределения [3].

Оптимизация распределения наличных водных ресурсов является комплексной и сложной проблемой. Одна из причин этого – неравномерное пространственное распределение потребителей и наличных ресурсов. Вторая – многообразный характер потребности объектов, которые должны удовлетворять

противоречивым целям, связанным с экономическими, экологическими и социальными условиями.

Для интерактивной поддержки лица, принимающего решение (ЛПР), при осмысливании и принятии решений, касающихся относительно неструктурной задачи – планирования системного водораспределения, необходима автоматизированная технология, обеспечивающая рациональный подход к распределению ограниченных ресурсов и разработке оптимального плана, обеспечивающего водосбережение и стабилизацию продуктивности агроценозов [4].

Моно-дисциплинарные методы, наиболее ярко представленные в секторе мелиоративной экономики, часто рассматривают экономическую эффективность как единственную цель водораспределения. В то же время, непространственные методы рассматривают конкурирующие интересы заинтересованных сторон, сосредоточенные на объекте в целом, без распределения их по площади оросительной системы.

### **Методы и материалы.**

Принципиальные методологические положения предлагаемого подхода базируются на следующих предпосылках:

- распределение ресурсов по объектам мелиоративной системы требует принятия решений, касающихся различных уровней территориальной иерархии: эксплуатационный участок – хозяйство; межхозяйственная сеть и сооружения на ней – район; система в целом – регион (область);

- на каждом уровне принятия решений могут быть свои локальные цели, связанные с распределением ресурсов. Например, хозяйство может стремиться к максимальной прибыли, в то время как целью региональных служб (район,

область) может быть максимальное улучшение мелиоративной и экологической ситуации в целом на системе и прилегающих к ней землях и т.д.;

- поскольку каждый уровень принятия решения относится к конкретному объекту системы, цели распределены в пространстве.

Эффективное управление водными ресурсами должно принимать во внимание различные цели, включая технико-экономические, экологические и социальные. Следовательно, рациональный подход к распределению ограниченных ресурсов воды\должен учитывать пространственный и многоуровневый аспекты проблемы и предлагать средства для сбалансирования мультидисциплинарных целей.

Обобщенная структура системы автоматизированного управления, включающая, кроме объекта управления (ОУ), и моделирующего наблюдателя/идентификатора представлена на рис. 1 [5].

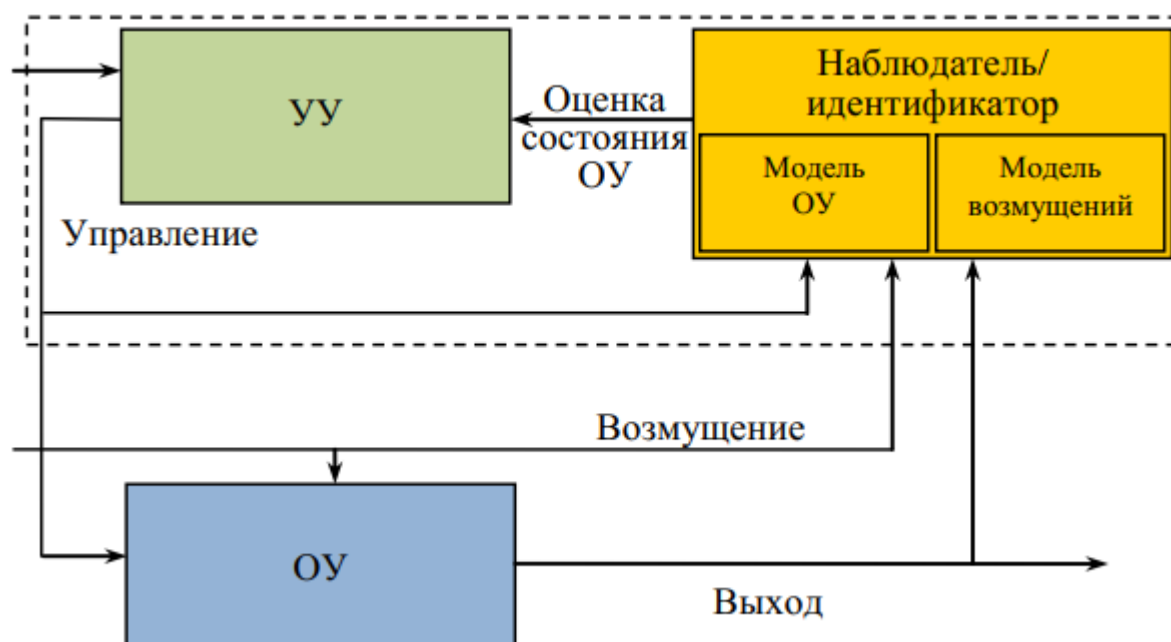


Рисунок 1. – Обобщенная структура системы автоматизированного управления с наблюдателем [5]

Отметим, что большинство методов, используемых в настоящее время для распределения ограниченных водных ресурсов, являются или монодисциплинарными, или непространственными [3, 6]. Кроме того, эти методы отражают точку зрения «центра», выразителями которого являются менеджеры службы эксплуатации региона. Участие специалистов более низких уровней в принятии решения сведено к минимуму.

### **Результаты и обсуждение.**

Предлагаемый подход к решению задачи распределения ресурсов устраняет основные недостатки, упомянутые выше.

Системное водораспределение по объектам предполагает определение доли доступных ресурсов для конкретного объекта. В качестве объекта водораспределения (ОВР) принят фрагмент (сумма фрагментов) водопроводящей сети и (или) сооружений на ней, с площадью мелиорируемых полей, подкомандных этому фрагменту.

Согласно этому подходу, процесс распределения ресурсов непосредственно связан с разделением территории.

Предлагаемое разделение территории мелиоративной системы определяется уровнями принятия решений и в значительной степени привязано к «административно-территориальному» (рис. 2).

Выделены следующие уровни принятия решения по распределению ресурсов.

Первый - общий уровень, представляет систему в целом. Он совпадает с уровнем региона (области) согласно административно-территориальному делению.

Второй - основной уровень – магистральные каналы, главные коллекторы и сооружения на них - совпадает с уровнем района.

Третий уровень – межхозяйственные каналы и коллекторы с сооружениями – соответствует принятию решения на уровне хозяйства.

Следующий уровень – внутрихозяйственная сеть с сооружениями – совпадает с уровнем эксплуатационных участков.

Элементами нижнего уровня принятия решений являются объекты ОВР (точнее площадь и ее распределение по возделываемым культурам, их урожайность). Распределение должно быть выполнено, либо нет, т.к. частичное их выполнение не способствует достижению вышеизложенных целей. В первом случае ОВР включаются в перспективный план распределения, во втором – не будут.

Такое разделение территории предложено, чтобы обеспечить эффективность распределения водных ресурсов. Процесс декомпозиции территории системы (рис. 2) направлен на выявление внутренних связей элементов мелиоративной системы. Он осуществляется сверху вниз.

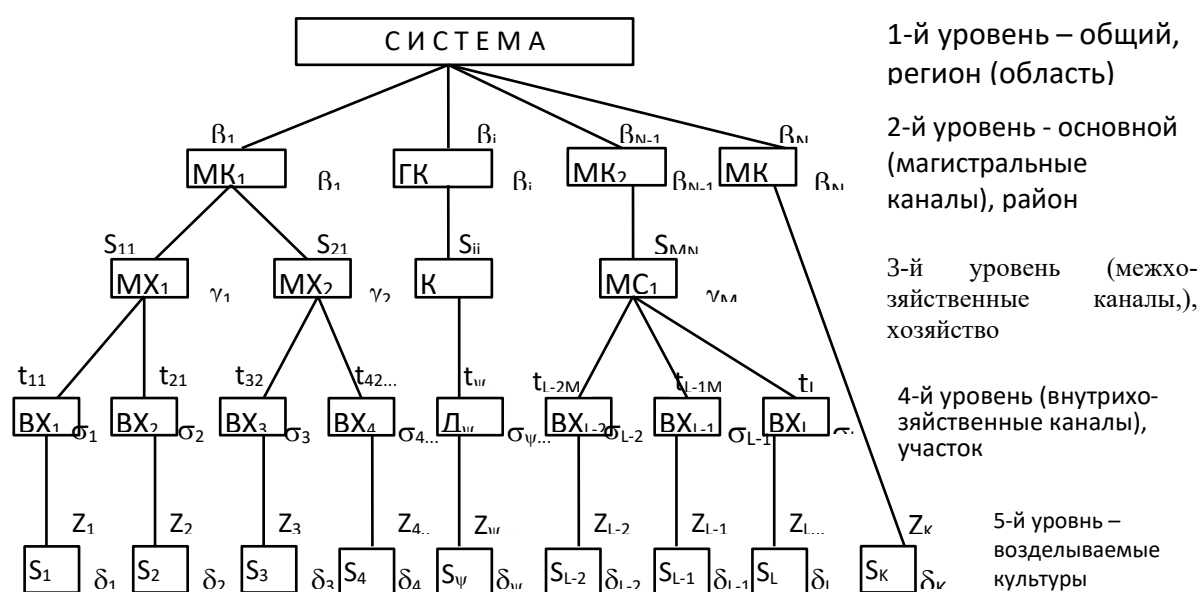


Рисунок 2 - Иерархия уровней принятия решений по планированию водораспределения на гидромелиоративной системе

При этом учитывается связь каждого элемента, представляющего некоторую систему с определенной структурой и потребностью в ресурсах для реализации



цели этого элемента с большей системой, частью которого он является. Так, при выделении элементов межхозяйственной сети, требующей ресурсов, рассматриваются фрагменты магистральной сети, обеспечение водными ресурсами определяет функционирование выделенных элементов и т.д.

Совокупность элементов каждого уровня должна удовлетворять следующим требованиям:

- независимости, т.е. достижение цели одного элемента данного уровня не должно оказывать влияния на достижение целей других элементов этого же уровня;
- непротиворечивости, т.е. реализация одного элемента данного уровня не должна препятствовать реализации других элементов этого уровня;
- полноты, т.е. декомпозиция элементов вышележащего уровня не должна вести к пропуску каких-то элементов, реализация которых способствует достижению общей цели распределения водных ресурсов.

Рассмотрим подробнее обоснование критериев оптимизации при принятии решений о рациональном водораспределении. Эффективное и жизнеспособное решение по водораспределению должно вырабатываться по согласованию с заинтересованными лицами на всех уровнях принятия решений.

Предлагаемый метод основывается на следующем концептуальном представлении распределения критериев, включающем два уровня [4]:

- общий глобальный уровень, соответствующий системе в целом;
- локальный уровень, соответствующий объекту водораспределения (ОВР).

Распределение ресурсов между ОВР, выделенными на территории системы, должно учитывать как общие цели глобального уровня, так и локальные цели уровня ОВР. В этой ситуации принимаются во внимание компромиссы между локальными целями, между общими целями на глобальном уровне и, наконец, между целями локального и глобального уровней.

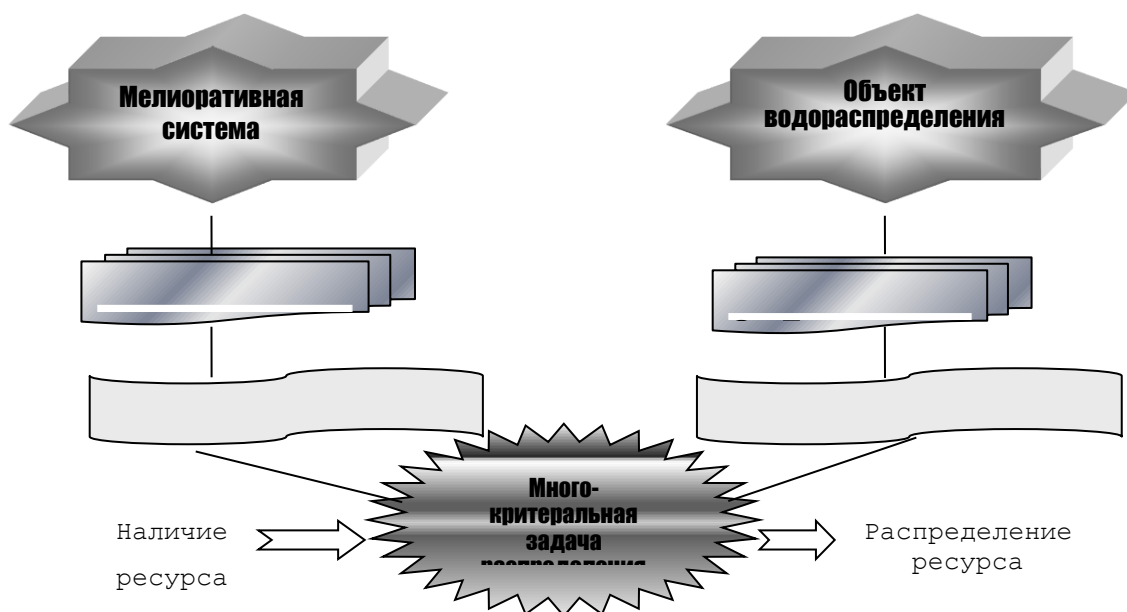


Рисунок 3 Концепция распределения ресурса при многокритериальном подходе

Задача распределения ресурсов заключается в том, чтобы найти вариант распределения, обеспечивающий наиболее удовлетворительный глобальный компромисс между конкурирующими целями. Уровень достижения каждой рассматриваемой цели может оцениваться одним или большим количеством критериев.

Концепция распределения ресурса с учетом многокритериальности задачи приведена на рис. 3. Вариант В распределения поливной воды между ОВР представляет альтернативу распределения ( $V_i$ ). При этом основную проблему составляет процесс сравнения альтернатив, чтобы выбрать наиболее удовлетворительную. Распределение воздействует в целом на систему. Следовательно, альтернативы распределения должны быть сравнены на глобальном уровне (уровне системы).

Это сравнение требует согласования общего и локальных критериев. Пути выполнения такого согласования зависят от разнообразия локальных критериев, выбранных для ОВР. Для рассматриваемого случая, когда локальные критерии всех

ОВР приняты неизменными, долю вклада каждого ОВР в достижение общей цели предлагается определять по весовым коэффициентам относительной важности, представляющим числовую оценку приоритетов объекта.

Для определения весовых коэффициентов может быть использована объективная информация, определяющая пропорциональность: площади орошения, удельному приросту сельскохозяйственной продукции, удельному водопотреблению на единицу продукции и т.д. или субъективная (экспертная). В функцию цели, представленную общим критерием, веса локальных критериев могут включаться как в явном виде (в качестве коэффициентов целевой функции), так и неявно в составе аналитической зависимости [7, 8].

Сравнение альтернатив выполняется по результатам решения оптимизационной задачи, в процессе которого находится компромисс между требованиями критериев общего уровня.

При этом возможны два математических подхода:

- выбор моделей многокритериальной оптимизации, позволяющих явный контроль лицом, принимающим решение, последствий замещений и предпочтений между критериями. Функция цели включает все рассматриваемые критерии;
- в качестве функции цели принимается один из критериев (доминирующий), остальные рассматриваются как ограничения.

Структура целей для выбора альтернативного варианта плана водоподачи гидромелиоративной системы, обусловленная агро- и эколого-технологическими требованиями [9, 10] представлена в табл. 1.

Таблица 1 - Цели и критерии выбора альтернатив планирования водораспределения

| Требования    | Цели                                                           | Критерии (функции цели)                                                                                                       |
|---------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Экологические | Сохранение и расширенное воспроизводство почвенного плодородия | Минимальное отклонение фактической водоподачи и коэффициента использования оросительной воды от условно–нормативных значений. |

|               |                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Экономические | 1. Интенсификация сельскохозяйственного производства<br><br>2. Эффективность использования водных ресурсов | 1. Минимальное отклонение фактической удельной продуктивности агроценозов от планируемых значений<br><br>2. Максимальное значение площадей полива при заданном лимите водоподачи (максимальное значение гектарополивов) |
| Социальные    | Увеличение занятость населения                                                                             | Дополнительная занятость сельского населения                                                                                                                                                                            |

Выбор критериев оценки альтернатив водораспределения осуществлялся с учетом их репрезентативности, релевантности, трудности получения исходных данных для расчета количественных значений, а также иных агрометеорологических соображений [11-14].

Условно-нормативная водоподача-брутто характеризует объем воды, необходимый для обеспечения водопотребности-брутто орошаемых сельскохозяйственных культур, складывающийся в соответствии с прогнозными агрометеорологическими условиями расчетного периода.

Для поливного сезона этот критерий рассчитывается по формуле (1)

$$P_o^n = \frac{E_o^n - X_n}{\eta} \quad (1)$$

где  $E_o^n$  - суммарное испарение;

$X_n$  – осадки за рассматриваемый период;

$\eta$  - проектный (нормативный) КПД оросительной системы.

Отклонение фактической водоподачи от условно-нормативной вычисляется по формуле, %:

$$\Delta P_o = 100 \frac{|P_o - P_o^n|}{P_o^n} \quad (2)$$

Коэффициент полезного использования оросительных вод (КИОВ) определяется с учетом изменения влагозапасов в почве ( $\Delta W$ ). При этом полезно использованной считается вода, обеспечивающая потребность в ней непосредственно сельскохозяйственные культуры, то есть разность между суммарным испарением (нормативным, фактическим) и атмосферными осадками.

Фактические значения КИОВ вычисляются для поливного сезона в целом по зависимости (3):

$$\eta_z = \frac{E_o - X_n}{P_o - \Delta W_o} \quad (3)$$

Условно-нормативная величина коэффициента полезного использования оросительных вод рассчитывается по формуле (4):

$$\eta_z^H = \frac{E_o^H - X_n}{P_o^H} \quad (4)$$

Отклонение (%) фактических значений КОИВ от условно-нормативных вычисляются по формуле:

$$\Delta \eta_z = \frac{\eta_z - \eta_z^H}{\eta_z^H} 100\% \quad (5)$$

Таким образом, обоснован комплексный подход к оптимизации распределения поливных площадей в пределах ОС с учетом задаваемого объема подачи оросительной воды и планируемого объема производства сельскохозяйственной продукции на основе математического компьютерного моделирования и оптимизации процессов водоподачи [15-17].

## **Выводы**

Обоснованы методические подходы к оптимизации планируемого размера поливных площадей в пределах ОС с учетом планируемого объема производства сельскохозяйственной продукции в условиях среднемноголетнего распределения количества воды, фактически подаваемой на орошение возделываемых севооборотов.

Проведенный аналитический обзор публикаций в области многокритериальной оптимизации целевой функции для моделирования системного водораспределения в условиях дефицита ресурсов, позволил систематизировать требования, цели и критерии выбора альтернатив планирования водораспределения

Показано, что при решении задачи оптимизации системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов, необходимо учитывать экологические экономические и социальные группы критериев. При этом экологическим требованиям может являться Минимальное отклонение фактической водоподачи и коэффициента использования оросительной воды от условно–нормативных значений.

## **Литература**

1. Черняев А.А., Заворотин Е.Ф. Факторы устойчивого развития сельских территорий // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2014. № 8. С. 8-10.
2. Юрченко, И. Ф. Методология и компьютерная технология поддержки решений при оперативном управлении водораспределением на межхозяйственных оросительных системах / И. Ф. Юрченко, В. В. Трунин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 6-10. – EDN OXGZNN.
3. Щедрин В.Н., Кожанов А.Л., Коржов В.И., Коржов И.В. особенности моделирования распределения водных ресурсов на системах двойного

регулирования водного режима почв // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 1. С. 38-42.

4. Рогачев Д.А. Программное обеспечение обоснования и оптимизации структуры орошаемых земель с учетом стохастичности // В сб.: Математическая экономика и экономическая информатика. Материалы научных чтений, посвященных 75-летию со дня рождения выдающегося экономиста-математика, доктора экономических наук, профессора Кардаша Виктора Алексеевича. 2011. С. 226-228.

5. Теория управления (дополнительные главы): Учебное пособие / Под ред. Д. А. Новикова. — М.: ЛЕНАНД, 2019. — 552 с.

6. Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования. Научное издан. / Под ред. академика РАСХН Б.М.Кизяева. – М.: ГНУ ВНИИГиМ, 2006.- 586 с.

7. Орлова И.В. Учет геоэкологических ограничений при территориальном планировании оросительных мелиораций (обзор) // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 1 (13). С. 147-157.

8. Математическое моделирование и анализ эколого-экономического регулирования с учетом трансграничного загрязнения окружающей среды: монография / Рогачев А.Ф., Скитер Н.Н., Мелихова Е.В., Плещенко Т.В. Волгоград, Волгоградский ГАУ, 2014. 172 с.

9. Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А., Тимошкин А.Д. Информационно - коммуникационная технология оценки и регулирования энергетического состояния почв // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 6. С. 27.

10. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. - М.: Финансы и статистика, 2002. 368 с.

11. Гулюк Г. Г. Новые проблемы мелиорации 2021-2025 гг. и пути их решения // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 1. С. 2-5.

12. Методологические основы развития специализируемого типа природно-технических систем использования водных ресурсов / Е. А. Семёнова, В.

Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 2 (79). С. 63-73.

13. Лытов М. Н. Биосферно-экологические принципы создания гидромелиоративных систем с функцией компенсации климатических рисков. Известия НВ АУК. 2022. 3(67). 533-542. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-60.

14. Научно-методические подходы к оценке состояния агроландшафтов и принципы освоения выбывших из оборота мелиорированных земель: монография / Шевченко В.А., Бородычев В.В., Бондарева Г.И. и др. Москва, ВНИИГиМ, 2021. 220 с.

15. Popova A.V. Using of natural-mathematical methods in professional activities // International agricultural journal. 2022. No5, 360-369.

16. Melikhova E.V., Rogachev A.F. (2019) Computer simulation and optimization of parameters of configuration of the contour of moistening under drip irrigation of agricultures. Studies in Computational Intelligence. 826. 1193-1201.

17. Bandurin M. A., Yurchenko I. F., Bandurina I. P. Computer Technology to Assess the Capacity Reserve of the Irrigation Facilities of the Agro-Industrial Complex // 2019 International Multi Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. P. 8933970.

### References

1. Chernyaev A.A., Zavorotin E.F. Faktory` ustojchivogo razvitiya sel`-skikh territorij // E`konomika sel`skokhozyajstvenny`kh i pererabaty`vayushhikh predpriyatij. 2014. # 8. S. 8-10.

2. Yurchenko, I. F. Metodologiya i komp`yuternaya tekhnologiya podderzhki reshenij pri operativnom upravlenii vodoraspredeleniem na mezhkhozyajstven-ny`kh orositel`ny`kh sistemakh / I. F. Yurchenko, V. V. Trunin // Melioracziya i vodnoe khozyajstvo. – 2012. – # 2. – S. 6-10. – EDN OXGZNN.



3. Shhedrin V.N., Kozhanov A.L., Korzhov V.I., Korzhov I.V. osobennosti modelirovaniya raspredeleniya vodny`kh resursov na sistemakh dvojnogo regulirovaniya vodnogo rezhima pochv // Melioracziya i vodnoe khozyajstvo. 2022. # 1. S. 38-42.
4. Rogachev D.A. Programmnoe obespechenie obosnovaniya i optimizaczii struktury` oroshaemy`kh zemel` s uchetom stokhastichnosti // V sb.: Matematicheskaya e`konomika i e`konomicheskaya informatika. Materialy` nauchny`kh chtenij, posvyashhenny`kh 75-letiyu so dnya rozhdeniya vy`dayushhegosya e`konomistamatematika, doktora e`konomicheskikh nauk, professora Kardasha Viktora Alekseevicha. 2011. S. 226-228.
5. Teoriya upravleniya (dopolnitel`ny`e glavy`): Uchebnoe posobie / Pod red. D. A. Novikova. — M.: LENAND, 2019. — 552 s.
6. Metody` i tekhnologii kompleksnoj melioraczii i e`kossistemnogo vodo-pol`zovaniya. Nauchnoe izdan. / Pod red. akademika RASKhN B.M.Kizyaeva. – M.: GNU VNIIGiM, 2006.- 586 s.
7. Orlova I.V. Uchet geoe`kologicheskikh ogranichenij pri territorial`nom planirovanii orositel`ny`kh melioraczij (obzor) // Nauchny`j zhurnal Ros-sijskogo NII problem melioraczii. 2014. # 1 (13). S. 147-157.
8. Matematicheskoe modelirovanie i analiz e`kologo-e`konomicheskogo regulirovaniya s uchetom transgranichnogo zagryazneniya okruzhayushhej sredy`: monografiya / Rogachev A.F., Skiter N.N., Melikhova E.V., Pleshhenko T.V. Volgograd, Volgogradskij GAU, 2014. 172 s.
9. Kirejcheva L.V., Lentyaeva E.A., Timoshkin A.D. Informaczionno - komunikaczionnaya tekhnologiya ocenki i regulirovaniya e`nergeticheskogo sostoya-niya pochv // International Agricultural Journal. 2020. T. 63. # 6. S. 27.
10. Andrejchikov A. V., Andrejchikova O.N. Analiz, sintez, planirovanie reshenij v e`konomike. - M.: Finansy` i statistika, 2002. 368 s.
11. Gulyuk G. G. Novy`e problemy` melioraczii 2021-2025 gg. i puti ikh resheniya // Melioracziya i vodnoe khozyajstvo. 2021. # 1. C. 2-5.

12. Metodologicheskie osnovy` razvitiya speczializiruemogo tipa pri-rodno-tekhnicheskikh sistem ispol'zovaniya vodny`kh resursov / E. A. Semyono-va, V. L. Bondarenko, E. D. Kheczuriani [i dr.] // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stro-itel'stvo i arkhitektura. 2020. # 2 (79). S. 63-73.
13. Ly'tov M. N. Biosferno-e`kologicheskie principy` sozdaniya gidro-meliorativny`kh sistem s funkcziej kompensaczii klimaticheskikh riskov. Iz-vestiya NV AUK. 2022. 3(67). 533-542. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-03-60.
14. Nauchno-metodicheskie podkhody` k oczenke sostoyaniya agrolandshaftov i principy` osvoeniya vy`by`vshikh iz oborota meliorirovanny`kh zemel`: mo-nografiya / Shevchenko V.A., Borody`chev V.V., Bondareva G.I. i dr. Moskva, VNIIGiM, 2021. 220 s.
15. Popova A.V. Using of natural-mathematical methods in professional activities // International agricultural journal. 2022. No5, 360-369.
16. Melikhova E.V., Rogachev A.F. (2019) Computer simulation and optimization of parameters of configuration of the contour of moistening under drip irrigation of agricultures . Studies in Computational Intelligence. 826. 1193-1201.
17. Bandurin M. A., Yurchenko I. F., Bandurina I. P. Computer Technology to Assess the Capacity Reserve of the Irrigation Facilities of the Agro-Industrial Complex // 2019 International Multi Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. P. 8933970

© *Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф., 2022. International agricultural journal, 2022, №5, 474-491.*

**Для цитирования:** Рогачев Д.А., Юрченко И.Ф. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМНОГО ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ //International agricultural journal. 2022. № 5, 474-491