

005533142

На правах рукописи

Ольгаренко Игорь Владимирович

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАНИРОВАНИЯ
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

Специальность: 06.01.02 – «Мелиорация, рекультивация
и охрана земель»

13 СЕН 2013

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Саратов – 2013

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

Официальные оппоненты: **Щедрин Вячеслав Николаевич**
академик РАСХН, доктор технических наук,
профессор, директор ФГБНУ «Российский на-
учно-исследовательский институт проблем
мелиорации»

Кравчук Алексей Владимирович
доктор технических наук, профессор кафедры
мелиорации, рекультивации и охраны земель
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный
аграрный университет им. Н.И.Вавилова»

Юрченко Ирина Фёдоровна
доктор технических наук, профессор, зав. ла-
бораторией информационных технологий
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследова-
тельский институт гидротехники и мелиора-
ции им. А.Н. Костякова»

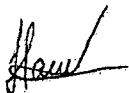
Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», г. Краснодар

Защита состоится «11» октября 2013 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.06 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, в ауд. 325.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в научном отделе библиотеки ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1. e-mail: dissovvet01@sgau.ru

Автореферат разослан « 6 » сентября 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Маштаков Дмитрий Анатольевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Орошение сельскохозяйственных культур на существующих оросительных системах недостаточно эффективно, что обусловлено негативными процессами, которые вызваны их низким техническим уровнем, отсутствием качественного управления процессами водопользования и водораспределения, большими потерями воды, приводящими к подъёму уровня грунтовых вод на орошаемых территориях, процессам засоления и заболачивания почв, загрязнению естественных водисточников, большим затратам энергетических и материально-технических ресурсов при низкой эффективности их использования. Анализ информационно-аналитических материалов показывает, что непроизводительные потери на открытых оросительных системах достигают 60-70 % от величины забора воды из водонесточника, в том числе потери на фильтрацию из каналов от 45 % до 55 %, технологические от 15 % до 20 %. Таким образом, большие потоки воды и вещества, поступающие в агроландшафты, нарушают естественно сложившееся равновесие природных процессов и вызывают негативные явления. Задача учёных и практиков заключается в разработке и реализации комплекса мероприятий, которые не допускают перехода потоков из биологического круговорота в геологический. Поэтому, первоочередными задачами повышения технического уровня оросительных систем является разработка комплекса мероприятий по минимизации или полной ликвидации технологических потерь. Важнейшим направлением в решении вышесказанных проблем является научное обоснование и разработка новых методологий планирования и реализации процессов водопользования на оросительных системах с учётом современного уровня развития вычислительной техники, методов математического и физического моделирования, компьютерных технологий управления технологическими процессами, обеспечивающих оптимальное использование водных и энергетических ресурсов, высокое качество и оперативность принимаемых управленческих решений, хорошее мелиоративное состояние орошаемых земель и нормальную экологическую обстановку в агроландшафтах. Реализация разработанных мероприятий обеспечит экономии водных ресурсов в масштабах отрасли не менее

2,0 км³ в год; в оросительных системах Ростовской области не менее 0,4 км³; экономии энергетических ресурсов – 7,8 % от потребляемой.

Степень разработанности темы. В Российской Федерации и за рубежом существуют информационные технологии и модели планирования водопользования на оросительных системах, которые предусматривают получение необходимой информации о технических параметрах системы, почвенно-климатических и гидрогеологических условиях орошаемых массивов, структуре севооборотных участков и потребности в воде сельскохозяйственных культур. В созданных ранее компьютерных программах недостаточно учитывались конструктивные особенности оросительных систем; техническое состояние оросительной сети; динамические изменения гидравлических параметров каналов во времени; рассредоточенность и удалённость объектов регулирования; изменчивость параметров водоподдачи в пространстве и времени; информационные базы данных, интегрированные с новыми моделями нормирования водопотребления сельскохозяйственных культур; закономерности распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов; наличие различных иерархических уровней системы управления водораспределением. Кроме этого, необходимо отметить, что в настоящее время развитие методов численной реализации уравнений Сен-Венана, разработанных в институте гидродинамики СО АН СССР (1976 г.) и отлаженные в системе автоматизированных систем управления технологическими процессами в ВЦ ЮжНИИ-ГиМа (1986 г.) на техническом оборудовании указанного временного периода, требует больших капитальных вложений, высокого технического уровня и оснащённости оросительных систем. Наиболее целесообразно развивать систему диспетчеризации водораспределения в оросительных системах, используя методы теории подобия для обобщения решений уравнений Сен-Венана на основе современных информационных технологий и персональных компьютеров.

Таким образом, требуется разработка новых информационных технологий планирования водопользования и оперативного управления водораспределением на оросительных системах на основе использования метода системного анализа, теории оптимальных решений, теории подобия, имитационного и математического моделирования для обеспечения высокого технического уровня оросительных

систем; рационального использования водных и энергетических ресурсов; надёжности, качества и оперативности принимаемых управленческих решений; хорошего мелиоративного состояния орошаемых земель; нормальной экологической обстановки в агроландшафтах.

Цель исследований. Повышение эффективности использования водных и энергетических ресурсов в оросительных системах на основе теоретического обоснования и разработки информационных технологий планирования водопользования и оперативного управления водораспределением.

Задачи исследований:

- дать анализ и оценку эффективности использования водных и энергетических ресурсов, технического состояния и оснащённости оросительных систем;
- теоретически обосновать и разработать комплексную функциональную структуру управления технологическими процессами водопользования на оросительных системах с использованием метода системного анализа;
- разработать классификацию по оценке технического уровня оросительных систем с обоснованием интегральных показателей и численных значений их критериальных уровней;
- изучить закономерности распределения оросительной воды по всей иерархии межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов и полям орошения на опытных участках;
- изучить структуру и элементы водного баланса сельскохозяйственных культур для лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения; обосновать рациональный режим орошения, обеспечивающий экономию водных и энергетических ресурсов по сравнению с нормативным;
- обосновать методику планирования и оперативного управления водопользованием на оросительных системах на основе разработки новых моделей определения величины суммарного испарения сельскохозяйственных культур и взаимосвязи суммарного испарения с испаряемостью, обеспечивающих повышение точности расчётов и экономию водных ресурсов;
- разработать алгоритмы и компьютерную программу планирования водопользования на оросительных системах;

- разработать программный комплекс по оперативному диспетчерскому управлению водораспределением в системе оросительных каналов;

- обосновать и разработать методику оперативного диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов на основе имитационных экспериментов с математической моделью движения жидкости в каналах, используя систему уравнений Сен-Венана совместно с методами теории подобия;

- дать экономическую и энергетическую оценку эффективности реализации технологических процессов водопользования на оросительных системах.

Научная новизна заключается в том что:

- теоретически обоснована и разработана комплексная функциональная структура управления технологическими процессами водопользования на оросительных системах с использованием метода системного анализа, математического моделирования на основании рассмотрения оросительной системы как сложного информационного природно-технического объекта управления с учётом экологических требований, модели оперативного управления поливами сельскохозяйственных культур, модели двухуровневой системы управления оптимизацией водопользования;

- предложена классификация по оценке технического уровня оросительных систем с обоснованием интегральных показателей и численных значений их критериальных уровней;

- разработаны: методика планирования и оперативного управления водопользованием на оросительных системах с учётом полученных нелинейных эмпирических зависимостей суммарного испарения сельскохозяйственных культур от фактической динамики гидрометеорологических параметров и запасов влаги в расчётном слое почвы для конкретного года, повышающая точность расчёта на 25 %; рациональный режим орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающий экономию водных и энергетических ресурсов на 20 % по сравнению с нормативными.

- обоснованы состав и структура информационного обеспечения планирования водопользования, создана базовая имитационная модель оросительной системы с учётом её конструктивных особенностей и структуры севооборотных уча-

стков;

– разработаны алгоритм и компьютерная программа по составлению планов водопользования на оросительных системах «PlanVP.exe» на базе использования информационных технологий, имитационного и математического моделирования, метода системного анализа и теории оптимальных решений;

– разработан программный комплекс, включающий базу данных, алгоритмы и компьютерные программы расчёта стационарных режимов течений воды в трапециевидных каналах и лотках «ЛОТРА.mws» и информационной поддержки диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов «ВодораспределениеОС.exe» на основе использования теории подобия для решения системы уравнений Сен-Венана;

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании закономерностей функционирования оросительных систем. Установлено, что по конструкции оросительные системы являются сложными природно-техническим объектами и их жизненные циклы связаны с общими законами развития техники и технических объектов. Это позволило обосновать их главную подсистему – подсистему взаимодействия с окружающей природной средой. Доказано, что оросительным системам присущи признаки «больших», или «сложных систем» и поэтому к ним применимы методы системного анализа, обеспечивающие поиск оптимальных решений при управлении технологическими процессами. Предложена модель оросительной системы как объекта управления с учётом экологических требований. Научно обоснована и создана комплексная функциональная структура управления технологическими процессами водопользования на оросительных системах. Установлена классификация по оценке технического уровня оросительных систем с обоснованием интегральных показателей и численных значений их критериальных уровней. Обоснованы: методика планирования и оперативного управления водопользованием на оросительных системах; рациональные режимы орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающие экономию водных и энергетических ресурсов на 20 % по сравнению с нормативными. Определены закономерности динамики суммарного испарения сельскохозяйственных культур от пространственно-временной

изменчивости гидрометеорологических параметров и фактических запасов влаги в расчётном слое почвы для конкретного года, повышающие точность расчётов на 25 %. Разработаны: компьютерная технология планирования водопользования, созданная на базе использования информационных технологий, имитационного и математического моделирования, метода системного анализа и теории оптимальных решений («PlanVP.exe»); программный комплекс оперативного диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов на основе использования теории подобия в составе информационной базы данных, алгоритмов и компьютерных программ «ЛОТРА.mws» и «ВодораспределениеОС.exe». Получены эмпирические зависимости между числами и критериями подобия для характерных режимов течений в каналах с широким диапазоном изменения безразмерных параметров.

Практическая значимость работы заключается в том, что проведённые исследования завершены разработкой конкретных методик, технологий, практических рекомендаций, функциональных структур, алгоритмов, информационных баз данных, компьютерных программ, реализация которых обеспечивает значительное повышение технического уровня оросительных систем, хорошее мелиоративное состояние орошаемых земель, экономию водных и энергетических ресурсов, нормальную экологическую обстановку в агроландшафтах. Практическая значимость подтверждается результатами внедрения нормативных документов на оросительных системах Ростовской области и Ставропольского края.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования проводились с использованием методов имитационного и математического моделирования, системного анализа, теории оптимальных решений, методов теории подобия для обобщения решений системы уравнений Сен-Венана на основе современных информационных технологий. Полевые исследования проводились с применением современных стандартных методик и соответствующего оборудования, используемых в мелиоративной отрасли. Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики.

Положения, выносимые на защиту.

– комплексная функциональная структура управления технологическими

процессами водопользования на оросительных системах;

– классификация интегральных и основных нормативных показателей по оценке технического уровня оросительных систем с обоснованием численных значений их критериальных уровней;

– методика планирования и управления водопользованием на оросительных системах с учётом полученных нелинейных эмпирических зависимостей суммарного испарения сельскохозяйственных культур от динамики гидрометеорологических параметров и фактических запасов влаги в расчётном слое почвы для конкретного года, повышающие точность расчётов на 25 %; рациональный режим орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающий экономию водных и энергетических ресурсов на 20 % по сравнению с нормативным;

– алгоритмы и компьютерная программа по составлению планов водопользования на оросительных системах («PlanVP.exe»), разработанная на базе использования информационных технологий, имитационного и математического моделирования, метода системного анализа и теории оптимальных решений;

– программный комплекс, включающий базу данных, алгоритмы и компьютерные программы расчёта стационарных режимов течений воды в трапецидальных каналах и лотках «ЛОТРА.mws» и информационной поддержки диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов «ВодораспределениеОС.exe», на основе использования теории подобия для решения системы уравнений Сен-Венана при различных режимах течения воды в каналах;

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается большим объёмом экспериментального материала, высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применением современных отраслевых и государственных стандартов при организации и проведении полевых экспериментов, широкой апробацией результатов исследований в производственных условиях на оросительных системах Ростовской области и Ставропольского края.

Основные результаты диссертационной работы обсуждены и одобрены на международных и научно-практических конференциях, научно-технических советах производственных организаций отрасли, научных секциях Россельхозакаде-

нии, учёных советах и научно-методических семинарах учебных заведений и научно-исследовательских институтов в Москве, Волгограде, Краснодаре, Саратове, Новочеркасске (2002-2012 г.) Опубликовано 91 научная статья, 17 из которых изданы в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получены три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ в Роспатенте РФ. Общий объём научных работ составляет 32,0 п.л., в том числе лично автора – 25,0 п.л.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во «Введении» изложена актуальность решаемой проблемы, обоснованы цель, задачи, методика и новизна исследований, показана теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе «Проблемы организации рационального водопользования на оросительных системах» выполнен анализ информационно-аналитических исследований по оценке уровня эффективности орошения и установления основных причин, обуславливающих неблагоприятное влияние на мелиоративное состояние орошаемых земель и технический уровень оросительных систем, оценка которого дана в работах М.Н.Багрова, М.С.Григорова, И.П.Кружилина, А.В.Колганова, В.И.Ольгаренко, Б.Б.Шумакова, В.Н.Щедрина и других исследователей.

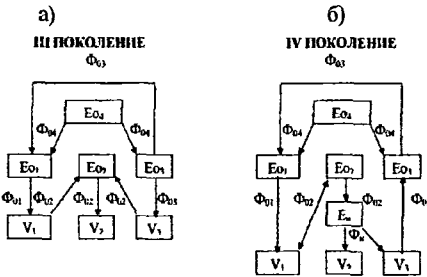
Проведённый анализ научно-технической информации по эффективности использования орошаемых земель и техническому уровню оросительных систем позволил установить, что современная стратегия орошения должна базироваться на совершенствовании имеющихся и разработке новых методологий планирования и реализации процессов водопользования, обеспечивающих принятие оптимальных управленческих решений в едином технологическом процессе с учётом природных факторов и технических средств, созданных человеком.

Во второй главе «Научные основы водопользования» рассматриваются вопросы ретроспективного анализа и теоретического обоснования перспективных

направлений планирования водопользования и оперативного управления водораспределением на оросительных системах с использованием законов развития техники и технических объектов, кибернетики, экологии, экономико-математических моделей, методов системного и функционально-структурного анализа, современных информационных технологий и вычислительной техники. Предложенный методологический подход позволил обосновать новую концепцию эксплуатации ОС, на основании которой цель их функционирования и процессов регулирования водного режима может быть сформулирована следующим образом: *управление мощностью и направлением перемещения потоков вещества, воды, энергии и информации, обеспечивающее стабилизацию и максимальную замкнутость водного баланса агроландшафтов при повышении их биологической продуктивности*. Для решения конкретных задач по разработке оросительных систем нового поколения и экологически безопасных водосберегающих процессов регулирования водного режима необходимо установить закономерности развития мелиоративных систем как природно-технических объектов и оценить, на какой стадии развития они находятся, определить дефекты и критерии их развития, установить совершенствование каких подсистем и технологий может дать наибольший эколого-экономический эффект.

Анализ развития конструкций мелиоративных систем, их структуры и функционирования, технологий орошения может быть выполнен на основе законов развития техники и технических объектов, рассматривающих развитие «технического объекта» (ТО) по четырём стадиям с четырьмя фундаментальными функциями. Следует отметить, что оросительная система функционирует в составе природного комплекса и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия с природной средой и является сложным природно-техническим объектом. Поэтому, кроме четырёх фундаментальных функций, свойственных техническим объектам, она реализует ещё одну фундаментальную функцию – взаимодействие с природной средой, без реализации которой невозможно функционирование оросительной системы как природно-технического объекта. С учётом этого обстоятельства сформулирован закон стадийного развития оросительных систем как частный случай закона развития технических объектов.

Дальнейший теоретический поиск был направлен на отыскание среди множества подсистем, составляющих оросительную систему, наиболее важной, постоянно развивающейся, и определение дальнейших путей её совершенствования.



а) – существующие системы;
б) – экологически ориентированные системы
Рисунок 1 – Функциональные структуры оросительных систем

С этой целью был выполнен функционально-структурный анализ оросительных систем, который обеспечил сравнение функциональных структур существующих систем III-го поколения (рисунок 1,а) и экологически ориентированных IV-го поколения (рисунок 1,б) делает очевидным тот факт, что в системах предшествующих трёх поколений отсутствовала подсистема E_{II} и выполняемая ею функция Φ_{II} , т.е. потоки на «выходе» из оросительной системы и «входе» в неё не регулировались. Это и является одним из главных дефектов (недостатков) существующих оросительных систем, который во многом и определил развитие неблагоприятных экологических процессов в природной среде. Учитывая, что оросительные системы по своим функциональным признакам относятся к «большим», или «сложным системам» и используя методологию системного анализа, разработана двухуровневая система управления оптимизацией водопользования на оросительных системах, рассматривающая поиск оптимальных решений на двух уровнях: первый – на уровне хозяйств или отдельных водопользователей; второй – на уровне управления ОС.

Методы системного анализа при планировании и оперативном управлении водопользованием на уровне оросительной системы реализованы на основе разработанной блочной структуры планирования водопользованием (рисунок 2); на уровне хозяйств – разработкой имитационных моделей расчёта экономически целесообразных режимов орошения сельскохозяйственных культур (рисунок 3) и оптимальной структуры размещения сельскохозяйственных культур, а также модели по определению объективных цен на продукцию растениеводства, которые

позволяют, меняя значения одних управляющих параметров, получать оптимальные значения других.

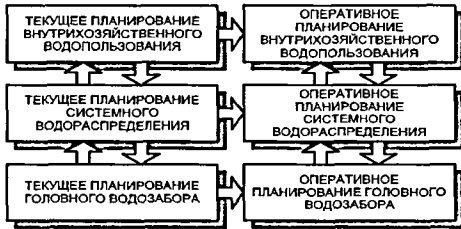


Рисунок 2 – Блочная структура планирования водопользования

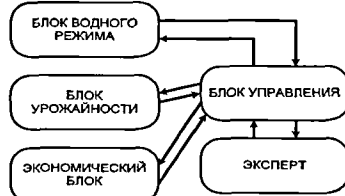


Рисунок 3 – Модель расчёта экономически целесообразных режимов орошения сельскохозяйственных культур

Предложена модель оросительной системы (рисунок 4) как объекта управления с учётом экологических требований с воздействием на неё природных факторов (климат, почвы, геология и гидрогеология, рельеф), управляемых потоков (энергия, вода, материальные ресурсы, информация), факторов оптимизации (техника, технологии, управление); вы-

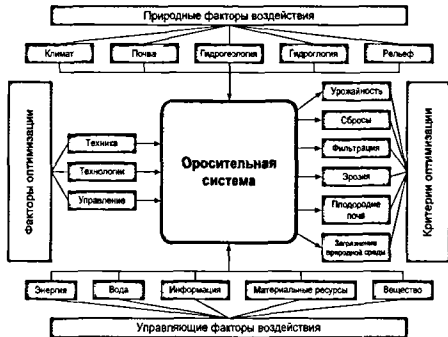


Рисунок 4 – Модель оросительной системы как объекта управления с учётом экологических требований

ходными параметрами деятельности оросительной системы являются следующие критерии оптимизации: урожайность, плодородие почв, эрозия, сбросы, фильтрация, загрязнение окружающей природной среды. Таким образом, предложенный методологический подход позволил обосновать процесс функционирования оросительной системы в полной взаимосвязи с природными факторами конкретного агроландшафта.

На основании использования новых методологических подходов разработана комплексная функциональная структура управления технологическими процессами на оросительной системе, являющаяся базовой при планировании, кор-

ректировке и оперативном управлении водопользованием; концепция эксплуатации оросительных систем, которая включает этапность реализации мероприятий и основные научные направления исследований на ближайшую и отдалённую перспективы.

Третья глава «Программа и методика исследований». Разработка новых технологий выполнялась на основе теоретического обоснования процессов водопользования, проведения информационно-аналитических исследований и полевых экспериментов.

Информационно-аналитические исследования проводились по двум направлениям: *Первое* – оценка эффективности существующих технологий планирования водопользования и управления водораспределением на оросительных системах. *Второе* – разработка новых информационных технологий планирования водопользования и оперативного диспетчерского управления водораспределением в системах оросительных каналов на основе имитационного и математического моделирования, методов системного анализа, теории оптимальных решений, методов теории подобия.

Полевые эксперименты включали три опыта:

Опыт № 1 – «Исследовать гидравлические и технические параметры Багаевского магистрального канала (БМК) и межхозяйственного канала Бз-Р-7; Садковского магистрального канала (СМК) и межхозяйственного канала С-Р-3 Багаевско-Садковской оросительной системы Ростовской области.

Опыт № 2 – «Изучить элементы водного баланса по системе оросительных каналов всех уровней иерархии и по полям орошения на экспериментальных объектах».

Изучение элементов водного баланса по расчётным трассам оросительных каналов всех уровней проводилось на Багаевско-Садковской оросительной системе.

Опыт № 3 – «Изучить режимы орошения, водопотребление и урожайность сельскохозяйственных культур как основу для информационного обеспечения планирования и реализации водопользования при различных уровнях влаго-

обеспеченности растений и их минерального питания»).

Объекты исследований. *Комплексный экспериментальный объект № 1* – Багаевский МК, межхозяйственный канал Бг-Р-7, опытный участок ОПХ РООМС площадью 312га. Исследования проводились с 1998 по 2005 гг. *Комплексный экспериментальный объект № 2* – Садковский МК, межхозяйственный распределитель СР-3, опытный участок в ЗАО «Нива» Весёловского района площадью 350 га. Исследования проводились с 1998 по 2008гг. *Комплексный экспериментальный объект № 3* – Миусская ОС Ростовской области. Исследования проводились в 2009-2012годах.

В четвёртой главе «Экспериментальные исследования эффективности водопользования» изложены результаты исследований эффективности водопользования как на оросительных системах области, так и на комплексных экспериментальных объектах. Анализ технического уровня действующих ороситель-

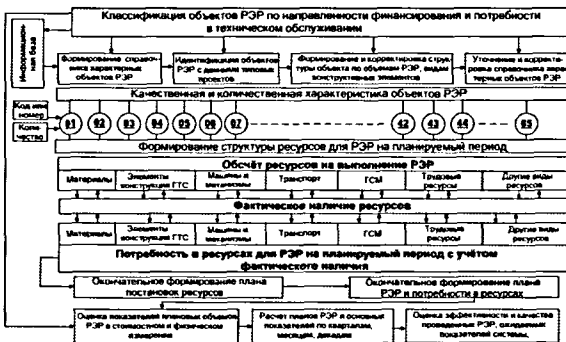


Рисунок 5 – Базовый алгоритм составления и реализации ремонтных работ на оросительных системах

комплекса мероприятий, обеспечивающих значительное повышение их технического уровня. В качестве первоочередных мероприятий разработан базовый алгоритм для реализации планов ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах с учётом имеющихся дефицитов на все виды ресурсов с использованием ПЭВМ (рисунок 5).

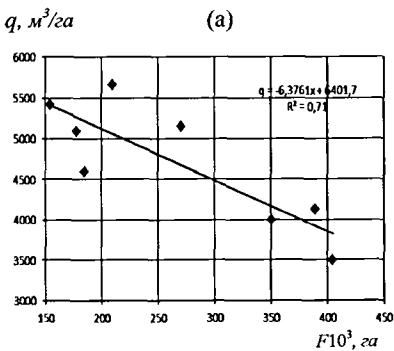
Получены эмпирические зависимости удельного водопотребления от общей площади орошения в Ростовской области (рисунок 6, а), которые имеют вид:

ных систем Ростовской области позволил установить их соответствие III и IV разрядам, что указывает на недостаточный уровень их технического состояния и обосновывает необходимость в разработке и последующей реализации

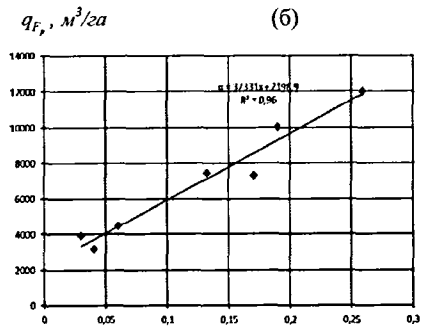
$$q_F = -6,38 \cdot F + 6401,7; (R^2=0,71), \quad (1)$$

где q_F – удельное водопотребление, $\text{м}^3/\text{га}$; F – общая площадь орошения, тыс. га; а также удельного водопотребления от доли площади риса в структуре севооборота q_{F_p} (рисунок 6, б), $q_{F_p} = 37331,0 \cdot K_F + 2198,9; (R^2=0,96), \quad (2)$

где K_F – коэффициент, представляющий собой отношение площади риса (F_p) в рисовом севообороте к общей площади орошения (F).



Диапазон применения
150000 га < F < 400000 га



Диапазон применения
0,03 < $F_{\text{риса}} / F_{\text{системы}}$ < 0,3

Рисунок 6 – Взаимосвязь величин удельного водопотребления и площадей орошения (а), занятой рисом (б)

На основании проведённых исследований на оросительных системах Ростовской области разработана комплексная система нормативных технико-экономических показателей эффективности водопользования и обоснована универсальная система интегральных показателей (таблица 2) по оценке технического уровня оросительных систем и численные значения их критериальных уровней, включающая пять категорий: высшая (экологически сбалансированные ОС); первая – хороший технический уровень (нормативный); вторая – удовлетворительный; третья – неудовлетворительный; четвёртая – совершенно недопустимый.

Для автоматизации расчётов эффективности планирования и реализации процессов водопользования разработаны алгоритм (рисунок 7) и программа для определения количественных значений показателей.

Таблица 2 – Классификация интегральных показателей по оценке технического уровня оросительных систем

Показатели	Категории технического уровня				
	Высшая	Первая	Вторая	Третья	Четвёртая
Основные коэффициенты					
общий коэффициент полезного использования оросительной воды, η_0	1,00-0,98	0,98-0,96	0,96-0,90	0,90-0,83	< 0,83
полезного действия м-х и в-х оросительной сети, η	1,00-0,98	0,98-0,96	0,96-0,92	0,92-0,88	< 0,88
ритмичности процесса водопользования, K_R	1,00-0,96	0,96-0,90	0,90-0,75	0,75-0,30	< 0,30
устойчивости процесса водопользования, $K_{y.a}$	1,00-0,98	0,98-0,95	0,95-0,85	0,85-0,75	< 0,75
Дополнительные коэффициенты					
полезного действия м-х оросительной сети, $\eta_{м.х.с.}$	1,00-0,99	0,99-0,98	0,98-0,96	0,96-0,94	< 0,94
полезного действия в-х оросительной сети, $\eta_{в.х.с.}$	1,00-0,99	0,99-0,98	0,98-0,96	0,96-0,94	< 0,94
использования оросительной воды на поле, η_n	1,00	1,00	1,00-0,98	0,98-0,94	< 0,94
продуктивного использования оросительной воды на поле, $\eta_{пр}$	1,00	1,00	1,00-0,99	0,99-0,97	< 0,97
обеспеченности водой с/х культур, $\eta_{в.к.}$	1,00	1,00	1,00-0,99	0,99-0,97	< 0,97
качества планирования, $K_{пл}$	0,98-0,96	0,96-0,90	0,90-0,75	0,75-0,30	< 0,30
эффективности планирования, $K_{э.п.}$	1,00	1,00-0,90	0,9-0,70	0,70-0,30	< 0,30
эффективности реализации, $K_{э.р.}$	1,00	1,00-0,90	0,9-0,70	0,70-0,30	< 0,30
общие потери оросительной воды	0-2,0	2,0-4,0	4,0-10,0	10,0-17,0	> 17,0

Примечание: м-х - межхозяйственная, в-х – внутрихозяйственная оросительные сети.

Важным показателем, обеспечивающим оценку технического уровня оросительных систем, является общий коэффициент полезного использования оросительной воды на системе, который следует определять по модифицированной формуле А. Н. Костякова:

$$\eta_{0.с.} = \eta_{м.х.с.} \cdot \eta_{в.х.с.} \cdot \eta_{ПР} \cdot \eta_{В.К.} = \eta_{ск} \cdot \eta_{ПР} \cdot \eta_{В.К.} \quad (3)$$

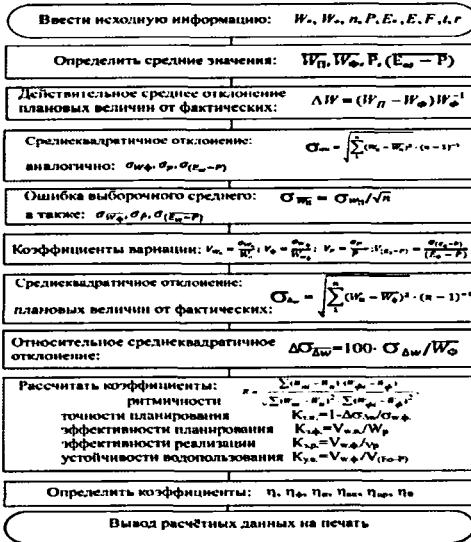
Для закрытых оросительных систем формула (3) принимает вид:

$$\eta_{0.с.} = \eta_{з.о.с.} \cdot \eta_{ПР} \cdot \eta_{В.К.} \quad (4)$$

где $\eta_{з.о.с.}$ – коэффициент полезного действия закрытой оросительной сети.

Осуществлён анализ наличия поливной техники на системах Ростовской области по каждой используемой дождевальной машине за период с 1980 по 2011 гг. с определением показателей их использования, что дало возможность обоснования потребности в дождевальной технике в зависимости от наличия и перспектив развития орошения в области.

Экспериментальные исследования по изучению элементов водного баланса в системе оросительных каналов были проведены на Багаевско-Садковской системе (комплексные экспериментальные объекты № 1 и № 2).



Комплексный экспериментальный объект № 1

Анализ и статистическая обработка экспериментальных данных по динамике изменения водопдачи в течение вегетационного периода были проведены за два временных интервала: первый – с 1992 по 2001 гг. и второй – с 2001 по 2008 гг. Получены эмпирические зависимости фактической водопдачи:

– за *первый временной интервал* в виде (рисунок 8,а):

$$W_{ф,1} = -2,76 \cdot n^2 + 38,67 \cdot n - 111,15; (R^2 = 0,89), \tag{5}$$

– за *второй временной интервал* в виде (рисунок 8,а):

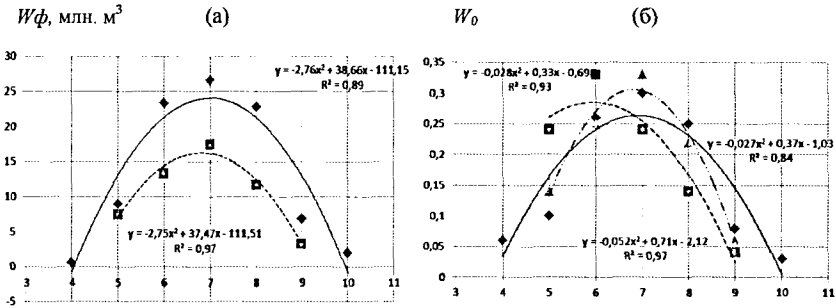
$$W_{ф,2} = -2,75 \cdot n^2 + 37,47 \cdot n - 111,52; (R^2 = 0,97), \tag{6}$$

На рисунке 8,б эмпирические зависимости в относительных величинах:

– для первого интервала, $W_{O,ф,1} = -0,27 \cdot n^2 + 0,37 \cdot n - 1,03; (R^2 = 0,84), \tag{7}$

– для второго – *фактическая*, $W_{O,ф,2} = -0,052 \cdot n^2 + 0,71 \cdot n - 2,12; (R^2 = 0,97), \tag{8}$

– *плановая*, $W_{O,пл,2} = -0,28 \cdot n^2 + 0,33 \cdot n - 0,698; (R^2 = 0,93), \tag{9}$



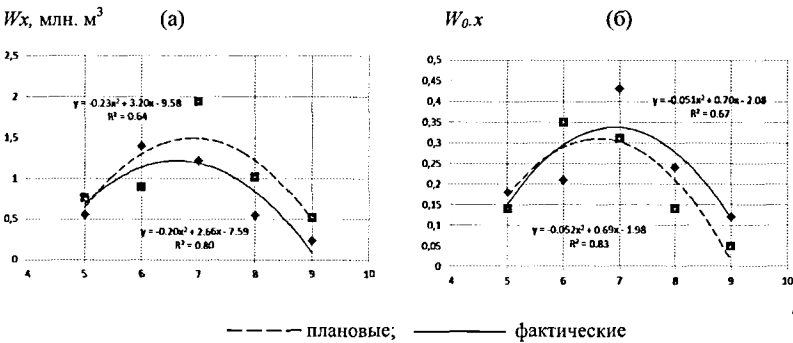
за период 1992-2001 гг. — фактические; за период 2002-2008 гг. — фактические
 ————— плановые

(а) – в абсолютных значениях и (б) – в относительных величинах

Рисунок 8 – Динамика изменения водоподачи в течение вегетационного периода

Комплексный экспериментальный объект №2

Проведённый анализ данных позволил получить эмпирические зависимости динамики изменения водоподачи в течение вегетационного периода в абсолютных значениях (рисунок 9,а), описываемые уравнениями вида:



————— плановые; — фактические

(а) – среднемесячные в абсолютных значениях; (б) – в относительных величинах

Рисунок 9 – Динамика изменения водоподачи в течение вегетационного периода

$$- \text{плановые, } W_{пл. x} = -0,23 \cdot n^2 + 3,20 \cdot n - 9,58; (R^2 = 0,64), \quad (10)$$

$$- \text{фактические, } W_{ф. x} = -0,20 \cdot n^2 + 2,66 \cdot n - 7,59; (R^2 = 0,8), \quad (11)$$

Динамика изменения в относительных величинах вышеуказанных факторов приведена на рисунке 9,б и описываются уравнением параболического вида:

$$- \text{плановые } W_{o.пл. x} = -0,050 \cdot n^2 + 0,70 \cdot n - 2,08; (R^2 = 0,67), \quad (12)$$

$$- \text{фактические } W_{o.ф.} = -0,052 \cdot n^2 + 0,69 \cdot n - 1,98; (R^2 = 0,83), \quad (13)$$

В пятой главе «Экспериментальные исследования влияния динамики водопотребления сельскохозяйственных культур на качество планирования и реализацию процесса водопользования» приведены результаты исследований на комплексных экспериментальных объектах № 1 и № 2 на опытных орошаемых участках ОПХ РООМС Багаевского района и ЗАО «Нива» Весёловского района.

Исследования включали изучение элементов водного баланса орошаемого поля, суммарного испарения и урожайности сельскохозяйственных культур при различных уровнях влагообеспеченности и минерального питания (опыт № 3 общей методологии). Результаты исследований по изучению элементов водного баланса и урожайности люцерны при изменении влажности в расчётном слое почвы (0,8-1,0)НВ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Водный баланс и урожайность люцерны
(средние за годы исследований)

Годы обеспеченности	Элементы водного баланса				Показатели эффективности		
	<i>P</i> , мм	<i>M</i> , мм	ΔW , мм	<i>ET</i> , мм	<i>Y</i> , т/га	<i>K_{ET}</i> , мм/т	<i>K_м</i> , мм/т
«Сухой»	172	360	40	572	57,0	10,0	6,3
«Средний»	274	250	30	554	51,0	10,8	4,9
«Средневлажный»	371	150	10	531	54,0	9,8	2,8
Средние значения	272,3	253,3	26,6	552,3	54,0	10,2	4,7
Наименьшая существенная разность НСР _{0,5} = 3,1 т/га							

Анализ экспериментальных данных показывает, что для поддержания влажности почвы на полях орошения в расчётном диапазоне в «среднесухой» год необходимо организовать 9 поливов люцерны; в «средний» – 6 поливов; в «средне-влажный» – четыре полива.

Исследования, проведённые на посевах лука, позволили установить динамику влажности в расчётном слое почвы для лет различной обеспеченности по

дефициту естественного увлажнения и определить количество поливов и величину оросительной нормы. Так, для года 75 % обеспеченности по дефициту естественного увлажнения необходимо провести 4 полива оросительной нормой $M = 180$ мм.

Результаты изучения элементов водного баланса и урожайности лука в среднем за годы исследований представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования водного баланса и урожайности посевов лука (средние за годы исследований)

Годы обеспеченности	Элементы водного баланса				Показатели эффективности		
	P , мм	M , мм	ΔW , мм	ET , мм	Y , т/га	K_{ET} , мм/т	K_M , мм/т
«Средневлажный»	250	170	1	421	20,7	20,3	8,2
«Средний»	217	210	24	451	19,9	22,6	10,5
«Среднесухой»	163	270	30	463	19,5	23,7	13,8
Средние значения	210	216,7	18,3	445	20,0	22,2	10,8
σ	43,9	50,3	17,2	21,6	0,6	1,7	2,8
V , %	20,0	23,0	94,0	4,8	3,1	7,8	26,0
$HCPO,5=1,4$ т/га							

Исследованиями были установлены следующие зависимости:

- суммарного испарения лука (ET) от обеспеченности года по дефициту естественного увлажнения, (PW):

$$ET = 0,011(PW)^2 - 1,31(PW) + 481,6; (R^2 = 0,79); \quad (14)$$

- биоклиматических коэффициентов лука (K_y) от тепловлагообеспеченного года:

$$K_y = 0,49 \cdot 10^{-4}(PW)^2 - 17 \cdot 10^{-4}(PW) + 0,73; (R^2 = 0,8); \quad (15)$$

- урожайности лука (Y) от величины оросительной нормы (M) при вариации обеспеченностей:

$$Y = -7,85 \cdot 10^{-5} \cdot M^2 + 88 \cdot 10^{-3} \cdot M - 6,95 \cdot 10^{-5} \cdot (P - E_0)^2 + 4,9 \cdot 10^{-2} \cdot (P - E_0) - 1,27; (R^2 = 0,8). \quad (16)$$

Проведённые исследования позволили рассчитать режимы орошения сельскохозяйственных культур, величины суммарного испарения для лет различной обеспеченности на орошаемых землях Багаевско-Садковской оросительной системы. Исследования на опытном участке в ЗАО «Нива» Весёловского района проводились по изучению технологических процессов возделывания перца сладкого и кормовой свёклы. Экспериментальные исследования на посевах перца сладкого

проводились согласно методике по реализации третьего комплексного двухфакторного опыта, изложенной в главе 3.

Результаты экспериментов позволили установить динамику изменения урожайности перца сладкого в зависимости от дифференциации поливных норм и доз внесения минеральных удобрений как в отдельности для каждого из указанных факторов, так и общего их влияния на динамику урожайности. Средние данные за годы исследования 2005-2007 годы приведены в таблице 5.

Анализ данных показывает, что уменьшение оросительной нормы на 20% от нормативной (вариант «М») снижает урожайность перца сладкого до 5,8%. При уменьшении дозы внесения удобрений на 20% от расчётной урожайность снижается на 4,8%, по сравнению с урожайностью, полученной при нормативной влагообеспеченности; при уменьшении в целом на 20% водных ресурсов и доз внесения удобрений – до 10%. Таким образом, вариант «0,8М» и «0,8NPK» является наиболее рациональным, обеспечивающим экономию водных ресурсов и количества вносимых минеральных удобрений на 20% по отношению к максимальным нормативным значениям при допустимом уровне снижения урожайности перца сладкого.

Таблица 5 – Динамика урожайности перца сладкого по вариантам опытов (в среднем за годы исследований)

Варианты опытов				Уменьшение урожайности от величины доз удобрений (т/га) / (%)
по режимам орошения	по режимам внесения удобрений			
	NPK	0,8NPK	0,6NPK	
М	50,1 / 100	47,7 / 95,2	44,5 / 88,8	5,6 / 11,2
0,8М	47,2 / 94,2	45,1 / 90,0	42,4 / 84,6	4,8 / 9,6
0,6М	41,2 / 80,2	38,8 / 82,2	36,0 / 72,4	4,2 / 8,4
Снижение урожайности от дифференции поливных норм	9,9 / 19,7	8,9 / 17,8	8,5 / 17,1	
Суммарное снижение урожайности (от М и NPK)		11,3 / 22,7	14,1 / 28,3	

Примечание: числитель – урожайность перца сладкого, т/га;
знаменатель – уменьшение урожайности от нормативных значений, в %.

Экспериментальные исследования по изучению дифференцированных режимов орошения кормовой свёклы проводили согласно опыту № 3 общей методики исследований.

Анализом установлено, что наиболее выгодным режимом, обеспечивающим

экономии водных ресурсов на 20 %, при возделывании кормовой свёклы является вариант «0,8т». При этом урожайность снижается от 8,0 до 11,0 % от урожайности, полученной при нормативных значениях влагозапасов. Максимальное снижение урожайности в случае недостаточной влагообеспеченности отмечено в третью фазу развития кормовой свёклы (Φ_3). При пропуске полива в эту фазу урожайность уменьшилась на 22 % по отношению к контрольному варианту. При дифференцированных поливных нормах 0,6т и 0,8т урожайность уменьшалась соответственно на 16 % и 10 %; при поливе нормой 1,2т увеличилась на 2 %. Суммарное испарение изменялось от 516 до 549 мм. Пропуск поливов во вторую и третью фазы развития снижали урожайность свёклы до 37 %.

Установлены зависимости урожайности от режимов увлажнения по фазам развития кормовой свёклы, которые описываются уравнением:

$$y = a \cdot m_0^2 - b \cdot m_0 + c, \quad (17)$$

где y – урожайность кормовой свёклы для каждой фазы, т/га; m_0 – относительная величина, характеризуется отношением фактической поливной нормы (m_q) для определённой фазы развития, к расчётной ($m_{расч}$), m^3 /га;

a, b, c – эмпирические коэффициенты, полученные для данной почвенно-климатической зоны.

Получена эмпирическая зависимость модульных коэффициентов суммарного испарения и испаряемости: $K_{\Delta ET} = 0,051K_{\Delta E_w}^2 + 1,39K_{\Delta E_w} - 0,45$, $R^2 = 0,93$. Предложено суммарное испарение определять на основе использования взаимосвязи с испаряемостью, значение которой устанавливается по региональной зависимости $E_w = A(d_\varphi)^{b,1}$, с $R^2 = 0,84$, где A и b – эмпирические коэффициенты; d_φ – дефицит влажности воздуха, мб/сут.; t – среднесуточная температура воздуха, °С; аналогично биоклиматические коэффициенты суммарного испарения – по взаимосвязи с испаряемостью, что значительно повышает точность расчёта.

Исследованиями установлены также взаимосвязи динамики суммарного испарения (ET) от урожайности перца сладкого (Y_{cp}):

$$- \text{для «среднесухого» года: } ET = 65,05 \cdot Y_{cp}^{0,576}; \quad (R^2 = 0,89); \quad (18)$$

$$- \text{для «среднего» года: } ET = 46,83 \cdot Y_{cp}^{0,650}; \quad (R^2 = 0,96); \quad (19)$$

– для «средневлажного» года: $ET = 81,97 \cdot Y_{cp}^{0,495}$; ($R^2 = 0,95$). (20)

Осреднённая зависимость между вышеуказанными факторами в среднем за 2005-2007 годы исследований, описывается эмпирической зависимостью:

$$ET = 63,08 \cdot Y_{cp}^{0,60}$$
; ($R^2 = 0,92$). (21)

Динамика урожайности перца сладкого от изменения оросительных норм для лет различной обеспеченности описывается зависимостью в относительных координатах:

$$Y_0 = -1,19 \cdot M_0^2 + 2,4 \cdot M_0 - 0,24$$
; ($R^2 = 0,89$). (22)

Экспериментальные зависимости значений биоклиматических коэффициентов суммарного испарения от фактических почвенных влагозапасов по каждой фазе развития перца сладкого описываются зависимостями:

– для первой фазы: $K_{EW} = -2,87 \cdot W_0^2 + 5,68 \cdot W_0 - 2,26$; ($R^2 = 0,76$); (23)

– для второй фазы: $K_{EW} = -3,30 \cdot W_0^2 + 6,49 \cdot W_0 - 2,32$; ($R^2 = 0,92$); (24)

– для третьей фазы: $K_{EW} = -2,39 \cdot W_0^2 + 4,72 \cdot W_0 - 1,40$; ($R^2 = 0,86$); (25)

– для четвёртой фазы: $K_{EW} = -2,73 \cdot W_0^2 + 5,52 \cdot W_0 - 1,75$; ($R^2 = 0,91$). (26)

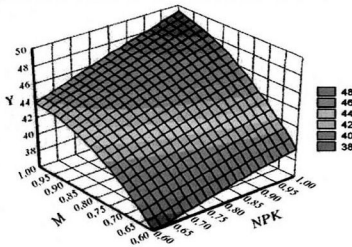


Рисунок 10 – Эмпирическая зависимость урожайности от нормирования водного и пищевого режима перца сладкого в среднем за годы исследований

Комплексное влияние водного и пищевого режимов на урожайность перца сладкого описывается поверхностями откликов для «среднего» года $R^2 = 0,96$ (1); для «среднесухого» года $R^2 = 0,94$ (2); для «средневлажного» года $R^2 = 0,95$ (3); в среднем за годы исследований $R^2 = 0,89$ (4) (рисунок 10).

$$(1) Y = -20,46 + 29,44M_0 + 97,22NPK_0 - 8,97M_0^2 - 2,7NPK_0^2 - 45,22M_0 \cdot NPK_0$$
; (27)

$$(2) Y = -7,50 + 14,13M_0 + 72,98NPK_0 - 0,38M_0^2 - 46,94NPK_0^2 - 29,29M_0 \cdot NPK_0$$
; (28)

$$(3) Y = -1,10 + 72,64M_0 + 14,73NPK_0 - 44,97M_0^2 - 14,98NPK_0^2 - 24,97M_0 \cdot NPK_0$$
; (29)

$$(4) Y = -16,41 + 23,68M_0 + 94,83NPK_0 - 12,11M_0^2 - 49,41NPK_0^2 - 9,01M_0 \cdot NPK_0$$
; (30)

Полученные эмпирические зависимости явились основой для разработки

модели и базового алгоритма планирования и оперативного управления поливами сельскохозяйственных культур, реализация которых обеспечивает повышение точности определения суммарного испарения, динамики влагозапасов в расчётном слое почвы, поливных и оросительных норм в среднем на 20 %.

В шестой главе «Информационные технологии планирования водопользования на ОС» изложены результаты исследований на Миусской ОС по разработке и внедрению программного комплекса, реализующего компьютерную технологию планирования водопользования на оросительных системах и обеспечивающего автоматизацию работ при подготовке оперативной отчётности о ходе проведения поливов и контроле реализации плана водопользования. В основу разработки положена действующая в настоящее время методика составления и реализации планов водопользования на оросительных системах.

Методологическую основу исследований составляли: теория и практика организации водопользования на ОС; теоретические подходы к созданию автоматизированных систем управления; методы и средства компьютерной обработки информации; опыт создания и применения программных моделирующих комплексов для планирования водопользования.

Математическое обеспечение включает комплекс моделей по решению ряда задач на этапе предварительного планирования. *Модель внутривозвратного планирования* позволяет рассчитать водопотребление сельскохозяйственных культур и требуемые для этого объёмы водозабора и водоподачи на основании соответствующей исходной информации по каждому объекту. *Модель расчёта системного плана водопользования* обеспечивает формирование выходных документов и определение его показателей на основании информации, включающей соответствующие показатели внутривозвратного планирования. *Модель сведения баланса водораспределения* осуществляет согласование плана с режимом источника орошения, пропускной способностью каналов и сооружений. *Модель распределения водных ресурсов* обеспечивает оптимизацию процесса планирования в условиях их дефицита с использованием метода множителей Лагранжа и имитационной модели оптимизации производства продукции, основанной на сравни-

тельном анализе альтернативных вариантов распределения водных ресурсов. Основу информационного обеспечения компьютерной технологии составляет файловая система, включающая систематизацию информационных потоков; разработка перечня словарей и классификаторов; порядок набора таблиц, их состава и структуры, а также состав нормативно-справочной информации. Алгоритмическое и специализированное программное обеспечение формирует разработанные алгоритмы и программы, охватывающие весь комплекс технологических операций планирования водопользования. Выходом первого этапа являются подекадные показатели внутрхозяйственных планов полива. На втором этапе происходит агрегирование информации о внутрхозяйственных планах полива и осуществляется формирование сводного календарного плана полива в целом по оросительной системе. Третий технологический этап связан с автоматизацией процесса подготовки оперативных отчётов о ходе проведения поливов.

На рисунке 11 приведена схема компьютерной технологии планирования водопользования, представленная тремя технологическими этапами.

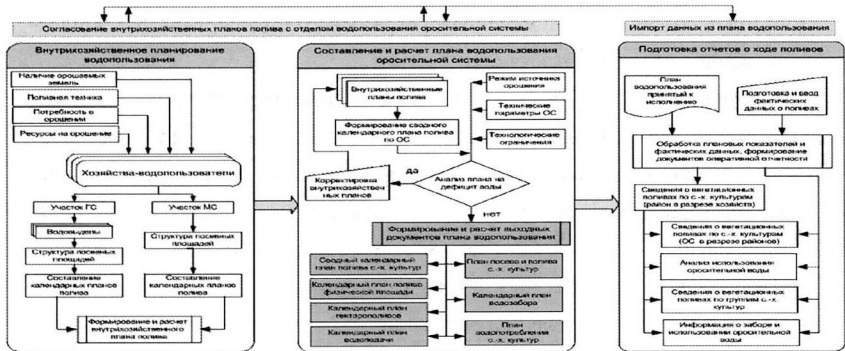


Рисунок 11 – Схема компьютерной технологии планирования водопользования

Настройка разработанных средств на оросительную систему осуществляется с интерфейса программы в режиме «Администратор» путём внесения информации о количественном составе, пропускной способности и взаимном расположении гидротехнических сооружений, информация о которых хранится в базе данных и выводится на экран монитора для просмотра и редактирования данных (рисунок 12).

Структура оросительной системы

Таблица Выход

Год расчёта: 2011

Состав и взаиморасположение ГТС на оросительной системе

Код ГТС	Наименование (шифр)	Тип ГТС	Высшежай. ГТС	Пропускн. способн. м. куб./сек	Площадь орош., га	КПД от ГТС
1	ГНС	Насосная		6	7000	1
2	1-х-7	Водовод	ГНС	0	50	0.8
3	MR1(Паж.)	Дожер	ГНС	0	0	0
4	НС-5	Насосная	НС-5	0.5	811	0.85
6	2-х-4	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	317	0.8
7	НС-6	Насосная	MR1(Паж.)	0.3	400	0.85
8	2-х-2	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	200	0.8
9	НС-19	Насосная	MR1(Паж.)	0.5	861	0.85
10	1-х-9	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	92	0.8
11	5-х-1	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	125	0.8
12	5-х-2	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	126	0.8
13	1-х-8	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	80	0.8
14	1-х-1	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	207	0.8
15	1-х-2	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	100	0.8
16	1-х-2*	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	90	0.8
17	1-х-7	Водовод	MR1(Паж.)	0.1	22	0.8
18	MR2(Паж.)	Дожер	ГНС	0	0	0
19	НС-7	Насосная	MR2(Паж.)	0.5	838	0.8
20	НС-8	Насосная	MR2(Паж.)	0.5	350	0.8
21	НС-12	Насосная	MR2(Паж.)	0.5	500	0.85
22	НС-4	Насосная	MR2(Паж.)	0.5	400	0.85
23	1-х-10	Водовод	MR2(Паж.)	0.1	80	0.8
24	1-х-8	Водовод	MR2(Паж.)	0.1	80	0.8
25	1-х-4	Водовод	MR2(Паж.)	0.1	224	0.8

Хозяйства (пользователи) водовыдела

Наименование хозяйства	Площадь, га	КПД
СПК "Прогресс"		0.8
И.И. Леви, КФХ Платолина Е.В.		0.8

Водопользователи для отдельного водовыдела на участке ГС

Полный список водопользователей Госсистемы

СПК к-э "Приазовье"
Р.У.С. "Первомайский"
СПК к-э "Прогресс"
СПК к-э "Ленинград"
ОАО "Золотая Коса"
ОАО "Ильичевка"
ОАО "Сарны"
И.И. Леви, КФХ Платолина Е.В.
И.И. Леви
Проект ГС

Полный список водопользователей участка государственной системы

Рисунок 12 – Экранная форма режима настройки программных средств на структуру оросительной сети и состав гидротехнических сооружений

В седьмой главе «Оперативное диспетчерское управление водораспределением на оросительных системах с использованием уравнений Сен-Венана» предложена новая методология оперативного диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов на основе использования методов теории подобия при решении уравнений Сен-Венана на основе современных информационных технологий и использования персональных компьютеров.

Методология диспетчерского управления основана на типизации условий течения жидкости между двумя перегораживающими сооружениями, а также на разработке систем унификации каналов и их режимов с использованием теории подобия (И.И. Леви, 1967; Л.И.Седов, 1981), т.е. комбинаций безразмерных параметров, определяющих характеристики неустановившегося движения тяжёлой, несжимаемой, вязкой жидкости в каналах. Это числа подобия Фруда, Рейнольдса, Эйлера и Струхалия, которые превращаются в критерии в том случае, когда входящие в них параметры можно предсказать заранее. Для получения зависимостей между числами и критериями подобия, проведён имитационный эксперимент с математической моделью движения жидкости в каналах с использованием системы уравнений Сен-Венана, практическая адекватность которой реальным процес-

сам многократно подтверждена экспериментальными наблюдениями (А.С. Кучмент, 1972).

Одномерная нестационарная математическая модель Сен-Венана для руслового потока представляет собой систему двух уравнений:

– уравнение динамического равновесия

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2V \frac{\partial Q}{\partial x} + (g\omega - BV^2) \frac{\partial Z}{\partial x} + g\omega \frac{\partial Q}{K^2} |Q| - V^2 \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \Big|_{h=\text{const}} + Bi \right) = 0; \quad (31)$$

– уравнение неразрывности $B + \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q_f = 0.$ (32)

В основе вычислительного алгоритма имитационной модели неустановившегося движения воды (31 и 32) лежит четырёхточечная неявная конечно-разностная схема, предложенная Г.Б.Апалькиным и С.К.Годуновым для расчёта одномерных газодинамических течений. Позже она была переработана и апробирована в отделе прикладной гидродинамики Института гидродинамики СО АН СССР для расчёта медленно изменяющихся течений в открытых руслах О.Ф.Васильевым, С.К.Годуновым, П.А. Атавиным.

В результате решения находятся характеристики потока $Z(x_k, t)$ и $Q(x_k, t)$ ($k=0,1,\dots,l$) во всех точках продольной координаты канала в данный расчётный момент времени t_i . Таким образом, решение находится как бы по слоям, последовательным переходом от t_i к t_{i+1} ($i=1,2,\dots,n+1$).

Алгоритм численного решения уравнений Сен-Венана реализован разработанной нами компьютерной программой «Нестационарное медленноменяющееся течение». Математическая модель стационарного течения получается из задачи (31 и 32) при следующих допущениях:

- задача стационарная, т.е. $\partial z / \partial x = 0$ и $\partial Q / \partial t = 0$; (33)

- геометрическая форма сечения канала постоянна по всей длине, то есть

$$(\partial \omega / \partial x) \Big|_{h=\text{const}} = 0; \quad (34)$$

- функция мощности источника имеет вид:

$$g_f(x) = q_0 + f_1 \delta(x - x_1) + f_2 \delta(x - x_2) + \dots + f_n \delta(x - x_n); \quad (35)$$

- векторы скоростей источников расположены перпендикулярно руслу:

$$v_f = 0; \quad (36)$$

- течение воды происходит в одном направлении, т.е.

$$Q \geq 0. \quad (37)$$

Подставляя выражения (33-35) в уравнение (31) и учитывая (37), получим:

$$\begin{aligned} \frac{2Q(x)}{\omega(h(x))} q_0 + g\omega(h(x)) - B(h(x)) \frac{Q^2(x)}{\omega^2(h(x))} \left(\frac{dh(x)}{dx} - i \right) + \\ + g\omega(h(x)) \frac{Q^2(x)}{K^2(h(x))} - \frac{Q^2(x)}{\omega^2(h(x))} B(h(x)) i = 0, \end{aligned} \quad (38)$$

$$\text{где } Q = \begin{cases} Q_0 + q_0 x, & 0 \leq x < x_1, \\ Q_0 + q_0 x + f_1, & x_1 \leq x < x_2, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ Q_0 + q_0 x + f_1 + f_2 + \dots + f_n, & x_n \leq x < L, \end{cases}$$

Q_0 - расход в точке $x=0$.

Выражение (38) представляет собой обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка относительно функции $h(x)$. Для получения задачи Коши зафиксируем значение $h(x)$ в произвольной точке области $x = \bar{x} \in [0, L]$:

$$h(\bar{x}) = \bar{h}. \quad (39)$$

Уравнения (38) и (39) решены численным методом Рунге-Кутты. Разработана база данных «Стационарные режимы канала МР-2». Алгоритм реализован в компьютерной программе «Лотра.mws», [19]. Алгоритм диспетчерского управления водораспределением реализован в компьютерной программе «ВодораспределениеОС.exe», [20].

Исследования течений в каналах. Изучались особенности течений на экспериментальных участках Миусской ОС с использованием разработанных авторских программ, реализующих стационарные и нестационарные уравнения Сен-Венана. Линейная схема Миусской оросительной системы приведена на рисунке 13. Проведено пять серий численных экспериментов, в том числе: первая серия – нестационарные течения; вторая, третья, четвёртая, пятая серии – стационарные течения.

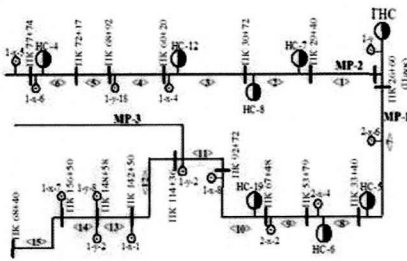


Рисунок 13 – Линейная схема Миусской оросительной системы

В каждой серии опытов определены цель, задачи, начальные условия, объекты и методика проведения расчётов. Первые четыре серии опытов решались с использованием компьютерной программы «Лотра.mws»; пятая – с помощью компьютерной программы «Водораспределение.OC.exe». Нестационарные течения. Первая серия: изучение

нестационарных течений на регулируемом участке канала, возникающих после перерегулирования канала от одного квазистационарного режима течения к другому. Численные эксперименты проводились в три этапа.

Результаты расчетов. Установлено: через 28 минут режим течения воды в канале становится квазиустановившимся; промежуток времени между квазиустановившимися режимами составляет 96 мин.; обоснован цикл проведения перерегулирования, равный двум часам; на каждом временном шаге во всех расчётных точках по длине канала проверено ограничение на величину числа Фруда $Fr \leq 1$. Это означает, что течение в канале можно считать медленноменяющимся.

Стационарные течения. Вторая серия: изучение, расчёт и анализ спектров стационарных режимов течения в каналах при диспетчерском управлении водораспределением.

Результаты расчётов. Проанализированы установившиеся характерные течения на участках канала MP-2 (рисунок 14, 15) с использованной разработа-

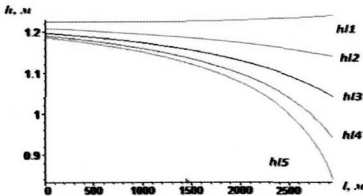


Рисунок 14 – Распределение глубин по длине трапецидального канала для спектра стационарных режимов

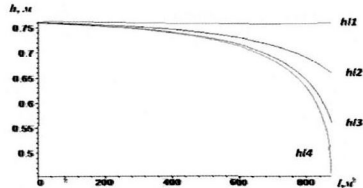


Рисунок 15 – Распределение глубин по длине лотка для спектра стационарных режимов с расходом $Q = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$ (участок 4)

ной авторами компьютерной программы «Лотра.mws».

Третья серия: установить сущность физических эффектов, связанных с разрывностью решений стационарных уравнений при установлении низких уровней воды в конце участков.

Результаты расчётов: по программе получено полное представление о характере стационарных режимов в системе оросительных каналов. Установлено, что разрыв решения происходит как при расчёте нестационарных, так и стационарных уравнений Сен-Венана при совпадении граничных условий.

Четвёртая серия: оценить степень влияния технических характеристик на «зависание» глубины на входе в оросительный канал или лоток.

Результаты расчётов: анализ данных показывает (рисунок 16 и 17), что эффект «зависания» присущ характерным сочетаниям расходов и уклонов дна. В лотках больших типоразмеров прогнозируется аналогичный режим.

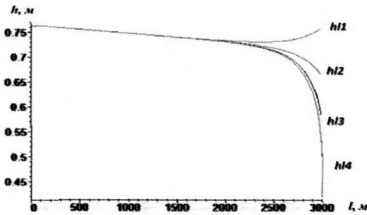


Рисунок 16 – Распределение глубин по длине лотка для спектра стационарных режимов с расходом $Q = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$ (участок 4, длина участка $l = 3000 \text{ м}$)

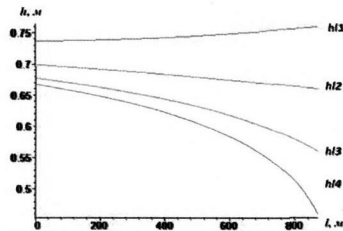


Рисунок 17 – Распределение глубин по длине лотка для спектра стационарных режимов с расходом $Q = 0,40 \text{ м}^3/\text{с}$ (участок 4, уклон $i = 0,00021$)

Пятая серия: определение объёмов воды на участках экспериментального канала с учётом полученных форм кривых свободных поверхностей.

Результаты расчётов: объёмы воды на экспериментальных участках канала МР-2, определённые с учётом полученных форм свободных поверхностей, более точно отражают реальный объём воды по отдельным участкам.

Для расчёта критериев и чисел подобия при управлении водораспределением была использована методика проведения масштабного анализа членов общего дифференциального уравнения, которая была адаптирована к задачам диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов и нашла

дальнейшее совершенствование в настоящей работе. Проведя соответствующие преобразования, получаем числа подобия, которые имеют следующие выражения:

$$Fr = Q_i^2 / (g \cdot \Delta Z \cdot \omega_i^2); \quad Sh = (L \cdot \omega_i) / (t \cdot Q_i); \quad Re = (g \cdot L \cdot \alpha) / (C_i^2 \cdot R_i). \quad (40)$$

В связи с тем, что только геометрическое подобие русел не обеспечивает геометрического и кинематического подобия системы «вода – русло», в число определяющих параметров необходимо включить характерные приращения скоростей во времени (μ) и по длине канала (β). Введя модифицированный параметр β , после несложных преобразований получаем функциональную зависимость для неравномерного установившегося течения для геометрически подобных каналов, имеющую общий вид:

$$1/(\beta \cdot Fr) = f\left(\frac{1}{\beta} \cdot Re, h_{np}/h_0, i, n\right). \quad (41)$$

Для неустановившегося неравномерного течения с учётом преобразованного параметра

$$\mu: \frac{1}{\beta \cdot Fr} = \varphi\left(\frac{\beta}{\mu} \cdot \frac{1}{Sh}; \frac{1}{\beta} Re \frac{h_{np}}{h_0}; n, i\right), \quad (42)$$

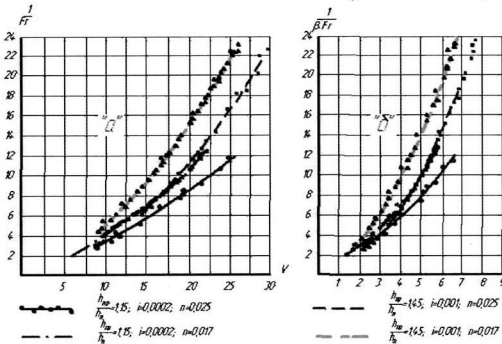


Рисунок 18 – Характерные зависимости Fr от соответствующих параметрических вариаций

Реализация зависимостей установившегося неравномерного течения представлена в виде графиков (рисунок 18,а – при $\beta = 1$; рисунок 18,б – при $\beta \neq 1$) в координатных осях (Fr, Re) и параметрическими вариациями по $i, n, h_{np}/h_0$ с коэффициентами корреляции,

соответственно, 0,98 и 0,89, что подтверждает целесообразность введения параметра β .

Решение задач для неустановившегося неравномерного течения представлено четырёхпараметрическим семейством графиков в координатных осях (Fr^{-1}, Sh^{-1}), каждая точка которых получается с помощью имитационного эксперимента

с уравнениями Сен-Венана (рисунок 19).

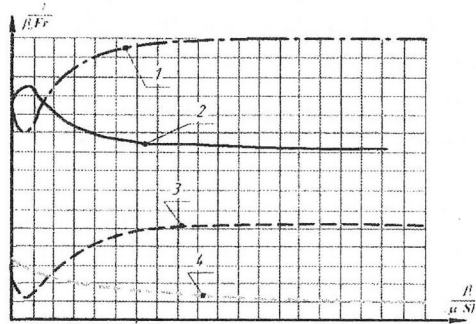


Рисунок 19 – Характерные зависимости параметров при неустановившемся неравномерном режиме движения в каналах

Реализация результатов исследований, полученных на основании решений уравнений Сан-Венана, осуществлена на Миусской ОС. Таким образом, разработанный и реализованный методологический подход для решения задач оперативного диспетчерского управления водораспределением в системах оросительных каналов с использованием безразмер-

ных величин позволяет значительно расширить ареалы его применения в оросительных каналах, имеющих подобие геометрических и кинематических параметров в системе «вода – русло».

Предложенную методологию следует использовать на действующих, реконструированных и вновь проектируемых оросительных каналах.

В восьмой главе «Экономическая и энергетическая эффективность планирования и реализации технологий водопользования» приведены результаты оценки экономической и энергетической эффективности внедрения разработанных технологий на основе действующих нормативных документов в системе АПК и мелиоративной отрасли. Внедрение разработанных технологий на оросительных системах Ростовской области и Ставропольского края на площади 118 тыс. га обеспечило снижение удельного водопотребления сельскохозяйственных культур в расчёте на один гектар физической площади полива в среднем на 375 м^3 , что составило 10% по отношению к уровню заменяемой технологии. Экономия оросительной воды составила $43,6 \text{ млн. м}^3$.

Реализация научных разработок по составлению планов водопользования с

использованием информационных технологий на Миусской ОС в среднем на площади 6,4 тыс. га повысила производительность труда более чем в 15 раз по сравнению с ручным счётом, сэкономию водных ресурсов за счёт их рационального использования в среднем на 8 % от величины забора воды в систему, что составило 950 тыс. м³ и сэкономию электроэнергии на 5,5 % от общего потребления в течение вегетационного периода.

Оперативное диспетчерское управление водораспределением, проведённое на основе разработанного программного комплекса в системе оросительных каналов распределителя МР-2 Миусской ОС, обеспечило оперативность, надёжность и высокое качество принимаемых управленческих решений, полную ликвидацию технологических сбросов и экономию водных ресурсов до 6,0 % от общей подачи на орошение по каналу МР-2, что составило 230 тыс. м³.

Определена энергетическая эффективность и рентабельность возделывания каждой исследуемой сельскохозяйственной культуры при дифференциации поливных норм и доз внесения минеральных удобрений. Коэффициенты энергетической эффективности для кормовых культур изменяются от 2,90 до 1,31; овощных – от 3,16 до 1,46. Для всех диапазонов изменения коэффициентов определена рентабельность производства продукции. Полученные результаты были сопоставлены с данными авторов, проводивших исследования по аналогичной методике.

Анализ данных экономической и энергетической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур обосновал возможность выбора оптимального варианта из серии исследуемых, обеспечивающего снижение водных и энергетических ресурсов на 20 % от нормативного при допустимой вариации рентабельности производства продукции в пределах $\pm 3,0\%$ от соответствующих нормативных значений.

Для выбора заданного варианта эффективности возделывания сельскохозяйственных культур следует использовать разработанную нами методологию построения области кривых в относительных координатах, показывающих взаимосвязь прироста урожайности от вариации затрат на орошение. Такие области кривых получены при проведении исследований на перце сладком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам проведенного информационно-аналитического анализа создана информационная база данных по основным показателям деятельности оросительных систем Ростовской области за период с 1960 по 2012 годы, на основе которой дана комплексная оценка технического уровня оросительных систем Ростовской области и установлена их принадлежность к третьему и четвертому разряду, то есть находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии. К примеру, площади засоленных земель составляют 15-20 % от общего их наличия; площади с критической глубиной залегания уровня грунтовых – до 31 %; коэффициент полезного действия межхозяйственных каналов не превышает 0,65; каналы инженерного типа на внутрихозяйственной сети – от 65 % до 70 %; протяжённость межхозяйственной коллекторно-дренажной сети составляет от 5 до 10 п.м. на 1 гектар. Для повышения технического уровня оросительных систем предложен комплекс мероприятий, включающий пять технологических блоков и обеспечивает их выбор, учитывая конкретные особенности систем.

2. Впервые теоретически обоснована и разработана базовая комплексная функциональная структура управления технологическими процессами водопользования на оросительных системах с использованием метода системного анализа, математического и имитационного моделирования и на основе рассмотрения оросительной системы как сложного информационного природно-технического объекта управления с учётом предложенных новых моделей оперативного управления поливами сельскохозяйственных культур и двухуровневой системы управления оптимизацией водопользования, включающая восемь взаимоувязанных между собой блоков: водопотребления сельскохозяйственных культур, водораспределения в системе оросительных каналов; технического, агроклиматического и мелиоративного состояний; технологических карт; правового и экологического обеспечения. Комплексная функциональная структура обеспечивает планирование и реализацию технологических процессов водопользования в едином информационном пространстве, значительно повышает точность определения парамет-

ров моделей, эффективность использования водных и энергетических ресурсов, создание нормальной экологической обстановки в агроландшафтах.

3. Предложена система технико-экономических показателей эффективности планирования и реализации технологических процессов водопользования на оросительных системах и разработаны методики их определения; обоснована универсальная классификация интегральных и основных нормативных показателей по оценке технического уровня оросительных систем, включающая пять категорий: высшая (экологически сбалансированные оросительные системы); первая – хороший технический уровень (нормативный); вторая – удовлетворительный; третья – неудовлетворительный; четвёртая – недопустимый, с диапазоном изменения численных значений их критериальных уровней по каждому из показателей. Интегральные показатели, в свою очередь, делятся на основные (4 показателя) и дополнительные (9 показателей). Основные включают: общий коэффициент полезного использования оросительной воды на системе (η_0), который по категориям технического уровня составляет, соответственно, высшая – 1,0...0,98; первая – 0,98...0,96; вторая – 0,96...0,90; третья – 0,9...0,83; четвёртая – менее 0,83. Аналогичные пределы по всем категориям установлены как для остальных четырёх основных показателей – коэффициент полезного действия межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительной сети, устойчивости и ритмичности процесса водопользования, так и для девяти дополнительных.

4. Проведённые полевые исследования на комплексных экспериментальных объектах позволили:

– определить закономерности распределения оросительной воды по всей иерархии оросительных каналов и на полях орошения, с определением фактических значений коэффициентов полезного действия (средних): межхозяйственной сети – 0,7; внутрихозяйственной – 0,77; временных оросителей – 0,84; коэффициенты продуктивного использования оросительной воды на полях орошения – 0,85; обеспеченности водой сельскохозяйственных культур – 0,87; общий коэффициент полезного использования оросительной воды на исследуемых объектах, определённый по модифицированной автором формуле А.Н. Костякова, составил в среднем 0,39;

– установить зависимости изменения плановых и фактических величин забора воды в зависимости от фактора времени в течение вегетационного периода в абсолютных и относительных величинах за временной период 1992-2008 годы, которые описываются параболическими уравнениями с коэффициентами детерминации, соответственно 0,89; 0,97; 0,84; 0,97; 0,93, с максимальными значениями абсолютных и относительных величин в июле месяце каждого вегетационного периода;

– определить значения коэффициентов ритмичности, характеризующие уровень сопоставимости фактических и плановых значений по оросительным системам Ростовской области за период с 1980 по 2011 годы по следующим показателям: суммарный забор воды из источника орошения, подача воды в точки выдела водопользователям, которые составили $K_{R1} = 0,55$, $K_{R2} = 0,54$; для Багаевско-Садковской оросительной системы: $K_{R3} = 0,32$, $K_{R4} = 0,49$.

5. На основе изучения структуры и элементов водного баланса орошаемого поля определены численные значения атмосферных осадков, оросительных норм, влагозапасов в расчётном слое почвы, суммарного испарения и урожайности сельскохозяйственных культур для лет различной обеспеченности по дефициту естественного увлажнения, что позволило разработать рациональный режим орошения сельскохозяйственных культур, обеспечивающий экономию водных и энергетических ресурсов на 20 % по отношению к максимальным значениям при нормативной влагообеспеченности расчётного слоя почвы.

6. Впервые разработана методика планирования и управления водопользованием на оросительных системах с учётом разработанных алгоритмов и программ для оценки эффективности водопользования и выполнения ремонтно-эксплуатационных работ; методики определения суммарного испарения, учитывающей фактическую динамику влажности почвы в расчётном слое и изменчивость гидрометеорологических параметров, что обеспечивает повышение точности определения суммарного испарения на 25 %.

Величина суммарного испарения рассчитывается на основе использования взаимосвязи с испаряемостью, значение которой определяется по региональной

эмпирической зависимости, имеющей общий вид $E_w = A(d_\varphi)^{b \cdot t}$, с $R^2 = 0,84$, где A и b – эмпирические коэффициенты; d_φ – дефицит влажности воздуха, мб/сут.; t – среднесуточная температура воздуха, °С. Установлено, что биоклиматические коэффициенты суммарного испарения также наиболее точно определяются по испаряемости, а взаимосвязь модульных коэффициентов суммарного испарения и испаряемости, по экспериментальной зависимости:

$$K_{\Delta ET} = 0,051K_{\Delta E_w}^2 + 1,39K_{\Delta E_w} - 0,45, \text{ с } R^2 = 0,93.$$

7. Разработаны новые алгоритмы и компьютерная программа «PlanVP.exe», [18] на базе использования информационных технологий, математического моделирования, методов системного анализа, теории оптимальных решений, которые обеспечили значительное повышение производительности труда по сравнению с ручным счётом, экономию водных и энергетических ресурсов, упрощение системы сбора, обработки и передачи информации.

8. Разработаны новые алгоритмы и компьютерные программы «ЛЮГРА.mws» [19] и «ВодораспределениеОС.exe» [20] на основе использования теории подобия для решения системы уравнений Сен-Венана при различных режимах течения воды в каналах, что обеспечило оперативность, надёжность и высокое качество принимаемых управленческих решений, полную ликвидацию технологических сбросов и экономию водных и энергетических ресурсов.

9. Впервые разработана методика оперативного диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных каналов, использующая полученные зависимости между выведенными числами и критериями подобия для установившегося и неуставившегося течений воды в типовых элементарных участках оросительных каналов на основании реализации численных экспериментов с уравнениями Сен-Венана по новым компьютерным программам. Внедрение разработанной методики произведено на Миусской оросительной системе Ростовской области.

10. Определена экономическая эффективность внедрения технологий планирования и оперативного управления водопользованием на оросительных системах Ростовской области и Ставропольского края на площади 118,0 тыс.га.,

что обеспечило снижение удельного водопотребления по отношению к базовому на 375 м³. Коэффициенты энергетической эффективности при возделывании кормовых культур изменялись от 2,9 до 1,31; овощных – от 3,16 до 1,46.

РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В водохозяйственных организациях ФГБУ «Управление мелиорации земель и сельскохозяйственного водоснабжения ...» системы Департамента Мелиорации Минсельхоза РФ, а также в отдельных хозяйствах-водопользователях внедрять разработанные рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах.

2. Оперативное управление поливами сельскохозяйственных культур в хозяйствах рекомендуется проводить по разработанной рациональной технологии, обеспечивающей экономию водных и энергетических ресурсов на 20 % по отношению к максимальным (нормативным) значениям.

3. В управлениях оросительных систем, имеющих вычислительную технику, применять разработанные и прошедшие опытно-производственную проверку рекомендации по составлению и реализации планов водопользования на оросительных системах с использованием информационных технологий, а также оперативного диспетчерского управления водораспределением в системе оросительных капалов.

4. При проектировании новых оросительных систем и реконструкции имеющихся использовать разработанные алгоритмы и программы по расчёту режимов орошения сельскохозяйственных культур и эффективности процесса водопользования, обеспечивающих рациональное использование водных и энергетических ресурсов.

Перспективы дальнейшей разработки темы:

– разработать методологию планирования водопользования и оперативного управления водораспределением с применением информационных технологий, методов математического и имитационного моделирования, теории подобия, обеспечивающих их применение для различных конструктивных особенностей

оросительных систем и почвенно-климатических условий районов орошения;

– разработать автоматизированные системы управления технологическими процессами при эксплуатации оросительных систем (АСУТП ЭМС);

– разработать для каждой климатической зоны эксплуатационные режимы орошения сельскохозяйственных культур на основе проведения натуральных исследований по установлению нелинейных зависимостей суммарного испарения сельскохозяйственных культур от фактических гидрометеорологических параметров и запасов влаги в расчётном слое почвы;

– установить значения биоклиматических коэффициентов для каждой сельскохозяйственной культуры и природно-климатических зон орошения.

Список опубликованных работ

В изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ

1. Ольгаренко, И.В. Зависимость суммарного испарения от урожайности кормовой свёклы в условиях полусухой степной зоны Ростовской области / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко // Тр. КубГАУ. – 2006. – №4. – С. 42-46.
2. Ольгаренко, И.В. Управление технологическими процессами на экологически сбалансированных оросительных системах / И.В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 21-24.
3. Ольгаренко, И.В. Расчёт суммарного испарения сельскохозяйственных культур с учётом изменчивости гидрометеорологических факторов / И.В. Ольгаренко // Вестник Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2008. – №6. – С. 69-72.
4. Ольгаренко, И.В. Оценка эффективности планового водопользования / И.В. Ольгаренко // Тр. КубГАУ. – 2008. – №2. – С. 65-68.
5. Ольгаренко, И.В. Оценка качества планирования и реализации водопользования на оросительных системах / И.В. Ольгаренко // Вестник Рос. акад. с.-х. наук. – 2009. – №4. – С. 35-37.
6. Ольгаренко, И.В. Экологически устойчивые мелиоративные системы / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко // Тр. КубГАУ. – 2009. – №6(21). – С. 205-209.
7. Ольгаренко, И.В. Рационализация режима орошения в условиях изменчивости гидрометеопараметров (на примере кормовой свёклы) / И.В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 32-35.
8. Ольгаренко, И.В. Техничко-экономические показатели эффективности водопользования на оросительных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко //

Природообустройство. – 2009. – №4. – С. 102-107.

9. Ольгаренко, И.В. Экологический мониторинг мелиоративных систем / И.В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 4. – С. 44-47.
10. Ольгаренко, И.В. Планирование и реализация ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко // Вестник Рос. акад. с.-х. наук. – 2010. – №4. – С. 8-11.
11. Ольгаренко, И.В. О гидравлическом сопротивлении пористой среды при определении потерь воды на фильтрацию методом фильтрационных колонн / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко // Тр. КубГАУ. – 2010. – №6 (27). – С. 149-153.
12. Ольгаренко, И.В. Методология функционирования экологически сбалансированных оросительных систем / И.В. Ольгаренко // Труды КубГАУ. – 2010. – №6 (27). – С. 181-186.
13. Ольгаренко, И.В. Программное обеспечение процесса планирования водопользования на оросительных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Селюков // Природообустройство. – 2011. – №4. – С. 4-8.
14. Ольгаренко И.В. Оперативное водораспределение в системах оросительных каналов / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, О.П. Кисаров // Вестник Рос. акад. с.-х. наук. – 2011. – №3. – С. 34-37.
15. Ольгаренко, И.В. Методы теории подобия для решения уравнений Сен-Венана при оперативном диспетчерском управлении водораспределением на оросительных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, О.П. Кисаров // Вестник Рос. акад. с.-х. наук. – 2012. – №2. – С. 12-14.
16. Ольгаренко, И.В. Компьютерная технология планирования водопользования в оросительных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, В.И. Селюков // Вестник Рос. акад. с.-х. наук. – 2012. – №4. – С. 12-15.
17. Ольгаренко В.И., Селюков В.И., Ольгаренко И.В. Алгоритм формирования и расчёта плана посева и полива сельскохозяйственных культур с использованием информационных технологий / И.В. Ольгаренко, В.И. Селюков, В.И. Ольгаренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2012. – № 1(25). – С. 124 -129

Компьютерные программы, зарегистрированные в РОСПАТЕНТе

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010616506 Российская Федерация, «Расчёт плана водопользования на государственных оросительных системах («PlanVP.exe»)» / Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Селюков В.И., Балакай Г.Т., Сенчуков Г.А.
19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

- №2012614736 Российская Федерация, «Расчёт спектра стационарных режимов течения воды в трапецидальных каналах и лотках (ЛОТРА.mws)» / Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Кисаров О.П., Захарченко Н.С., Бузало Н.С., Бузало Г.А.
20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012614735 Российская Федерация, «Информационная поддержка диспетчерского управления водораспределением в системе каналов (Водораспределение.exe)» / Ольгаренко В.И., Ольгаренко И.В., Кисаров О.П., Захарченко Н.С., Бузало Н.С., Бузало Г.А.

Монография

21. Ольгаренко, И.В. Прогноз и оперативное планирование режимов орошения сельскохозяйственных культур на обыкновенных чернозёмах Ростовской области: монография / И.В. Ольгаренко. – Новочеркасск: Изд-во НГМА, 2008. – 123 с.

Статьи в сборниках научных конференций и симпозиумов

22. Ольгаренко, И.В. Расчётный метод определения испаряемости по гидрометеопараметрам / И.В. Ольгаренко // Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: сб. науч. докл. межд. науч.-техн. конф. (1-4 дек.2003 г.) ФГНУ ВНИИ «Радуга. – Коломна, 2003. – С. 64-69.
23. Ольгаренко, И.В. Совершенствование эксплуатации экологически ориентированных мелиоративных систем / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко // Энергообеспечение и энергосбережение в с.-х. 4-я междунар. науч.-техн. конф. (12-13 мая 2004 г.) ВИЭсх. – М., 2004. – С. 82-89.
24. Ольгаренко, И.В. Управление технологическими процессами на экологически ориентированных гидромелиоративных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко // Проблемы и перспективы развития мелиорации, водного и лесного хозяйства: сб. науч. ст. по мат. конф. посвящ. 75-летию РАСХН. – М., 2004. – С. 97-104.
25. Ольгаренко, И.В. Экологические проблемы ирригации и дренажа в аридной зоне / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко // 55 сессия Международного комитета МКИД и межрегиональная конференция «Производство продовольствия и вода: социально-экономические проблемы ирригации и дренажа», (8-10 сент. 2004 г.). – М., 2004. – С. 82-89.
26. Ольгаренко, И.В. Определение испаряемости по гидрометеопараметрам / И.В. Ольгаренко // Опыт и перспективы использования поливной техники на орошаемых землях: сб. науч. тр. по мат. межд. науч.-практ. семинара (15-16 дек. 2005 г.) ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2005. – С. 61-67.
27. Ольгаренко, И.В. Метод прогноза дифференцированных режимов орошения

кормовой свёклы / И.В. Ольгаренко // Международная академия экологии и природопользования: сб. тр. по мат. межд. науч.-практ. конф. (2-3 февр. 2006 г.), НГМА. – Новочеркасск, 2006. – С. 102-105.

28. Ольгаренко, И.В. Прогноз суммарного испарения с учётом изменчивости гидрометеорологических факторов / И.В. Ольгаренко // Мелиорация антропогенных ландшафтов: межвуз. сб. науч. тр.; Т.27. Вопросы защиты и улучшения городских и сельскохозяйственных территорий. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ) – 2007. – С. 134-138.

29. Ольгаренко, И.В. Плановое водопользование на оросительных системах / И.В. Ольгаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» под ред. В.Н. Щедрина вып. 39. Ч.1. – Новочеркасск, 2008. – С. 93-97

30. Ольгаренко, И.В. Методы системного анализа при планировании водопользования / И.В. Ольгаренко // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. ст. ФГНУ «РосНИИПМ» под ред. В.Н. Щедрина – Новочеркасск, 2008. – Вып. 39., Ч.1.– С.78-83.

31. Ольгаренко, И.В. Прогноз дифференцированных режимов орошения в условиях дефицита водных ресурсов / И.В. Ольгаренко // Проблемы и тенденции устойчивого развития аграрной сферы: Материалы межд. науч.-практ. конф. (4-7 февр. 2008 г.). – Волгоград: ВГСХА, 2008. – Т. 2.– С. 123-127.

32. Ольгаренко, И.В. Методические основы повышения достоверности информационного обеспечения нормирования орошения / И.В. Ольгаренко // Материалы науч.-практ.конф. «Эффективность мелиораций на Юге России» (23-24 сент. 2009г.) ФГОУ ВПО НГМА. – Новочеркасск: Лик, 2009. – Вып. 7., т. 1. – С. 117-121.

33. Ольгаренко, И.В. Информационно-советующая система при планировании водопользования / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко // Материалы межд. науч.-практ. конф. посвящ. 45-летию образования эколого-мелиоративного фак-та ВГСХА. – Волгоград, 2009. – С. 72-76.

34. Ольгаренко, И.В. Модель прогноза планового водопользования на оросительных системах / И.В. Ольгаренко // Материалы науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития мелиоративно-водохоз. комплекса юга России». (23-24 сент. 2010 г.); ФГОУ ВПО НГМА. – Новочеркасск, 2010. – Вып. 8. – С. 96-101.

35. Ольгаренко, И.В. Нормирование орошения с/х культур с использованием комплексной гидрометеорологической информации / И.В. Ольгаренко // Мате-

риалы науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы разв. мелиор. и водного хозяйства» (29-30 окт. 2011 г.); ФГБОУ ВПО НГМА. – Новочеркасск: Лик, 2011. – С. 117-121.

36. Ольгаренко, И.В. Методология составления планов водопользования на оросительных системах с использованием информационных технологий / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, В.Иг. Ольгаренко и др. // Материалы науч.-практ. конф. «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы» (25-26 окт. 2012 г.) Секция «Роль мелиорации, лесного и водного хозяйства в развитии аграрного сектора». – зерноград, 2012. – С. 159-161.

37. Ольгаренко, И.В. Управление водораспределением на оросительных системах / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, О.П. Кисаров и др. // Материалы науч.-практ. конф. «Инновационные пути развития агропромышленного комплекса: задачи и перспективы» (25-26 окт. 2012 г.) Секция «Роль мелиорации, лесного и водного хозяйства в развитии аграрного сектора». – зерноград, 2012. – С. 162-165.

38. Ольгаренко, И.В. Диспетчерское управление водораспределением в системе оросительных каналов на основе решения уравнений Сен-Венана / И.В. Ольгаренко, В.И. Ольгаренко, О.П. Кисаров // Материалы науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития мелиоративного, лесомелиоративного и водохозяйственного комплексов юга России (Шумаковские чтения)»; ФГБОУ ВПО НГМА. – Новочеркасск, 2012. – С. 301-306.

Подписано в печать 27.08.2013 Формат 60 x 84 1/16

Объем 2,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ №641

Отдел оперативной полиграфии ФГБОУ ВПО НГМА,
346428, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111