

На правах рукописи



Пономаренко Таисия Сергеевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ
РЕСУРСОВ НА РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

4.1.5 – Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новочеркасск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»).

Научный руководитель: **Сенчуков Герман Александрович**
кандидат технических наук

Официальные оппоненты: **Бандурин Михаил Александрович**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ
ВО «Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина», декан

Бубер Алина Александровна
кандидат технических наук, ФГБНУ «Феде-
ральный научный центр гидротехники и ме-
лиорации имени А. Н. Костякова», старший
научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего обра-
зования «**Волгоградский государственный
аграрный университет**»

Защита состоится « 8 » ноября 2023 г. в 14 ч. 00 мин. на заседании объединенного диссертационного совета 99.0.104.02 при ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» по адресу: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская 111, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ <http://www.ngma.su>, на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ <http://vak.ed.gov.ru/>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р техн. наук, доцент



И. В. Ольгаренко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Для решения производственных и управленческих задач динамично развивающегося аграрного производства необходимы современные технологии сбора и обработки информации, в том числе географические информационные системы (ГИС). Они особенно востребованы в организациях, эксплуатирующих мелиоративные системы, где значительный объем данных представляется на бумажных носителях, что затрудняет анализ и снижает оперативность управления. Применение геоинформационных технологий позволяет с помощью геопространственного анализа в автоматическом режиме обрабатывать, отображать и анализировать информацию, увеличивая скорость и качество выходных данных.

Эффективность современных технологий орошения сельскохозяйственных культур во многом определяется состоянием оросительной сети и организацией научно обоснованного водопользования. Особенно сложно выполнение этих мероприятий на рисовых оросительных системах. Так, в хозяйствах Ростовской области для формирования 1 т риса-сырца расходуется от 4,02 тыс. м³ до 8,45 тыс. м³, т. е. разница в водоемкости достигает 100 %. Для дальнейшего повышения рациональности водопользования на оросительных системах, эффективного использования водных ресурсов в условиях их дефицита необходим комплекс исследований на основе ГИС-технологий и разработка научных решений, направленных на структурирование и цифровизацию эксплуатационных данных, а также совершенствование технологического процесса орошения.

Степень разработанности темы исследований. Использование ГИС-систем в сельском хозяйстве изучалось Н. В. Бышовым, А. Н. Бачуриным, Д. О. Олейником, Ю. В. Якуниным, В. В. Бородычевым, М. Н. Лытовым и др. Однако, в их работах не рассмотрены вопросы эксплуатации оросительных систем и рационального использования водных ресурсов.

Повышению эффективности использования водных ресурсов на открытых оросительных системах посвящены работы отечественных и зарубежных ученых: В. Н. Щедрина, В. И. Ольгаренко, Б. Б. Шумакова, И. П. Айдарова, В. П. Остапчика, И. П. Кружилина, М. С. Григорова, Ю. А. Свистунова, Ф. К. Абдразакова, G. G. Weldeabzgi, A. Upadhyaya, A. Ikudayisi и др. Моделирование процессов водораспределения детально изучено И. В. Ольгаренко. Им отмечена необходимость разработки алгоритмов оперативного управления водораспределением с учётом конструктивных особенностей оросительных систем и почвенно-климатических условий, а также эксплуатационных режимов орошения сельскохозяйственных культур для каждой природно-климатической зоны с учетом испарения и запасов влаги в расчётном слое почвы.

Технологии возделывания риса подробно рассмотрены в работах З. Ф. Туляковой, К. П. Шумаковой, В. А. Попова, О. Е. Ясониди, М. А. Андрюшина, И. П. Кружилина, М. А. Ганиева, В. В. Бородычёва, Н. Н. Малышевой и др.

Отсутствие цифровизации и структурирования данных – не единственная проблема эксплуатационных организаций. В условиях дефицита водных ресурсов не менее важно их рациональное использование. Анализ многолетних экс-

платационных данных показал, что при расчёте объёмов водоподачи часто используются завышенные нормы водопотребности, не учитываются такие характеристики, как коэффициент увлажнения, гранулометрический состав почв, степень засоления и уровень грунтовых вод. Также ввиду неудовлетворительного состояния каналов их КПД значительно снижен. Это приводит к увеличению потерь на фильтрацию и непроизводительные сбросы.

Таким образом, важнейшими задачами мелиоративной науки являются совершенствование имеющихся и разработка новых технических и технологических решений по проблеме рационализации использования водных ресурсов, обеспечивающих значительное повышение технического уровня оросительных систем и эффективности АПК.

Цель работы – повышение эффективности использования водных ресурсов на основе геоинформационных технологий управления водораспределением на рисовых оросительных системах.

Задачи исследований:

1. Проанализировать состояние проблемы и установить основные направления совершенствования водопользования на рисовых оросительных системах;
2. Обосновать и разработать структуру геоинформационной базы для повышения эффективности использования водных ресурсов рисовых оросительных систем;
3. Усовершенствовать технологии распределения водных ресурсов на рисовых оросительных системах на основе разработанных алгоритмов и компьютерной гидродинамической модели;
4. Оптимизировать технологический процесс орошения риса на основе изучения закономерностей эвапотранспирации в зависимости от динамики гидрометеорологических факторов;
5. Разработать конструкцию водозаборного сооружения с автоматическим регулированием водоподачи в каналы младшего порядка оросительной сети.

Научная новизна:

1. Разработана структура геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющая посредством геопространственного анализа получать эксплуатационные параметры, обеспечивающие повышение эффективности управленческих решений;
2. Усовершенствована технология распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов на основе разработки гидродинамической модели движения потока и структуры геоинформационной базы данных для оросительной системы;
3. Усовершенствован технологический процесс орошения риса на основе полученных эмпирических зависимостей эвапотранспирации от динамики гидрометеорологических факторов;
4. Разработаны алгоритмы корректировки водоподачи на рисовое поле и модель использования системы алгоритмов, а также программы для ЭВМ, повышающие рациональность использования водных ресурсов на рисовых систе-

мах;

5. Предложена конструкция водозаборного сооружения с автоматической регулировкой объёма водоподдачи в каналы младшего порядка.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании и разработке структуры геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющей систематизировать ее эксплуатационные параметры; гидродинамической модели движения потока на участке Пролетарской оросительной системы; алгоритмов и компьютерных программ для расчета и посуточной корректировки объемов водоподдачи в реальном временном периоде, полученных на основе эмпирических зависимостей эвапотранспирации от динамики гидрометеорологических факторов; усовершенствовании технологического процесса орошения риса на основе изучения структуры водного баланса орошаемого поля и нормирования подачи и распределения водных ресурсов.

Практическая значимость заключается в разработке информационной базы данных и программ для ЭВМ. Подтверждением практической значимости являются результаты внедрения программных продуктов в эксплуатационных организациях Ростовской области.

Методология и методы диссертационного исследования.

Теоретические исследования проводили на основе методов системного анализа, геоинформационных и математических методов, полевые – с применением современных методик и оборудования. Для обработки данных использованы методы математической статистики и компьютерное моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

1. Структура геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющая систематизировать ее эксплуатационные параметры;
2. Усовершенствованная технология распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов на основе гидродинамической модели;
3. Технологический процесс орошения риса, оптимизированный на основе полученных эмпирических зависимостей эвапотранспирации в увязке с динамикой гидрометеорологических факторов;
4. Алгоритмы для определения и корректировки объемов подачи воды на рисовое поле, модель использования системы алгоритмов и реализованные на их основе программы для ЭВМ;
5. Конструкция водозаборного сооружения с автоматической регулировкой объёма водоподдачи в каналы младшего порядка.

Степень достоверности и апробация результатов работы подтверждается достаточным объёмом экспериментального и статистического материала, использованием стандартных методик математико-статистической обработки данных, высокой сходимостью теоретических и экспериментальных данных исследований, результатами внедрения в эксплуатационных организациях. Основные положения работы были представлены и одобрены на всероссийских и международных конференциях: ФГБНУ «РосНИИПМ» (2016, 2018, 2021 гг.), ФГБНУ «ВолжНИИГиМ» (2016 г.). Гидродинамическая модель ка-

нала отмечена золотой медалью Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (г. Москва, 2016 г.).

Публикации. Результаты исследований изложены в 13 публикациях, из которых 3 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья – в международной наукометрической базе Scopus, получены патент РФ на изобретение и 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объём работы составляет 160 страниц машинописного текста, включая 51 рисунок, 19 таблиц, список литературы из 157 наименований, в том числе 11 иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражены актуальность темы диссертации, цель и задачи исследований, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также приведены методология и методы исследований, результаты внедрения, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в мелиоративном комплексе» приведен обзор справочной и научно-технической литературы по вопросам использования водных ресурсов и ГИС-технологий в мелиоративном комплексе России. Установлено, что ГИС-технологии, используемые в сельском хозяйстве, не охватывают вопросы эксплуатации оросительных систем. Выявлено, что помимо износа оросительных систем и неудовлетворительного мелиоративного состояния земель, одним из основных отрицательных факторов является низкоэффективное использование забираемой из источника оросительной воды. Поэтому для дальнейшего повышения рациональности водопользования на оросительных системах необходим комплекс исследований на основе ГИС-технологий и разработка научных решений, направленных на структурирование и цифровизацию эксплуатационных данных, а также совершенствование технологического процесса орошения.

Во второй главе «Натурные исследования технического состояния рисовых оросительных систем» представлены методика, условия проведения и результаты исследований.

Современные аспекты управления водопользованием на рисовых оросительных системах рассмотрены на примере Пролетарской оросительной системы – наиболее водоёмкого объекта в Ростовской области. Натурное обследование 30 км участка магистрального канала и 15 км межхозяйственного распределителя ПР-1 выявило следующие негативные факторы: оплывы откосов канала, интенсивное зарастание откосов водной растительностью, просадки и смещения плит крепления на участках крепления откосов бетонными плитами и следы эрозии на бетонных поверхностях. Это приводит к изменению геометрических параметров русла канала: изначально трапецеидальное сечение канала стремится к параболическому профилю, что негативно сказывается на его пропускной способности и, как следствие, приводит к уменьшению КПД.

Для проведения сценарных исследований в программном комплексе MIKE была разработана гидродинамическая модель участка Пролетарского магистрального канала общей протяжённостью более 30 км. Данный гидродинамический модуль осуществляет численное интегрирование уравнений неразрывности и сохранения энергии Сен-Венана с использованием неявной конечно-разностной схемы Эббота-Ионеску.

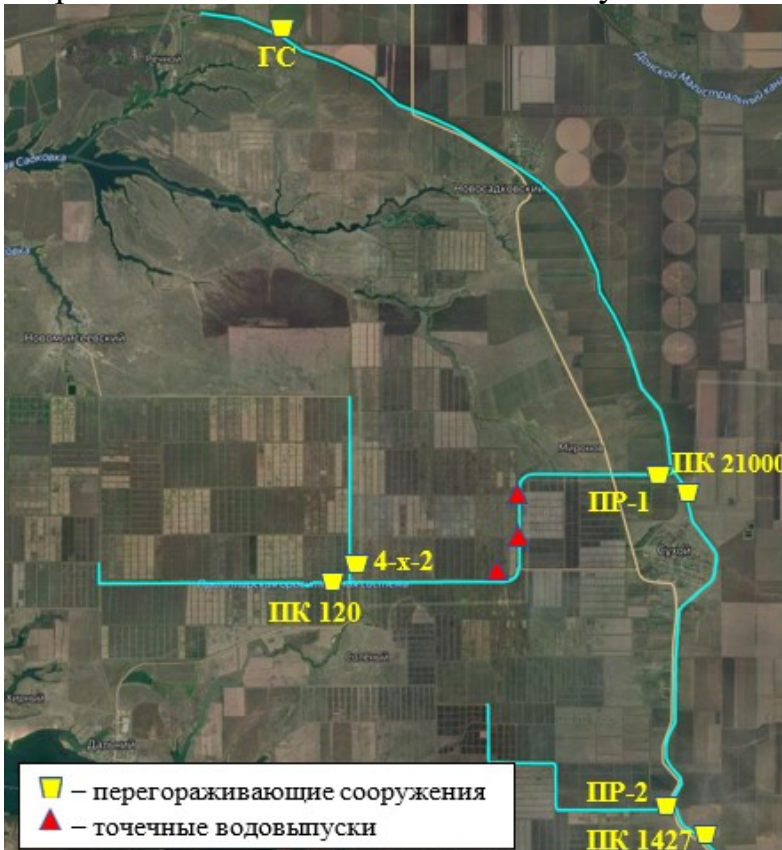


Рисунок 1 – Участок моделирования (космоснимок SAS.Planet)

Помимо основной ветки, в модель также вошли межхозяйственные каналы ПР-1 и ПР-2 и внутрихозяйственный – 4-х-2 (рисунок 1). Для создания модели использованы топографические, гидротехнические и гидрологические данные. Геометрия канала описывалась 52 поперечными сечениями. Модель разрабатывалась с учётом действующих водовыпусков и перегораживающих сооружений. Режим работы затворов задан на основании данных эксплуатационной организации. Результаты моделирования позволили детально проанализировать работу участка оросительной системы: установить

расходные и скоростные характеристики потока, определить объёмы водоподачи на каждом водовыпуске и по всей протяжённости канала.

Продольный профиль магистрального канала условно разделили на три участка (рисунок 2): участок 1 – от головного сооружения до водовыпуска на ПР-1, протяжённостью 19,97 км; участок 2 – ниже водовыпуска на ПР-1 до ПР-2, протяжённостью 10,53 км; участок 3 – протяжённостью 1 км от сооружения на ПК 1427 до конца модели. На участке 1 максимальное значение скорости 4,2 м/с зафиксировано в районе расположения перегораживающего сооружения. Средняя скорость течения при этом не превышала 0,55 м/с. На участках 2 и 3 средние показатели скорости были практически одинаковы и не превышали 0,38 м/с, за исключением пикового значения 5,5 м/с в створе сооружения на ПК 1427. Средние скорости потока по всей длине канала ПР-1 изменялись от 0,4 до 0,55 м/с. Максимальные значения (8,8 м/с, 3,53 м/с и 8,24 м/с) зафиксированы на водовыпуске ПР-1, быстротоке и перегораживающем сооружении на ПК-120 соответственно.

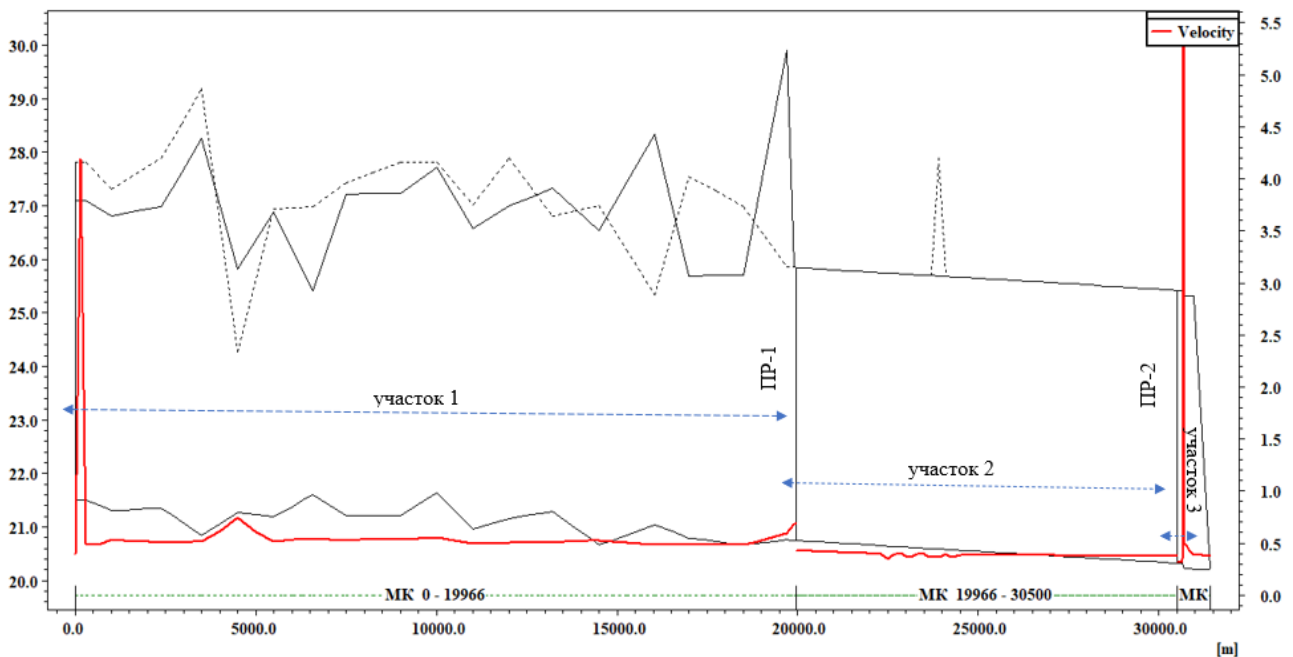


Рисунок 2— Продольный профиль магистрального канала с изображением максимальных скоростей (программа MIKE FLOOD)

Анализ распределения водных ресурсов показал, что около 1 млн м³ уходит на заполнение канала на участке от головного сооружения до водовыпуска ПР-1. На данном участке наиболее водоёмким является канал ПР-1, который забирает более 30 % от общего объёма. На участке от водовыпуска ПР-1 до сооружения на ПК 120 общий объём забора воды составляет 32 млн м³. Распределитель 4-х-2 забирает четверть от общего объёма данного распределителя. Канал ПР-2 максимальной пропускной способностью 6 м³/с распределяет объём 54 млн м³. В результате моделирования установлено, что более половины объёма распределяется на участке ниже сооружения на ПК 1427.

В третьей главе «Теоретическое обоснование подходов рационального использования водных ресурсов» представлены результаты теоретических исследований, направленных на усовершенствование существующей технологии распределения водных ресурсов по системе каналов, и предложена методика расчетов объемов водоподачи на открытых оросительных системах.

В результате анализа массивов данных, характеризующих эксплуатационный режим участка Пролетарской оросительной системы, была разработана структура геоинформационной базы данных (рисунок 3), которая позволила упорядочить имеющиеся эксплуатационные параметры с учетом географической привязки к местности, что обеспечило повышение эффективности управленческих решений. В данной базе использован послойный принцип организации информации, который соотносится с приемами традиционной картографии. В структуре базы данных было выделено пять основных блоков, каждый из которых подразделен на дополнительные элементы.

Первый блок – картографическая основа для привязки объектов к местности. В разработке использовались две подложки: спутниковый снимок и топографическая карта, полученные с помощью программы SAS.Planet.

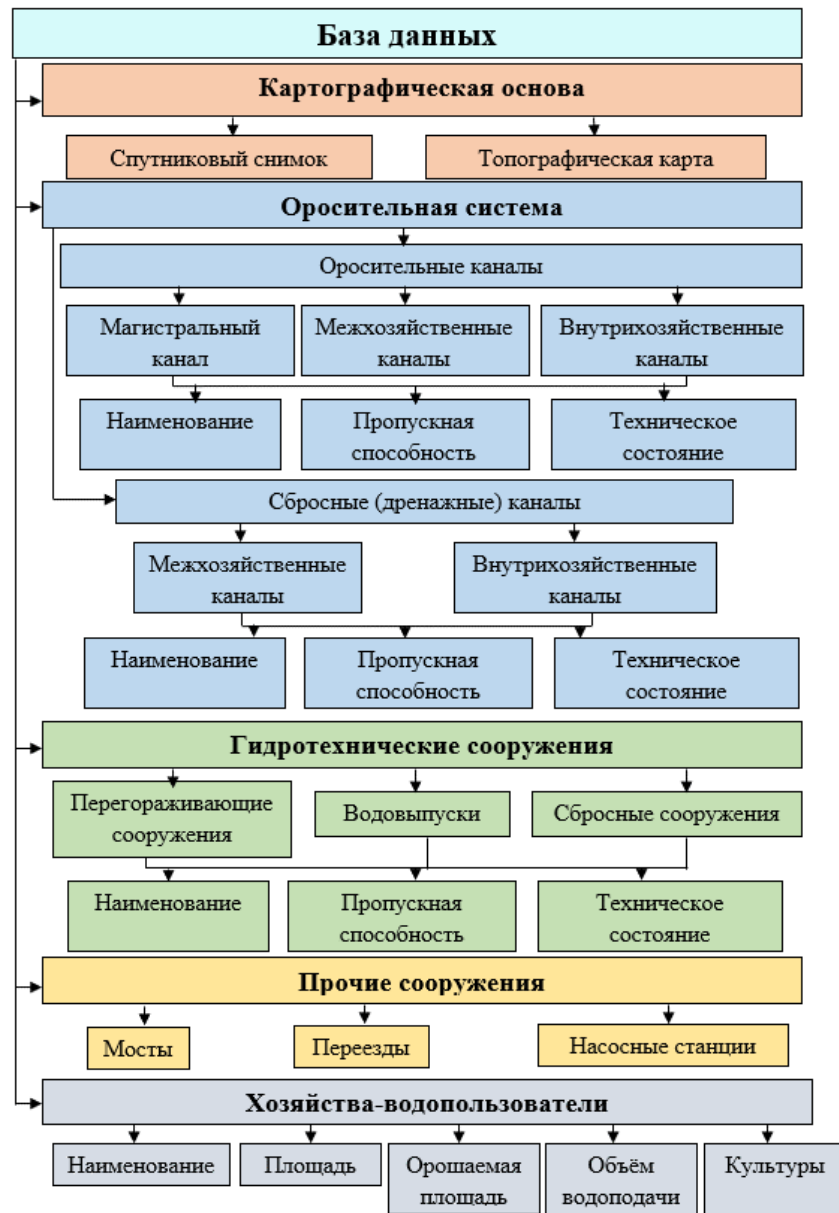


Рисунок 3 – Структура базы данных

Блок «Оросительная система» подразделен на два элемента – оросительные и сбросные каналы, которые, в свою очередь, разделены на каналы более младшего порядка, для которых выделены подкатегории, описывающие их основные характеристики: наименование, пропускная способность и техническое состояние. В блоке «Гидротехнические сооружения» представлены основные типы сооружений: перегораживающие, водовыпуски и сбросные, которые описаны такими показателями, как пропускная способность и техническое состояние.

Блок «Прочие сооружения» описывает различные сооружения, входящие (насосные станции) и не входящие (мосты, переезды) в состав оросительной системы.

В блоке «Хозяйства» приводятся сведения о каждом хозяйстве в зоне действия оросительной системы: наименование, направление сельскохозяйственной деятельности, общая площадь, объём водоподачи.

Достоинством базы данных является универсальность её структуры для различных мелиоративных систем, поскольку она учитывает основные эксплуатационные характеристики, в связи с чем может использоваться в различных ГИС-программах. При этом обеспечивается единый подход к сбору и хранению данных при планировании водопользования.

Известно, что процесс водораспределения на рисовых оросительных системах является весьма трудоёмкой задачей и требует постоянного контроля со стороны эксплуатационной организации. Для повышения рациональности использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах была разработана модель применения алгоритмов, в которой обеспечена работа алгоритмов для определения и корректировки объемов подачи воды на рисовое поле в едином информационном пространстве (рисунок 4).

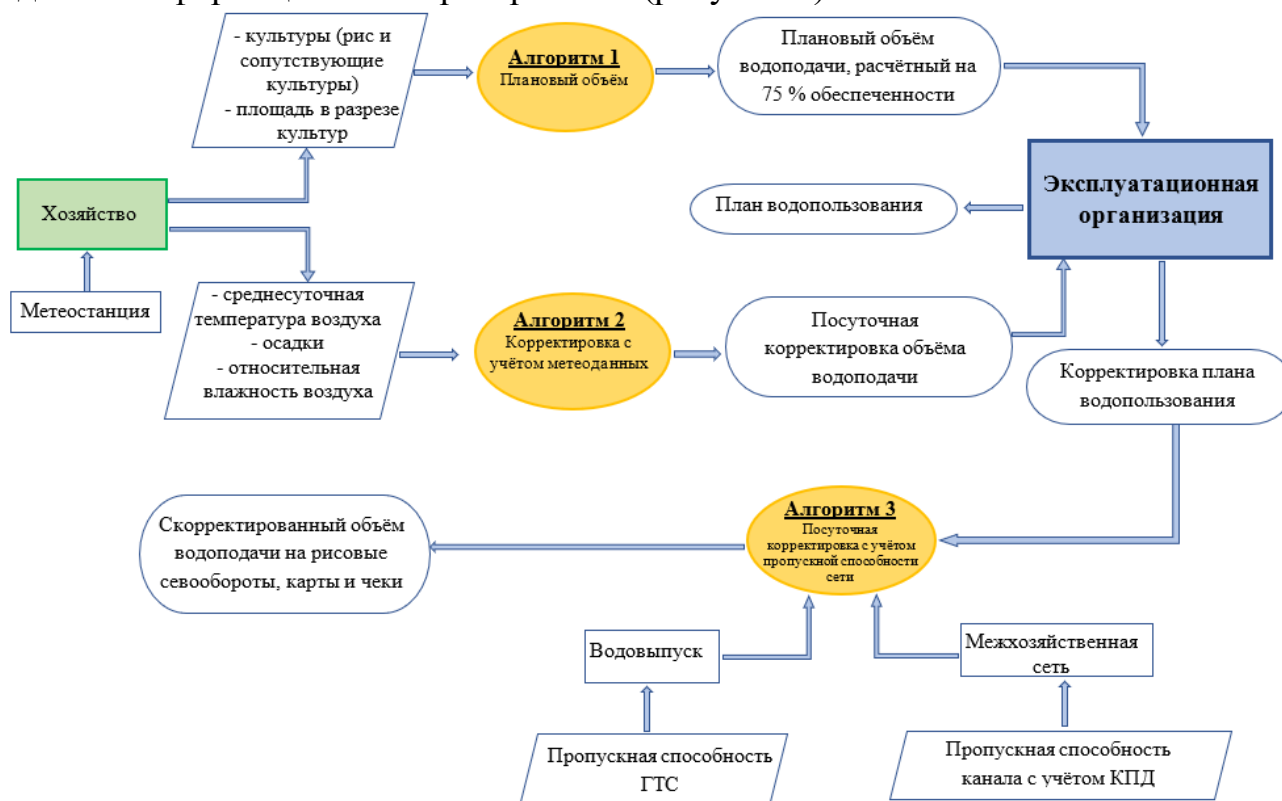


Рисунок 4 – Модель использования алгоритмов

В эксплуатационную организацию от хозяйств-водопользователей поступают заявки на объём водоподачи и водоотведения за вегетационный период. Основные исходные данные для расчёта – культуры, площади и оросительные нормы. Для автоматизации вычислений разработан алгоритм 1, который позволяет выполнять расчёты с учётом типа почв, коэффициента природного увлажнения территории и норм водопотребности культур в севообороте и, в целом, по орошаемым площадям в сельхозпредприятии. Расчёты плана водопользования на поливной сезон и заявка на водопользование передаются в эксплуатационную организацию, где корректируются по декадам. С целью корректировки полученного плана водопользования в соответствии с погодными условиями разработан алгоритм 2. Посуточная корректировка объёма подачи воды должна учитывать пропускную способность сети и водовыпусков, для этого предложен

алгоритм 3. Разработанная модель позволяет повысить эффективность использования оросительной воды, т. к. учитывает основные факторы, влияющие на объём водоподачи.

Алгоритм для расчета объема водоподачи и сброса за вегетационный период состоит из двух блоков: исходные данные (информационная база данных) и расчетные параметры (рисунок 5).



Рисунок 5 – Алгоритм для расчета объема водоподачи и сброса за вегетационный период до 0,005 мм/сут., также учтен уровень залегания грунтовых вод (УГВ). По результатам изучения гидрогеологических условий Ростовской области выделены четыре УГВ от 1 до 4 м, с шагом 1 м.

Во втором блоке рассчитываются нормы водопотребности, объемы водоподачи и водоотведения для каждого поля (чека), занятого культурами и для севооборота. На рисунке 7 представлено окно программы для ЭВМ (свидетельство о регистрации № 2022610534) с результатами расчётов для шестипольного севооборота ООО «Аргмак», расположенного в зоне действия Пролетарской оросительной системы. В ячейки, обозначенные зелёным цветом, вводят исходные данные и, далее, при нажатии на кнопку «расчёт» вычисляются объёмы водоподачи и водоотведения на каждое поле и на севооборот.

Первый блок условно можно разделить на две составляющие: выбор культур, возделываемых в рисовом севообороте, и характеристики почвенных условий. В перечне представлены основные культуры, рекомендованные для рисового севооборота. Для расчета необходима площадь, занятая каждой из представленных в списке культур. Почвенные условия описываются гранулометрическим составом, степенью засоления и коэффициентом увлажнения. В алгоритме представлены наиболее характерные для Ростовской области почвы с различным агрегатным составом и суточным коэффициентом фильтрации от 0,001

Наименование хозяйства		Аргмак														
Объем водоподачи по хозяйству, куб. м		5 607 360		Расчет												
Объем водоотведения по хозяйству, куб. м		934 560														
№ поля/чека	Культура	Площадь, га	Коэффициент увлажнения, Ку	Гранулометрический состав почвы	Степень засоления грунтов, %	УГВ, м	Обеспеченность года по испаряемости, %	Нормы водопотребности, мм		Объем водоподачи (брутто), W в куб. м		Объемы водоотведения, W во			Потери в оросительной сети, Пос мм	
								Мнт	Мбр	на 1 га	на всю площадь	с 1 га, мм	с 1 га, м ³	всего с севооборота, м ³	мм	при КПД канала в РОС
шестипольный севооборот,		345					75				5607360		934560		0.8	
1	Рис	80	0.3-0.4	Тяжелый суглинок	Средне засолены =	3	75	1977	2372.4	23724	1897920	395.4	3954	316320	395.4	0.8
2	Соя на зерно	30	0.3-0.4	Глина	Средне засолены =	3	75	215	258	2580	77400	43	430	12900	43	0.8

Рисунок 7 – Алгоритм в программной оболочке Microsoft Excel

Полученный план водопользования нуждается в корректировке в соответствии с изменяющимися погодными условиями, для этого применяется алгоритм 2 (рисунок 8).

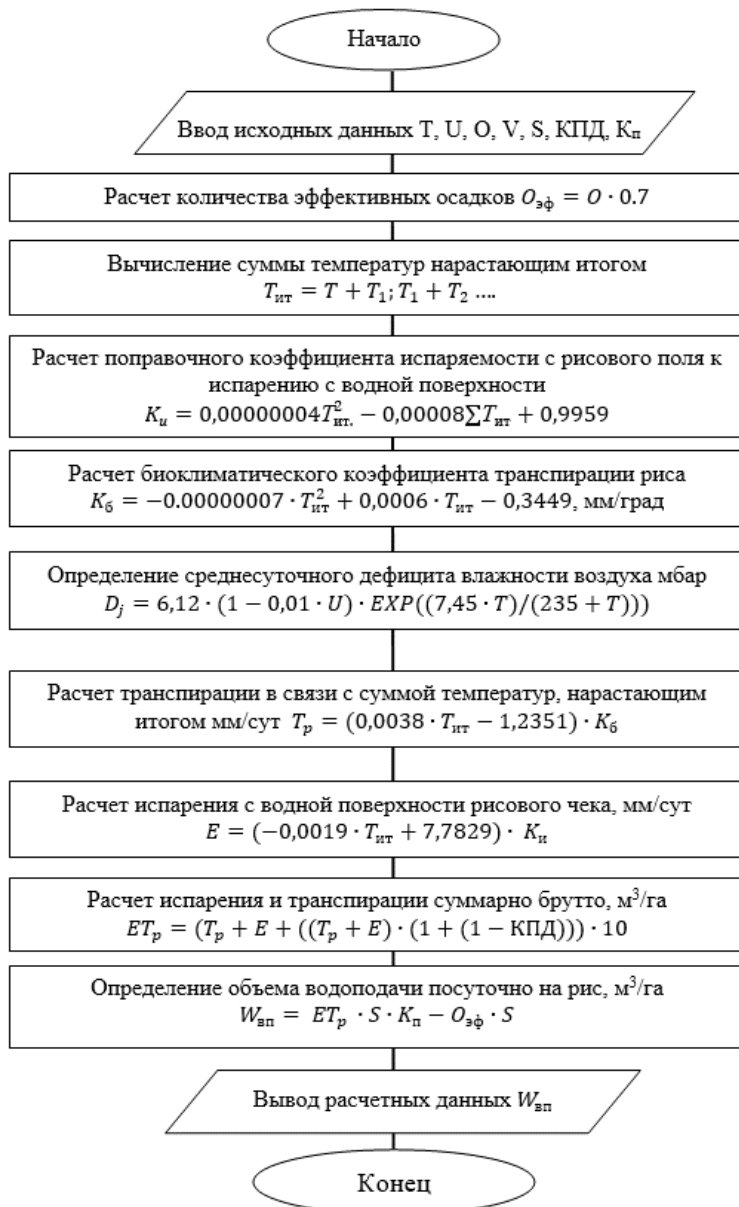


Рисунок 8 – Алгоритм оперативной посуточной корректировки объемов водоподачи на рисовое поле

Он состоит из двух составляющих: 1 – корректировка объема водоподачи на рисовый севооборот с учетом метеоданных; 2 – корректировка объемов водоподачи на сопутствующие культуры рисового севооборота

Оперативная посуточная корректировка плана водопользования выполняется путем перерасчета норм водопотребления риса и сопутствующих культур рисового севооборота с учетом изменяющихся климатических условий с помощью программы для ЭВМ (свидетельство о регистрации № 2022610533).

Для этого используются биоклиматические коэффициенты водопотребления, полученные по результатам полевых исследований, проведенных в ООО «Маньч-Агро» и на опытном участке полигона РосНИИПМ (рисунок 9).

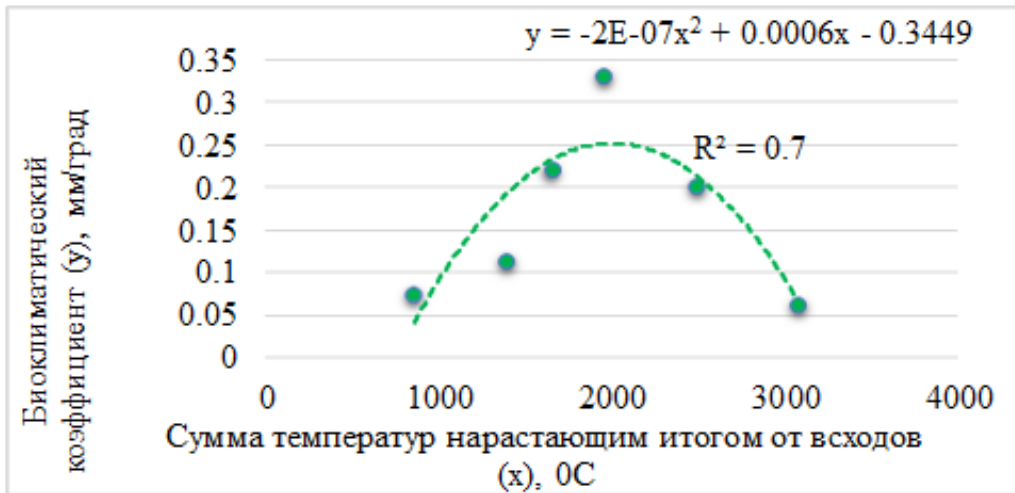


Рисунок 9 – Биоклиматические коэффициенты транспирации риса, опытные данные 2018–2020 гг.

После расчёта и корректировки потребности в водных ресурсах в соответствии с изменяющимися метеоусловиями, необходимо распределить запрашиваемый объём в зависимости от пропускной способности сети и водовыпусков. Эта задача решается с помощью алгоритма 3 (рисунок 10).

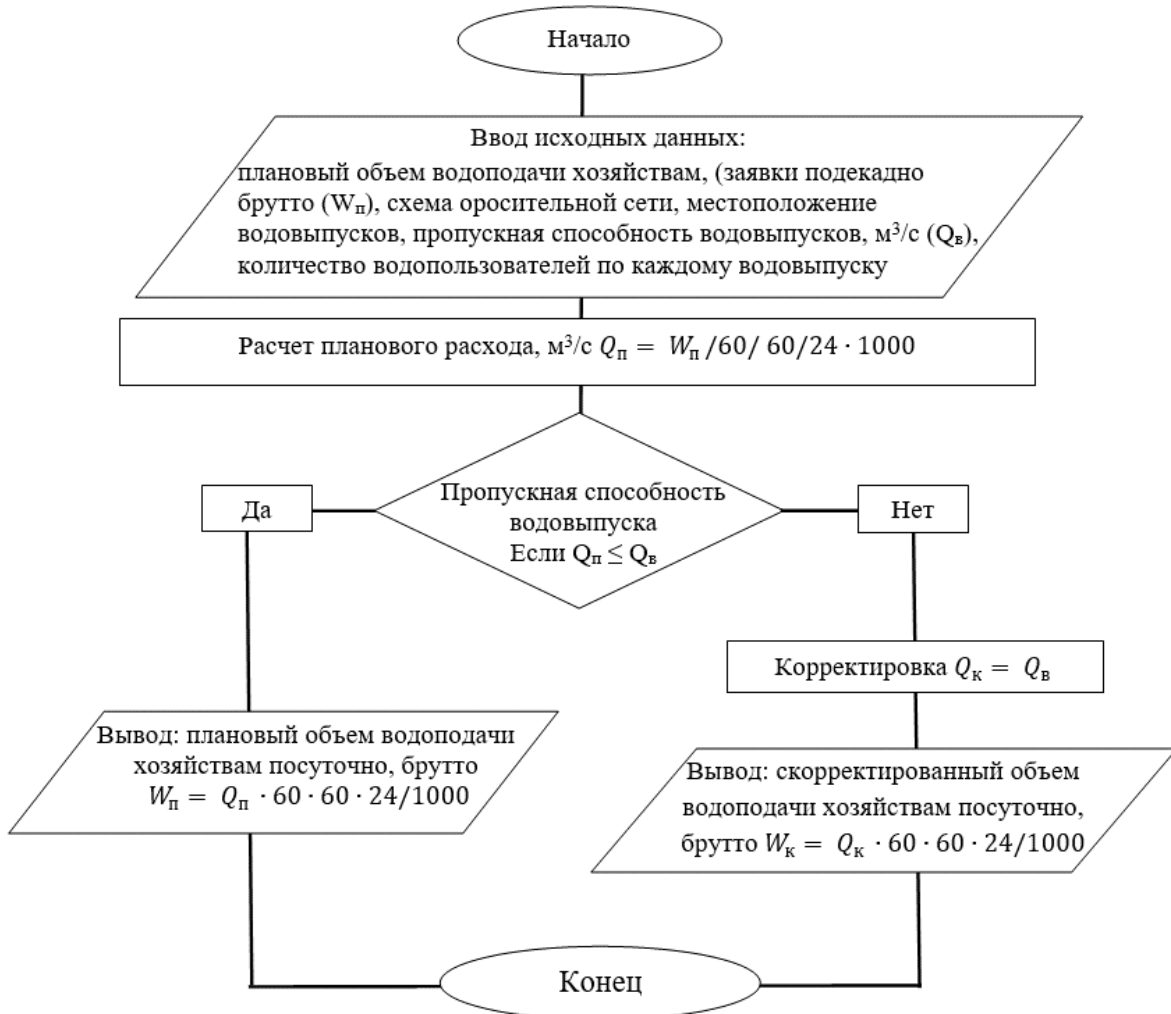


Рисунок 10 – Алгоритм посуточной корректировки объёма водоподачи

В четвертой главе «Усовершенствованные технологические и технические решения для рационализации использования водных ресурсов» представлены результаты сценарных исследований компьютерной модели участка Пролетарской оросительной системы, предложена новая конструктивная схема водозаборного сооружения для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматическим управлением подачи воды в каналы младшего порядка (патент РФ № 2728676) и приведены нормы водопотребности риса и сопутствующих культур (нетто и брутто).

По результатам сценарных исследований гидродинамической модели Пролетарской оросительной системы была решена практическая задача по подбору оптимального режима работы для дополнительного и перегораживающего сооружений на ПК 1427. Установлено, что для обеспечения всех потребителей запрашиваемыми объемами воды, отметка открытия затвора дополнительного сооружения не должна превышать 24,1 м БС, перегораживающего на ПК 1427 – 21,8 м БС. Такой режим работы сооружений позволяет сэкономить около 30 млн м³ воды за оросительный период (рисунок 11).

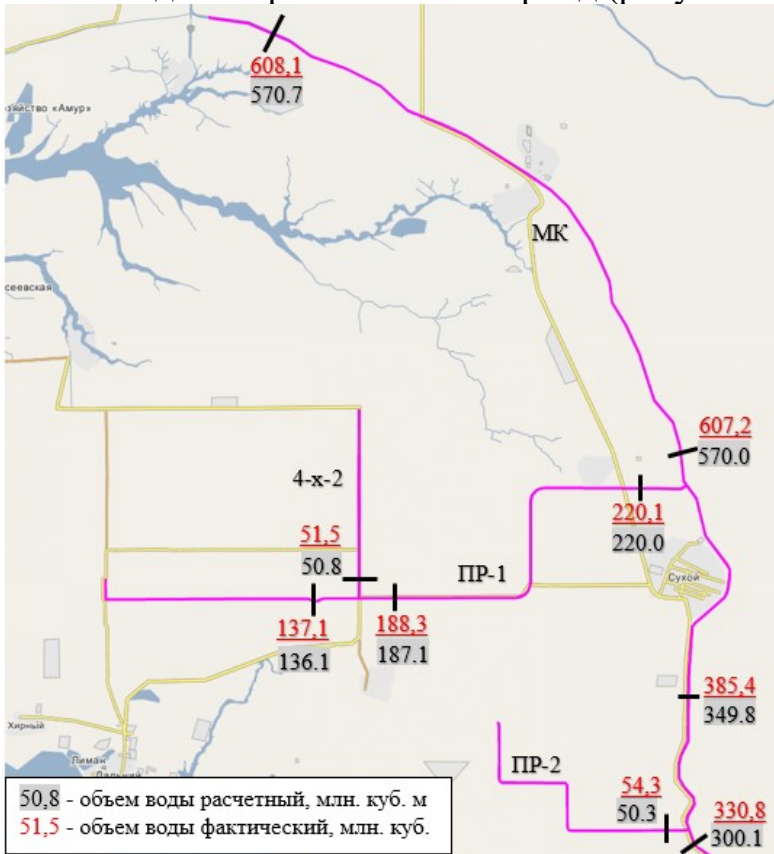
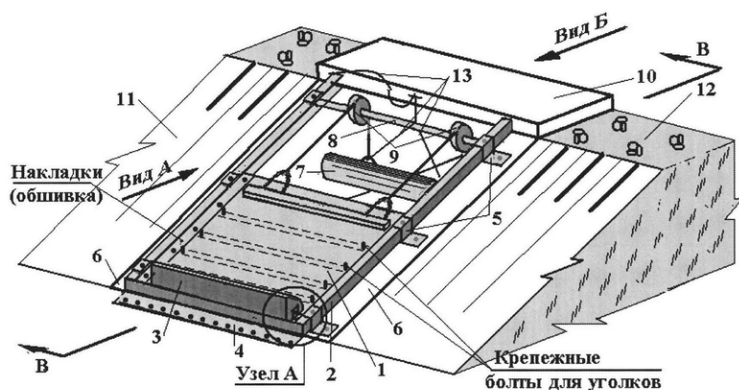


Рисунок 11 – Объемы воды за оросительный период на участке Пролетарской ОС

Разработанное водозаборное сооружение содержит плоский безригельный затвор и роликовые катки (рисунок 12). Затвор перемещается по наклонной плоскости входной части, открывает автоматически входное отверстие для подачи воды из канала старшего порядка в канал младшего порядка за счет кинетической энергии потока и обеспечивает поддержание расчетного уровня воды в канале младшего порядка. Компактная конструкция водозаборного сооруже-

В настоящее время ввиду неудовлетворительного состояния регулирующих сооружений на оросительных системах процесс управления становится весьма проблематичным, что может приводить не только к недополучению заявленных норм водоподдачи, но и к аварийным ситуациям. Практическая реализация разработанных алгоритмов возможна при использовании новой конструктивной схемы водозаборного сооружения, которая позволяет автоматически регулировать необходимый объем забора воды в условия дефицита водных ресурсов.

ния позволяет сэкономить строительные материалы и количество механизмов при его строительстве в сравнении с типовыми сооружениями.



1- полотно затвора; 2 - швеллеры; 3 - поплавковая камера для перемещения затвора под действием давления воды; 4 - упор для нижней части затвора; 5 - детали крепления затвора; 6 - ныряющая стенка входного оголовка мелиоративного канала младшего порядка; 7 - поплавок-противовес; 8 - перекладина; 9 - подвижные блоки; 10 - железобетонная плита, перекрывающая пролет оголовка; 11 - откос; 12 - дамба канала; 13 - запасной трос для поднятия поплавка-противовеса; 14 - береговые устои.

Рисунок 12 – Схема разработанного водозаборного сооружения

Повышение рациональности водопользования в условиях дефицита водных ресурсов невозможно без дальнейшего совершенствования технологий орошения сельскохозяйственных культур. Для определения особенностей эвапотранспирации риса и уточнения показателей транспирации в доле эвапотранспирации в течение периода вегетации проводилось изучение транспирации риса в гидрологических лизиметрах в основные фазы его роста и развития. В среднем за три года эвапотранспирация составила 976 мм, в т. ч. испарение с водной поверхности в лизиметрах – 500 мм и транспирация растений – 476 мм. Значения эвапотранспирации зависели, в основном, от продолжительности периода и были наибольшими в период «всходы-кущение» – 150,7 мм за 25 суток, в т. ч. испарение – 106 мм и транспирация – 44 мм, в период «кущение-выход в трубку» – 144 мм за 18 суток, в т. ч. испарение – 76 мм и транспирация – 68 мм. При этом среднесуточные значения эвапотранспирации достигали 12,3 мм/сут в период «выметывание – цветение».

Исследования показали, что с развитием листовой поверхности риса и увеличением проективного покрытия поверхности воды величина испарения уменьшалась почти в два раза: с 5,4 мм/сут в период «всходы-кущение» до 2,1 мм/сут к периоду созревания. Поэтому при расчетах испарения с водной поверхности чеков необходимы поправки для снижения испарения с водной поверхности под покровом растений риса по сравнению с испарителями. Нами было получено уравнение для расчета поправочного коэффициента, учитывающего снижение испарения (рисунок 13).

Сравнительный анализ определения эвапотранспирации с помощью расчетных методов и по результатам полевых опытов представлен в таблице 1. В условиях Ростовской области для расчетов наиболее приемлемы методы Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика. Величины эвапотранспирации, рассчитанной по формулам Н. Н. Иванова и В. П. Остапчика, составили 935 мм и 800 мм, при этом отклонения от опытных данных составили 4,4 % и 18 % соответственно.

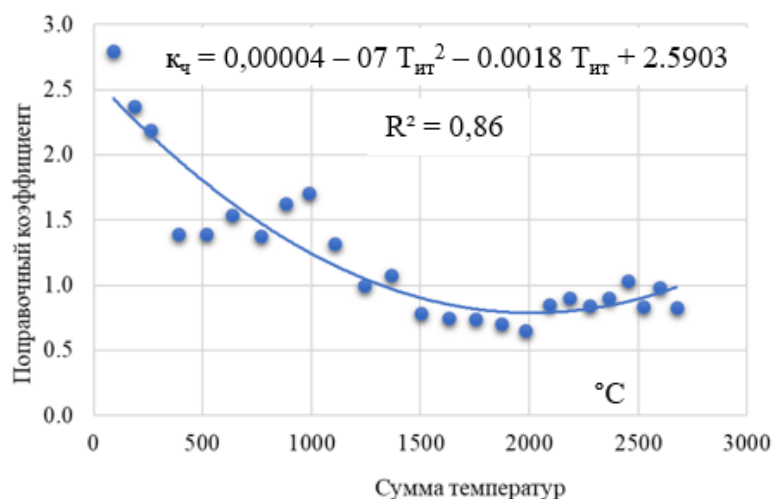


Рисунок 13 – Уравнение для расчета поправочного коэффициента

Таблица 1 – Сравнительный анализ расчетных методов определения эвапотранспирации и экспериментальных данных

Методы определения	Расчетные методы				Полевые опыты	
	А. Н. Костякова	Г. К. Льгова	Н. Н. Иванова	В. П. Остапчик	в лизиметрах (К1)	в рисовом чеке (К2)
Эвапотранспирация, мм	680	344	935	800	978	952
Отклонение от К1, %	31,0	75,0	4,4	18,0	0	2,7

На основе проведенных полевых исследований, расчетов по разработанным алгоритмам были получены нормы водопотребности риса для рисовых оросительных систем Ростовской области с различными почвенно-мелиоративными и агроклиматическими условиями (таблица 2).

Таблица 2 – Нормы водопотребности риса (брутто)

Коэффициент увлажнения, K_u	Гранулометрический состав почвы	Степень засоления грунтов, %	УГВ, м	Нормы водопотребности риса (мм) при различной обеспеченности года по испаряемости, %				
				5	25	50	75	95
				0,3–0,4	Тяжелый суглинок	Не засолены	До 1	1 871
2	2 042	2 119	2 202				2 240	2 320
3	2 207	2 284	2 366				2 405	2 484
4	2 363	2 441	2 524				2 562	2 641
Слабо засолены = 0,1	До 1	1 871	1 990			2 071	2 111	2 189
	2	2 083	2 192			2 266	2 314	2 444
	3	2 248	2 324			2 407	2 446	2 525
	4	2 404	2 482			2 564	2 603	2 682
Средне засолены = 0,2	До 1	1 838	1 915			1 998	2 036	2 116
	2	2 010	2 087			2 170	2 208	2 287
	3	2 173	2 251			2 334	2 372	2 452
	4	2 330	2 408			2 491	2 530	2 608

Продолжение таблицы 2

	Сильно засолены = 0,3	До 1	2 084	2 164	2 246	2 285	2 363
		2	2 256	2 335	2 418	2 456	2 534
		3	2 420	2 500	2 581	2 621	2 699
		4	2 578	2 656	2 738	2 778	2 856

Нормы водопотребности сопутствующих культур рисового севооборота были определены путем анализа данных научных и учебных заведений Ростовской области и с использованием результатов собственных исследований (таблица 3).

Таблица 3 – Нормы водопотребности сопутствующих культур рисового севооборота (брутто)

Коэффициент увлажнения K_y	Обеспеченность года по испаряемости, %	Сопутствующие культуры				
		Многолетние травы	Зерновые колосовые	Кукуруза на зерно	Соя на зерно	Горох
0,31–0,40	5	24	0	0	35	0
	25	169	37	72	132	11
	50	349	134	186	200	42
	75	466	232	302	258	103
	95	676	308	394	326	128

В пятой главе «Эффективность применения алгоритмов» приведен расчет эффективности от их внедрения в 2020 г. на межхозяйственном распределителе ПР-1 Пролетарской оросительной системы в хозяйствах «Аргмак», «Цимлянский» и «Луч». Наибольшая экономия водных ресурсов 3417 м³/га или 16,7 % зафиксирована в ООО «Луч». В хозяйствах «Аргмак» и «Цимлянский» экономия с 1 га составила 2800 м³ и 2774 м³ или 15,1 % и 14,9 % соответственно. В среднем, объемы водоподачи были уменьшены на 2997 м³/га или 15,6 %. Эффект от сокращения подачи воды в хозяйства выражался в снижении стоимости ее подачи. В рассматриваемых хозяйствах этот показатель был равен: «Аргмак» – 1,20 млн руб., «Цимлянский» – 0,51 млн руб., «Луч» – 0,18 млн руб., что суммарно составило 1,89 млн. руб. По данным эксплуатационной организации урожайность риса в Пролетарском районе в 2020 г. составила 50,9 ц/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научно-технической информации по проблемам водопользования выявил факторы, снижающие эффективность использования водных ресурсов в мелиоративном земледелии: низкий технический уровень оросительных систем, завышенные объемы водоподачи, проблемы при обработке больших массивов данных эксплуатирующими оросительные системы организациями. Внедрение геоинформационных технологий управления водораспределением на оросительных системах, особенно таких водоемких как рисовые, является одним из решений вышеописанных проблем.

2. Обоснована и разработана структура геоинформационной базы данных для оросительной системы, позволяющая систематизировать входящую инфор-

мацию и посредством геопространственного анализа получать эксплуатационные параметры, обеспечивающие повышение эффективности управленческих решений за счет стандартизации способов сбора и хранения данных, снижения ошибок при разработке и использовании планов водопользования, внедрения цифровизации при планировании водопользования и управлении водными ресурсами.

3. Усовершенствована технология распределения водных ресурсов по системе оросительных каналов на основе гидродинамической модели движения потока на участке Пролетарского магистрального канала. Выполнены сценарные исследования разработанной модели, в результате которых решена задача по подбору оптимального местоположения и режима работы дополнительного регулирующего сооружения. Оптимальным местоположением дополнительного сооружения определен ПК-21000 (900 м ниже по течению водовыпуска ПР-1). Установлено, что для обеспечения всех потребителей запрашиваемыми объемами воды отметка открытия затвора дополнительного сооружения не должна превышать 24,1 м БС, перегораживающего на ПК 1427 – 21,8 м БС. Такой режим работы сооружений позволяет сэкономить около 30 млн. м³ воды за оросительный период.

4. Получены эмпирические зависимости испаряемости с водной поверхности рисового чека, величины испаряемости и транспирации в зависимости от динамики гидрометеорологических факторов в течение вегетации, а также биоклиматические коэффициенты транспирации риса. Оптимизирован технологический процесс орошения риса на основе полученных эмпирических зависимостей эвапотранспирации от динамики гидрометеорологических факторов, структуры водного баланса орошаемого поля и нормирования подачи и распределения водных ресурсов. Определены составляющие эвапотранспирации риса по периодам роста. Установлено, что в среднем за три года эвапотранспирация составила 976 мм, в том числе испарение с водной поверхности в лизиметрах – 500 мм и транспирация растений – 476 мм. Получен поправочный коэффициент и уравнение, учитывающие снижение испарения с водной поверхности чека под покровом растений.

5. Разработаны алгоритмы оперативной корректировки объемов подачи воды на рисовое поле и модель использования системы алгоритмов, работающие в едином информационном пространстве и обеспечивающие рациональность использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах. Разработанные на основе алгоритмов программы ЭВМ для расчёта норм водоподдачи позволяют оперативно корректировать нормы водопотребления на различных участках рисовой оросительной системы, что обеспечивает водосбережение 15 % подаваемых объемов.

7. Разработана конструкция водозаборного сооружения для оросительной сети с автоматической регулировкой объёма водоподдачи в каналы младшего порядка, обеспечивающего рациональное распределение водных ресурсов по системе оросительных каналов. Предлагаемое сооружение позволит осуществ-

лять автоматическую подачу воды в каналы младшего порядка с расходом от 0,5 до 3,5 м³/с без применения винтовых приводов.

8. Внедрение разработанных алгоритмов и программ позволило уменьшить объемы водоподачи на 15 %, при этом экономия стоимости подачи воды составила 1,89 млн. руб.

Рекомендации производству

С целью повышения эффективности сбора, обработки, хранения и использования данных при планировании водопользования и управлении водными ресурсами в эксплуатационных организациях рекомендуется внедрять геоинформационные технологии. Для рационализации использования водных ресурсов на рисовых оросительных системах рекомендованы геоинформационная база данных, с помощью которой эксплуатационные организации получают информацию о количестве, пространственном местоположении, точках водозабора и параметрах водопользователей, а также программы ЭВМ для оперативной корректировки норм водопотребления на различных участках рисовой оросительной системы, что обеспечивает экономию 15 % подаваемых объемов и снижает затраты на водоподачу.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в совершенствовании технологической основы геоинформационных технологий управления водоподачей и водораспределением на основе оптимизации режимов и технологий орошения и сценарных исследований цифровых моделей основных элементов мелиоративных систем различных типов.

По теме диссертационного исследования опубликованы следующие работы:

Публикация Scopus

1 Environmental safety in the irrigation and watering systems design stage / S. M. Vasiliev, G. A. Senchukov, V. D. Gostishev, **T. S. Ponomarenko** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development", Kislovodsk, Russian Federation, 01-05 okt. 2019. – Vol. 698. – Bristol: IOP Publishing Ltd, 2019. – С. 055047. DOI: 0.1088/1757-899X/698/5/055047.

Статьи в научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки

2 Балакай, Г. Т. К проблеме автоматизации процесса расчетов эвапотранспирации риса / Г. Т. Балакай, Р. Е. Юркова, Л. М. Докучаева, В. Иг. Ольгаренко, **Т. С. Пономаренко** // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 1(33). – 21 с.

3 Сенчуков, Г. А. Моделирование процессов водораспределения на Пролетарской оросительной системе // Мелиорация и гидротехника / Г. А. Сенчуков, **Т. С. Пономаренко**. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 141–156.

4 Балакай, Г. Т. Совершенствование водопользования на рисовых оросительных системах // Мелиорация и гидротехника / Г. Т. Балакай, **Т. С. Пономаренко**. – 2022. – Т. 12. – № 3. – С. 106–122.

Патенты на изобретения РФ и программы для ЭВМ

1 Пат. 2728676 Российская Федерация, МПК E02B 13/00 E02B 9/04. Водозаборное сооружение для оросительной сети с плоским безригельным затвором и автоматической подачей воды в каналы младшего порядка / С. М. Васильев, Г. А. Сенчуков, А. И. Тищенко, В. Д. Гостищев, С. А. Манжина, А. С. Штанько, **Т. С. Пономаренко** [и др.]; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2019120347; заявл. 27.06.19; опубл. 30.07.20, Бюл. № 22. – 11 с.

2 Свидетельство 2022610534 Российская Федерация. Программа для расчёта норм водопотребления и водоотведения риса и сопутствующих культур рисового севооборота / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, **Т. С. Пономаренко**; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». – № 2021681783; заявл. 23.12.2021; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12.01.22. – 1 с.

3 Свидетельство 2022610533 Российская Федерация. Программа для корректировки расчёта объёма водоподдачи на рисовый севооборот с учётом актуальных метеоданных / Р. С. Масный, Г. Т. Балакай, **Т. С. Пономаренко**; заявитель и правообладатель ФГБНУ «РосНИИПМ». – № 2021681782; заявл. 23.12.2021; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 12.01.2022. – 1 с.

Научные работы, опубликованные в других изданиях

1 **Пономаренко, Т. С.** Анализ современного состояния рисоводческой отрасли в Ростовской области / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 23–28.

2 **Пономаренко, Т. С.** Производственные балансовые водохозяйственные исследования на оросительных системах с использованием цифровых систем компьютерного моделирования / Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева // Проблемы и перспективы развития мелиорации в современных условиях: сб. науч. тр. по матер. науч.-практ. конф. ФГБНУ «ВолжНИИГиМ», г. Энгельс, 25–27 мая 2016 г. – Энгельс, 2016. – С. 215–220.

3 **Пономаренко, Т. С.** Современное состояние и пути решения проблем водохозяйственного использования Пролетарской оросительной системы / Т. С. Пономаренко, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 12–16.

4 Сенчуков, Г. А. Применение компьютерного моделирования режимов водопотребления и водораспределения для повышения эффективности организации водопользования на оросительных системах / Г. А. Сенчуков, **Т. С. Пономаренко** // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / Т. С. Пономаренко, Г. А. Сенчуков. – 2016. – № 4(64) – С. 27–31.

5 Сенчуков, Г. А. Анализ некоторых показателей развития орошаемого земледелия в зоне ответственности Пролетарского магистрального канала в Ростовской области / Г. А. Сенчуков, **Т. С. Пономаренко**, А. Н. Рыжаков, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 4(64). – С. 155–160.

6 **Пономаренко, Т. С.** Результаты сценарных исследований полифункциональной модели Пролетарского магистрального канала / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3(67). – С. 40–46.

7 Гостищев, В. Д. Техническое состояние и эффективность режима эксплуатации Пролетарского магистрального канала / В. Д. Гостищев, **Т. С. Пономаренко**, А. Н. Рыжаков, Д. В. Мартынов // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 6–10.

8 **Пономаренко, Т. С.** Особенности подготовки исходных данных для разработки компьютерных гидродинамических моделей / Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева, С. В. Ковалев, В. А. Сулина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 1(77). – С. 79–82.

9 Рекомендации по водопотреблению риса и сопутствующих культур в рисовых севооборотах юга России / Р. С. Масный, С. М. Васильев, Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, С. Н. Якуба, Н. Н. Малышева, С. В. Кизинёк, **Т. С. Пономаренко**. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2021. – 61 с. – ISBN 978-5-6046006-8-9.