

На правах рукописи



Килиди Харламий Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ СИСТЕМ
КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИМИ
ВОДОЗАБОРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ НА ГОРНЫХ РЕКАХ**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный руководитель доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения
Хаджиди Анна Евгеньевна

Официальные оппоненты: **Хецуриани Елгуджа Демурович**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова», профессор кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды»

Штанько Андрей Сергеевич
кандидат технических наук, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», ведущий научный сотрудник гидротехнического отдела

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Защита состоится «24» сентября 2024 года в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.06 при ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, главный корпус, аудитория 106.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайтах: ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» – www.kubsau.ru и ВАК – <http://vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2024 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук

Гуторова Оксана Александровна

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Системы капельного орошения удобно применять для орошения садов и виноградников на горных агроландшафтах. Как правило эти участки располагаются рядом с водотоками, горными реками, которые имеют небольшой дебит. Дефицит водных и земельных ресурсов на горных ландшафтах обусловлен факторами, к которым можно отнести значительную трудность забора воды из горных рек, где уровни колеблются в широком диапазоне в течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур, большие скорости потока, перемещение донных наносов, ограничивающие выбор адаптированной конструкции водо-заборов, ограничения размеров агроландшафтов по площади с плодородными землями и наличие больших уклонов склонов местности и др. Пики паводков приходится на весну и начало лета, когда необходимо подавать воду на орошение культур, и она в избытке. Но при это возникает трудность забора воды на орошение из-за больших скоростей, влекомых наносов по дну реки. Берега перерабатываются, русло реки постоянно меняет своё положение в пределах поймы. Эти факторы определяют дефицит воды при её избытке.

В горной местности этот вопрос, подачи воды растениям, недостаточно изучен из-за условий подачи по геологическим и гидрологическим причинам. В известной литературе, связанной с проектированием систем капельного орошения, отсутствует опыт их применения на территориях с учётом фильтрующего подстилающего слоя в почвенном профиле. Что потребовало в диссертации разработать подходящую методологию исследования распространения влажности при поливе. Для эффективного забора воды в описанных выше условиях требуется разработать конструкцию и методику расчета мелиоративное водозаборное сооружение, адаптированное к условиям горных рек, которое обеспечит устойчивый и гарантированный забор воды в системы капельного орошения

Исследования проводились соответствии с планами НИР Кубанского ГАУ по темам № АААА-А16-116022410039-5 на 2016-2020 гг. и № ГР 121032300057-2 на 2021-2025 гг. Исследования внедрены в проекты систем гидромелиорации, реализованных в рамках Государственной программы

развития мелиорации согласно постановления Российской Федерации от 14 мая 2021 года N 731.

Степень разработанности темы. Разработке систем капельного орошения посвящены труды ученых А.И. Голованова, М.С. Григорова, А.С. Овчинникова, В.В. Бородычева, Е.В. Кузнецова, В.П. Мещеряков, О. Ясониди, А. С. Штанько и др., где рассматриваются вопросы режима орошения сельскохозяйственных культур на почвогрунтах, не имеющих дренажного слоя. Разработкой конструктивных и технологических параметров водозаборных сооружений для мелиоративных систем занимались известные ученые: В.Н. Шкура, Г.Г. Моисевич, В.В. Петрашкевич, Е.Д. Хецуриани и др. Исследованию фильтрующих водозаборных сооружений, которые адаптированы к условиям горных водных источников со сложным гидрологическим режимом, в научной литературе уделено недостаточно внимания.

Рабочая гипотеза. Ковшовое фильтрующее мелиоративное водозаборное сооружение, адаптированное к сложным гидрологическим условиям горных рек, обеспечит забор воды в системы капельного орошения на дренажном слое горных агроландшафтов и повысит водообеспеченность систем капельного орошения с.-х. культур.

Цель исследований. Повысить водообеспеченность для систем капельного орошения ковшовым фильтрующим мелиоративным водозабором на реке Белая в условиях Майкопского района Республики Адыгея.

Задачи исследований:

- исследовать движение влаги на физической модели почвогрунта на дренажном слое горного агроландшафта;
- обосновать режим капельного орошения интенсивного яблоневого сада на почвогрунтах с дренажным слоем;
- обосновать методику выбора конструкций мелиоративных водозаборов
- разработать новую конструкцию ковшового фильтрующего мелиоративного водозаборного сооружения, адаптированного к природным условиям реки Белая;

- разработать методику гидравлического расчета ковшового фильтрующего мелиоративного водозаборного сооружения.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием методов системного анализа. Лабораторные и производственные исследования проводились с использованием стандартных методик, приборов и оборудования в аттестованных лабораториях. Обработка экспериментальных данных выполнялась на персональных компьютерах методами математической статистики с применением прикладных программ. Использовались программные продукты: Mathcad 2000, Microsoft Excel, системы GPS, Google, SASPlanet, Statistica-10, IndorCAD, AutoCAD.

Объект исследования. Почвогрунт на дренажном слое; фильтрующий ковшовый водозабор.

Предмет исследования. Зависимости движения влаги в почвогрунте на дренажном слое; конструктивно-технологические параметры ковшового фильтрующего водозабора.

Научная новизна работы:

- выявлены новые закономерности движения влаги в толще 0,8-1,0 м почвогрунта на дренажном слое при капельном орошении;

- разработан новый ковшовый фильтрующий мелиоративный водозабор, обеспечивающий устойчивую подачу воды в систему капельного орошения для сложных геологических и гидрологических условий горной реки Белая;

- разработана методика гидравлического расчета основных параметров ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора;

- обоснована факторная балльная шкала оценки выбора мелиоративного водозабора из горных рек для систем капельного орошения.

Теоретическая значимость работы. Процесс движения влаги в почвогрунтах на дренажном слое при капельном орошении описан математически, что влечет за собой экономию водных ресурсов; новые технические и конструктивные решения для мелиоративного комплекса, включающего забор воды из горных рек в сложных гидрологических условиях, основанный на разработке методики выбора типа мелиоративного

водозабора по факторной балльной шкале на основе интегрального показателя рисков.

Практическая значимость заключается в обосновании режима орошения и получении расчетных зависимостей для определения поливных норм и времени полива почвогрунтов на дренажном слое для интенсивного яблоневого сада, позволяющий повысить водообеспеченность системы капельного орошения до 10 %; разработке новой конструкции фильтрующего мелиоративного водозабора, адаптированного к условиям реки Белая, которая обеспечивает требуемый дебит в межень, механическую очистку воды и охрану молоди рыб от гибели.

Подтверждение новизны технических решений осуществляется патентами РФ на изобретения № 2732496 С1, № 2732106 С1.

Достоверность научных результатов и выводов подтверждается методами математической обработки результатов экспериментов с использованием программных продуктов MS Excel 2010 и Statistica-10. Значительным объемом опытных данных, их статистической обработкой и внедрением полученных результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- закономерности движение влаги в почвогрунте толщиной 0,8-1,0 м на фильтрующем основании при капельном орошении;
- эмпирические зависимости для определения поливных норм и времени полива на дренажном слое для интенсивного яблоневого сада;
- методика выбора по факторной балльной шкале мелиоративных адаптированных водозаборов в сложных природных условиях горных рек;
- конструкция адаптированного ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора для системы капельного орошения для условий горной реки Белая.
- методика гидравлического расчета ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора;

Реализации результатов исследований. Результаты диссертационного исследования внедрены в ООО КХ «Мускат» Майкопского района Республика Адыгея, ООО Южные земли и в учебный процесс по образовательной программе «Мелиорация, рекультивация и

охрана земель» (направление подготовки 20.04.02 Природообустройство и водопользование) на факультете гидромелиорации.

Апробация работы. Результаты исследований доложены на ежегодных научно-практических конференциях Кубанского ГАУ по итогам НИР в 2020-22 гг.; «Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии» в 2023 г.; VII Международной научной экологической конференции Кубанского ГАУ «Экология речных ландшафтов» 2022 г., Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, 2022 г.: Всероссийской научно-практической конференции «Год науки и технологий 2021» 2021 г.; Национальная конференция «Стратегии и векторы развития АПК», посвященная 100-летию Кубанского ГАУ. Краснодар, 2021; 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness «E3S Web of conferences» 24–26 февраля 2021 г., 8TH Innovative technologies in science and education, itse 2020 Rostovon-Don, 19-30 августа 2020 г.; Международная научно-практическая конференция «Научные основы природообустройства России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее», посвященная 55-летию эколого-мелиоративного факультета. Волгоград, 2020.

Публикация результатов работы. По результатам исследований опубликовано 19 научных работ, в том числе 2 статьи в международных базах данных, 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 2 патента РФ, 11 статей в других изданиях. Общий объем публикаций составляет 8,44 п. л., из них личный вклад автора – 2,66 п. л.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертационная работа содержит введение, пять разделов, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшего развития, список литературы. Работа изложена на 150 страницах компьютерного текста, включает в себя, 46 рисунков, 55 таблиц и 3 приложения. Список литературы состоит из 148 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана актуальность темы диссертации, приведены цель, задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первом разделе «Анализ систем капельного орошения садов в горных условиях Северного Кавказа» выполнен анализ режимов капельного орошения. Эффективность эксплуатации мелиоративных систем зависит от обоснованного выбора режима орошения, который определяет энергоёмкость, объём забора воды, качество полива, эколого-экономическую эффективность капельного орошения. Размер очага, скорость увлажнения, объём подачи, температура воды и др., зависят от многих факторов, которые следует учитывать для горных агроландшафта, адаптировано с учетом природных и антропогенных факторов, территориального расположения объекта, а также гидрологические особенности источников орошения, геологии, культуры орошения.

В горных условиях СКО представляют сложный мелиоративный комплекс, чем системы КО на равнинных территориях, где трудной задачей при их эксплуатации является добыча воды из источников орошения. Выбор типа и конструкции водозабора определяются природными и антропогенными факторами. Наиболее перспективными водозахватывающими сооружениями могут использоваться инфильтрационные водозаборы, которые наиболее устойчивые в условиях горных рек.

Во втором разделе «Разработка системы капельного орошения яблоневого сада на горных агроландшафтах». На основе экспериментальных исследований установлено влияние поливной нормы на формирование контуров увлажнения для почвогрунта над фильтрующим слоем под действием гравитационных сил от инфильтрационного потока, создаваемого расходом капельниц. В опытах объёмная масса в исследуемых горизонтах почвы находится в слоях 0,1 м по глубине 0,8 м, в 5-ти кратной повторности.

Моделирование распространения влажности в почвогрунте проводились по картограммам на базе эмпирических данных по влажности в различные интервалы времени с использованием метода триангуляции в каждом квадрате (рисунок 1). Выделялись 2 смежных треугольника на сетке, далее каждая сторона, образованная треугольниками, разбивалась на равные отрезки, и через величины равные 5 % шагу проводились кривые в программном комплексе *IndorCAD*. Обработка измерений проверялась в

комплексе *STATISTICA* на персональном компьютере методом множественной регрессии. Данный метод наиболее подходит для подгонки прямой линии, описывающей изменение исследуемых параметров, по набору точек полученных по результатам опытов, рисунок 1.

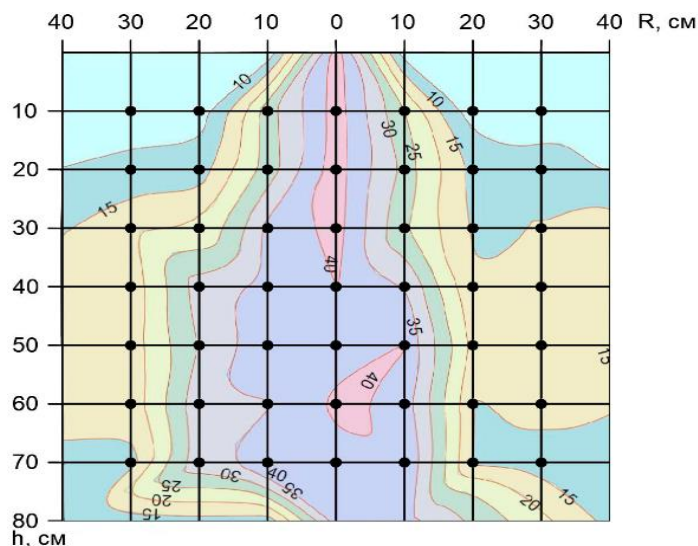


Рисунок 1 – Картограммы распределения влажности в почвенном лизиметре через 4 часа полива

Требовалось установить на каком часе после полива вода достигает дренажного слоя, и когда требуется прекращать полив, чтобы обеспечить рациональное использование воды при капельном орошении яблонь. Имея промачиваемый слой почвогрунта капельницей расходом 2,5 л/час, и измеренные величины влажностей в вершинах сетки при помощи персонального компьютера, выполнялось построение картограммы распространения влажности в почвенном профиле по фиксированному времени по часам полива. На картограммах выделялись изолинии, на которых отображалась влажность: 5; 10; 40 %.

Результаты, полученные по картограммам, показывают динамику распространение влаги в почвогрунте на дренажном слое во времени. Полная влагоёмкость соответствует 40 % (рисунок 2) влажности почвогрунта, что видно по данным картограммам.

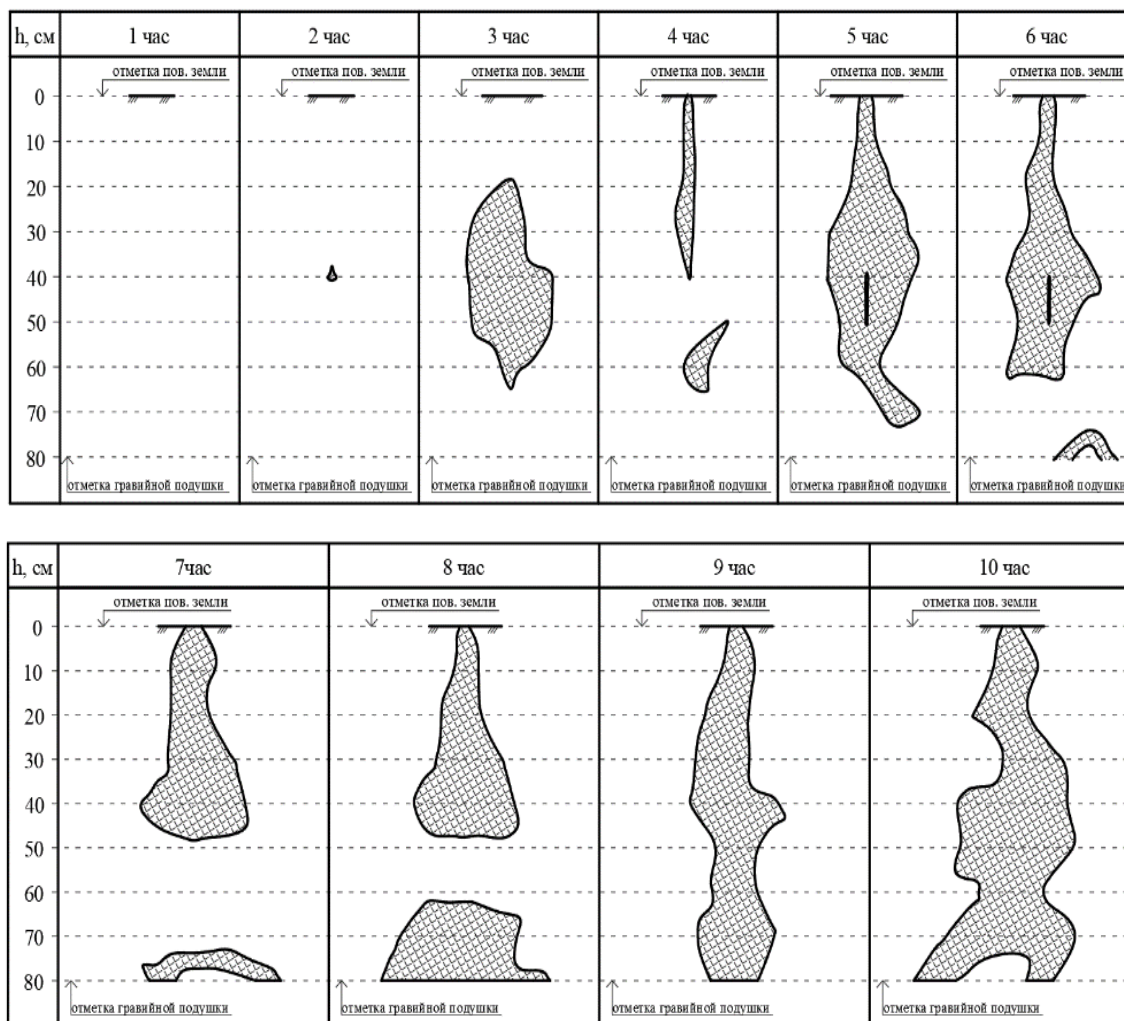


Рисунок 2 – Результат оцифровки измерений во времени предельной влажности (40 %)

Из опыта можно заключить, что вода при расходе капельницы достигает дренажного слоя через 4 часа после начала полива. Вода в почвогрунте имеет инертность движения к дренажному слою за счет различных причин, к которым можно отнести фильтрацию, поровое пространство почвогрунта (плотность) и ряд других.

Для этого использовались полученные эмпирическим путём картограммы (рисунок 1) распределения влажности в почвенном лизиметре, выполнение по принципу палетки в AutoCAD. Площади между контурами определяются методом штрихования в векторном формате. Данная операция возможна в связи с функциональной способностью обмена файлов с IndorCAD при помощи экспорта в разрешении «.DXF». Следовательно,

при переносе картограммы на палетку сокращается время выполнения операций и увеличивается точность результата.

Обработка опытных данных по объёму и времени позволяет получить закономерности изменения влажности в слое 0-0,8 м почвогрунта на фильтрующем основании, которые представлены на рисунке 3.

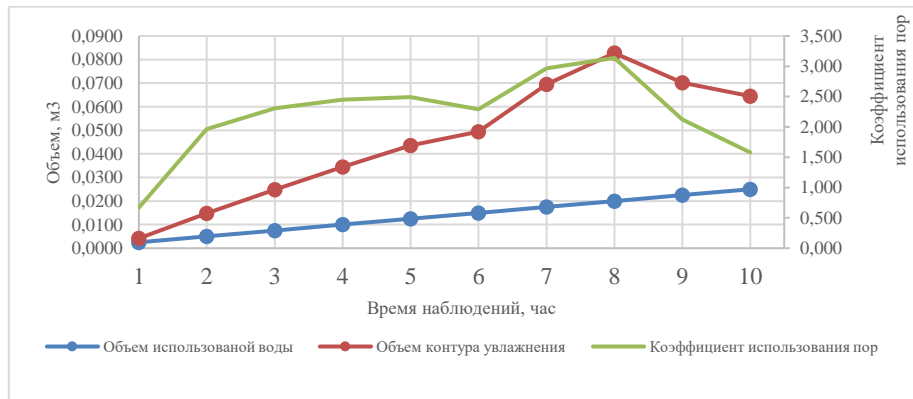


Рисунок 3 - Изменение объемов влажного грунта

Динамика изменения объемов контура увлажнения и коэффициент использования воды показывают, что после 8 часа эффективность полива снижается, при этом объем воды возрастает.

Выполнен математический анализ, основанный на описательной статистике при планировании эксперимента, выявлена зависимость распределения расхода воды внутри почвенного слоя линейно.

$$Q = 0,0027 + 0,2932 \cdot W_k \quad (1)$$

Уравнение (1) можно использовать для прогнозирования распределения поливной нормы в почвогрунтах имеющих фильтрующие подстилающие слои с применением СКО.

В третьем разделе «Разработка шкалы рисков устойчивости мелиоративного водозабора от влияния природных и антропогенных факторов» Разработана оценка выбора водозаборного сооружения, в которой применяется комплексный интегральный показатель рисков, включающий набор частных рисков природного и антропогенного фактора. Выполняется анализ основных типов водозаборных сооружений для горных условий. К которым относятся: фильтрующие, ковшовые, траншейные водозаборы и комбинированные водозаборы, включающие элементы фильтрации в ковшах или траншеях. Для выбора типа мелиоративного

водозабора в горных условиях принимается энергетический метод. Поток рассматривается, как энергетический ресурс, обеспечивающий устойчивую работу водозабора с неразрывной гидравлической связью в системе: река, водозабор, трубопроводная и поливная сеть.

СКО рассматривается, как непрерывное векторное поле фильтрационных токов воды, где компоненты векторов описываются уравнением Дарси:

$$v = k \frac{h}{l}, \quad (2)$$

где v – скорость фильтрации, м/с; k – коэффициент фильтрации, м/с; h – напор воды в фильтре, м; l – длина пути фильтрации, м.

Фильтрующий поток в мелиоративном водозаборе с учетом компонентов векторов скорости описывается уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial h} [k(x, y) \frac{\partial h}{\partial x} + k(x, y) \frac{\partial h}{\partial y}] = 0 \quad (3)$$

Энергия интегрирует n одновременно возникающих рисков, как в пространстве, так и по продолжительности их действия в живом сечении векторного поля скоростей. Для перехода к предгильбертовому пространству, где векторное поле можно оценить его нормой - функционалом, заданным на векторном пространстве, а векторное поле с нормой будет нормированным пространством. С учетом принятых ранее допущений, скалярное произведение порождает естественную норму:

$$\|x\| = \sqrt{\langle x, x \rangle}, x \in X, \quad (4)$$

где $\|x\|$ — норма элемента x -векторного пространства.

При $x_i = R_i$, где R_i – индикатор частного риска соответствующий норме $\|x\|$. При одновременном воздействии n мерных индикаторов рисков интегральный показатель $R_{ИПР}$ должен стремиться к минимуму рисков, выразив $R_{ИПР}$ через R_{MB} , получим:

$$R_{ИПР} = R_{MB} \rightarrow R_{min} \quad (5)$$

$$R_{MB} \leq R_{KP}$$

где R_{min} – параметр, отвечающий минимуму рисков эксплуатации мелиоративного водозабора; $R_{кр}$ – параметр критического состояния эксплуатации мелиоративного водозабора, выше которого система разрушается.

Минимум интегральных рисков должен не превышать критический интегральный параметр рисков. Это означает, что имеется такой параметр $R_{кр}$, больше которого система теряет устойчивость:

$$R_{MB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \leq R_{кр} \quad (R_{MB} \rightarrow R_{min}), \quad (6)$$

где R_{MB} - интегральный безразмерный показатель мелиоративного водозабора, отображающий состояние ресурса; n – количество индикаторов частных рисков.

Система считается ресурсной, т.к. выражает математическую зависимость интегрального показателя ресурса в безразмерных индикаторах частных рисков в количественных и качественных показателях системы. При разработке шкалы оценки рисков учитывались частные риски различных факторов, воздействующих на мелиоративные водозаборы.

Рассмотрены четыре типа мелиоративных водозаборов, которые могут использоваться в горных условиях р. Белой: MB1- фильтрующий водозабор; MB2 – Ковшовый водозабор; MB3 –траншейный и MB4 – комбинированный, включающий элементы ковша и фильтра. Проведена интегральная оценка рисков MB отдельно по факторам. Установлено влияние антропогенных и природных факторов на условия эксплуатации MB на горном участке р. Белой. На рисунке 4 представлен график интегральных безразмерных показателей рисков по водозаборам.

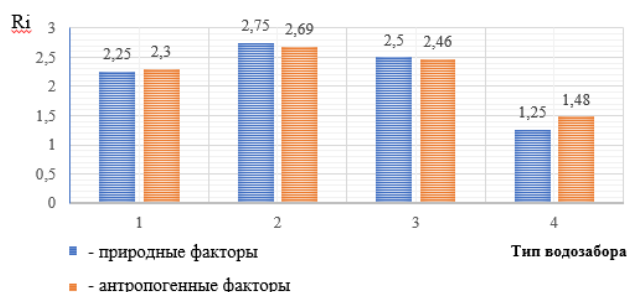


Рисунок 4 – Интегральные риски эксплуатации MB

График (рис.4) показывает, что все мелиоративные водозаборы имеют факторы $R_{МВ} > 2,0$, кроме 4 типа водозабора, который выбран как адаптивный.

В четвёртом разделе «Разработка фильтрационного мелиоративного водозабора для системы капельного орошения» приводится разработка физической модели, на которой применялось подобие явлений в натуре и на модели при разработке водозаборного сооружения.

Кинематическое подобие конструкции водозабора достигается сходственными траекториями движениями частиц и скоростями в сходственных точках связаны постоянными гидравлическими соотношениями.

$$\frac{F_M}{F_H} = \frac{Re_M}{Re_H} = \frac{\lambda_M}{\lambda_H} = \frac{C_M}{C_H} = 1 = const \quad a_F = \frac{98100}{98100} = 1 \quad (7)$$

С учетом особенностей гидрологического режима и геологического строения р. Белой разработан ковшовый фильтрующий мелиоративный водозабор (КФМВ) для СКО интенсивного сада (патенты RU 2732106 С1, RU 2732496 С1). Схема КФМВ дана на рисунке 5.

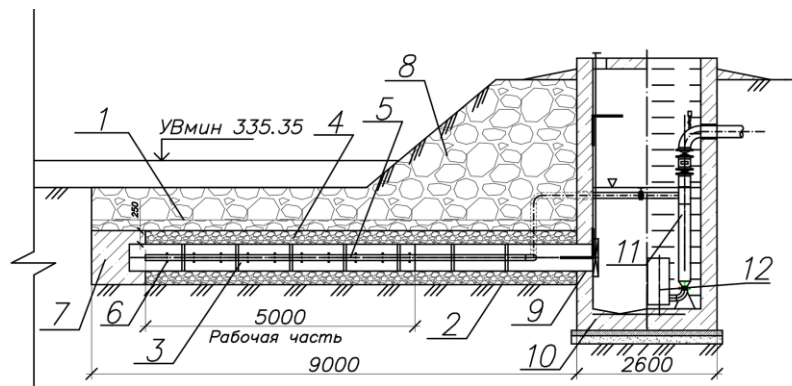


Рисунок 5 – Конструкция ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора для системы капельного орошения

Ковшовый фильтрующий мелиоративный водозабор состоит из приемного ковша прямоугольной формы 1, устроенным в неразмываемом дне участка русла реки 2 и фильтрующего водоприемника, выполненного из

перфорированной трубы 3, вокруг которой уложен гравийный фильтр 4. Внутри перфорированных труб 3 устроены промывные трубы меньшего диаметра 5 с цилиндрическими насадками 6, проложенные по центру перфорированных труб равной длины. В приемном ковше 1 начальный участок перфорированных труб 3 закреплен железобетонным пригрузом 7, фиксируя их проектное положение от смещения. Объем приемного ковша вокруг перфорированных труб заполнен гравийным фильтром 4, при этом от верха гравийного фильтра в приемном ковше 1 уложена каменная наброска 8 до уровня дна русла 2, которая обеспечивает дополнительную защиту от размыва, при этом устьевая часть 9 трубчатого водоприемника входит в камеру водосборного колодца 10. Промывные трубы 5 через подающие трубы 11 в водосборном колодце 10 подключены к напорной линии насосов 12. Количество приемных труб в ковше принимается не менее 2-х. Длина перфорированной части труб назначается равной длине ковша, где происходит захват воды реки и при этом выполняется условие неразрывности потока. Для условий забора воды из р. Белой принимается 3-х слойный обратный фильтр. Конструкция фильтра приводится на рисунке 2. Для обсыпки трубы принимаются слои гравия сверху к дну траншеи: рваный камень 300-600мм; гравий 100-150мм; 50-100мм; труба 500мм; гравий 50-100мм. Верхний слой рассчитывается из условий неразмывающих скоростей.

Методика расчета ковшового фильтрующего водозабора.

Ковш выполняется в виде прямоугольной траншеи с геометрическими параметрами для размещения ФПТ и железобетонного упора для устойчивости водозабора. Расход притока в траншею ковша определяется из формулы Дюпюи:

$$Q = \Omega \cdot u_{\phi} = \Omega \cdot k \cdot i, \quad (8)$$

где Q – фильтрационный расход ковша, м³/с; Ω – площадь приемной камеры ковша, м².

Площадь приемной камеры ковша находится из формулы:

$$\Omega = b \cdot l, \quad (9)$$

где b – ширина ковша, м; l – его длина, м.

Расход воды из реки через перфорацию будет определяться по формуле:

$$Q = \mu n \omega_{\text{пер.}} \sqrt{2gZ}, \quad (10)$$

где Q – расход воды через фильтр, $\text{м}^3/\text{с}$; μ – коэффициент расхода песчано-гравийного фильтра; n – отверстий на трубопроводе; $\omega_{\text{пер.}}$ – площадь перфорации, м^2 ; Z – гидравлический перепад уровней в реке и приемной камере, м.

Глубина ковша назначается из условия размещения фильтра по высоте, а также зависит от диаметра ФПТ. В траншею ковша укладываются железобетонные упоры, в которых закрепляются ФПТ.

Из соотношения (8) и (10), следует:

$$l = \frac{\mu \cdot n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2gZ}}{b \cdot u_{\phi}} \quad (11)$$

Длина ковша зависит от гидравлического перепада уровней, скорости фильтрации и сопротивления на фильтре. Из формулы получаем:

$$l = A (\mu \cdot \sqrt{Z} / u_{\phi}) \quad (12)$$

где $A = \frac{n \cdot \omega_{\text{пер.}} \cdot \sqrt{2g}}{b}$ – постоянный параметр для данной конструкции ковша МВ, где b зависит от диаметра, и расстояние между фильтрующими перфорированными трубопроводами принимается равным $3D$, где D диаметр трубопровода. Формулу (12) можно использовать для назначения длины ковша.

Диаметр трубы фильтрующего перфорированного трубопровода определяется из условия подачи расхода в СКО:

$$D = (1,1-1,2) \cdot Q^{0,5}. \quad (13)$$

где Q – расход трубы, который подаётся в систему капельного орошения, $\text{м}^3/\text{с}$.

Диаметр принимается из условия незаиляющих скоростей потока в перфорированного трубопровода.

Незаиляющая скорость зависит от диаметра перфорации приемной трубы, диаметр наносов для расчета незаиляющих скоростей принимается равным диаметру перфорации. Для защиты рабочего колеса насосов от

истирания принимается обратный фильтр и диаметры отверстий перфорации не более 5 мм. Для продолжительной службы мелиоративного водозабора принимается полиэтиленовая труба с перфорацией.

Определяется входная скорость в ковше, которая не должна оказывать негативное влияния на молодь рыб. Скорость на входе в ковш $V_{вх}$ должна быть меньше критической $V_{кр}$ для молоди рыб: $V_{вх} < V_{кр}$, где $V_{кр} = 0,2$ м/с.

Количество отверстий на перфорированном трубопроводе.

Отверстия принимаются круглого сечения или в виде щелей. Захват фильтрационного потока осуществляется суммарной перфорацией на ФПТ и оценивается площадью перфорации $\omega_{пер}$.

Площадь перфорации определяется по формуле:

$$\omega_{пер} = \sum \omega_{от} \text{ или коэффициентом перфорации } K_{\omega} = \sum \omega_{от} / \omega_{фнт}.$$

Коэффициент перфорации определяется шагом расположения отверстий на развертки трубы длиной l и шириной D .

Промывка фильтрующего перфорированного трубопровода.

При засорении фильтра наносами выполняется его промывка обратным током воды с помощью насосной станции 1-го подъема. Для этого предусматривается полиэтиленовый трубопровод диаметром 100 мм, который устраивается внутри каждого трубопровода с внешними цилиндрическими насадками с $L/d = 3$ и коэффициентом расхода 0,82. Диаметр насадка 10 мм. Количество насадков рассчитывается из формулы истечения жидкости под уровень.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. В условиях горной зоны Северного Кавказа при капельном орошении на физической модели почвогрунта на фильтрующем основании, формируются контуры увлажнения в виде «елки». Для моделирования распространения влажности составлены картограммы, отражающие диапазон влажности с шагом в 5% для расчета объема смоченного грунта. Оцифровка моделей позволяет установить изменение характеристик увлажнения и получить данные по эффективности использования воды в системах капельного орошения.

2. Обоснован режим капельного орошения яблоневого сада обеспечивающий рациональное использование водных ресурсов из горной реки Белая. Полученные зависимости позволили сделать вывод, что при продолжительном поливе, свыше 8 часов, происходит завышение поливных норм и увеличение мощности систем капельного орошения. Получен коэффициент использования воды (2.4) для почвогрунтов на дренажном слое, который отражает изменение влажности во времени и определяет неоднородность процесса перемещения воды в течении всего срока полива.

3. Разработана методика выбора конструкции мелиоративного водозабора для сложных условий горных рек. Обоснован выбор адаптированного мелиоративного водозабора по интегральному показателю риска и факторной шкале рисков. Доказано, что комбинированный мелиоративный водозабор, где применяется ковш и подрусовая фильтрация для захвата воды на р. Белой имеет максимальную надежность и не превышает интегральный показатель критической величины $RMB = 2,0$.

4. Разработана новая адаптированная конструкция ковшового фильтрующего мелиоративного водозабора, обеспечивающая устойчивую эксплуатацию для условий р. Белая. Доказано, что на конструкцию водозабора оказывают влияния геометрические параметры и скорость фильтрации. Получена зависимость (4.14), которая показывает, что с увеличением сопротивления фильтра длина ковша при постоянной ширине возрастает.

5. Разработана методика расчета конструкции ковшового фильтрационного мелиоративного водозабора, которая включает: определение габаритных размеров водозаборного сооружения в зависимости от расхода; расчет скоростных характеристик движения воды через фильтрующий элемент ковша; определение диаметра и количества перфорированных трубопроводов; расчет количества и диаметра перфорации трубопроводов; расчет промывки фильтра.

Рекомендации производству

При проектировании систем капельного орошения в горных условиях, для почвогрунтов с фильтрующим подстилающим слоем, рекомендуется

уменьшать время одного полива при определении расчетного расхода водозаборного сооружения, что позволяет повысить водообеспеченность системы капельного орошения до 10 %.

Разработанная методика с применением показателей риска позволяет оценить мелиоративные водозаборы для сложных горных условий. Фильтрующие ковшовые водозаборы рекомендуется применять на участках горных рек, для устойчивой подачи воды в системы орошения.

При проектировании систем орошения, расположенных на почвогрунтах с фильтрующим основанием, рекомендуется применять математическую зависимость площади контура увлажнения и расхода воды, что позволяет учитывать коэффициент использования воды для экономии водных ресурсов в системе капельного орошения.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Исследования можно использовать в направлении поиска технических решений на основе эффективного водообеспечения, с целью повышения эксплуатационной надежности фильтрующих мелиоративных водозаборных сооружений на горных реках при проектировании и эксплуатации систем орошения.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Кузнецов, Е. В. Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 19-33. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-1-19-33. – EDN WPTICL.

2. Килиди, Х. И. Водозаборное сооружение для целей орошения земель в горных условиях Северного Кавказа / Х. И. Килиди, Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди // Мелиорация и гидротехника. – 2024. – Т. 14, № 1. – С. 89-104. – DOI 10.31774/2712-9357-2024-14-1-89-104. – EDN ARIPWK.

3. Математическая модель распространения влаги при иссушении почвы агроландшафтов / В. Н. Гельмиярова, А. Д. Гумбаров, А. Е. Хаджиди,

Х. И. Килиди // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 36. – С. 335-337. – EDN PBPZTT.

4. Килиди, Х. И. Охрана прибрежных ландшафтов от техногенных воздействий / Х. И. Килиди, В. А. Кузьменко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 82. – С. 647-656. – EDN PGKZAX.

- в изданиях, индексируемых в Scopus

5. Method of restoring water level of small rivers / E. Kuznetsov, A. Khadzidi, L. Motornaya [et al.] // E3S Web of Conferences: 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021 года. Vol. 273. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – P. 05007. – DOI 10.1051/e3sconf/202127305007. – EDN UCOSDP.

6. Justification of the underflow intake design in the mountainous gardening conditions for the drip irrigation system / K. Kilidi, E. Kuznetsov, A. Khadzidi [et al.] // E3S Web of Conferences. 8. Сер. "Innovative Technologies in Science and Education, ITSE 2020" 2020. С. 05007.

- в патентах на изобретение

7. Патент № 2732106 С1 Российская Федерация, МПК E02В 9/04, E03В 3/32. Подрусловой фильтрующий водозабор ковшовой конструкции: № 2019126244: заявл. 19.08.2019: опубл. 11.09.2020 / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". – EDN BOUQNJ.

8. Патент № 2732496 С1 Российская Федерация, МПК E02В 9/04. Способ возведения подруслового фильтрующего водозабора ковшовой конструкции: № 2019125886: заявл. 15.08.2019: опубл. 17.09.2020 / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Н. Куртнезирев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина". – EDN JOQACN.

- в прочих изданиях

9. Килиди, Х. И. Перспективы использования водоочистных фильтров в системах внутрпочвенного и капельного орошения / Х. И. Килиди, Д. Ю. Сорокашиш // Экология речных ландшафтов: Сборник статей по материалам VII Международной научной экологической конференции, Краснодар, 16 декабря 2022 года / Отв. за выпуск Н.Н. Мамась. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 122-125. – EDN YHZYSC.

10. Килиди, Х. И. Особенности эксплуатации подруслового водозаборного сооружения / Х. И. Килиди // Точки научного роста: на старте десятилетия науки и технологии: Материалы ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2022 г., Краснодар, 12 мая 2023 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 256-257. – EDN YDQEXO.

11. Килиди, Х. И. Способ забора воды для целей капельного орошения / Х. И. Килиди // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 06 апреля 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 218-220. – EDN DYXHTT.

12. Тратникова, А. А. Комплексная технология повышения продуктивности мелиоративной системы / А. А. Тратникова, И. С. Носуля, Х. И. Килиди // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар, 01 марта 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. Том Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 630-632. – EDN PYRQUT.

13. Щербак, Д. А. Определение основных элементов низконапорных систем внутрпочвенного орошения на легких почвах / Д. А. Щербак, И. С. Носуля, Х. И. Килиди // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год. В 3-х частях, Краснодар,

01 марта 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. Том Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 646-648. – EDN OABFTJ.

14. Мероприятия для повышения водообеспеченности участков степных рек / А. Е. Хаджиди, Х. И. Килиди, А. Н. Куртнезирова [и др.] // Стратегии и векторы развития АПК: Сборник статей по материалам национальной конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 15 ноября 2021 года / Отв. за выпуск А.А. Титученко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 110-114. – EDN USNAGR.

15. Килиди, Х. И. Особенности проектирования водозаборов на горных реках / Х. И. Килиди, А. И. Килиди // Год науки и технологий 2021: Сборник тезисов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 09–12 февраля 2021 года / Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 256. – EDN KCDJJP.

16. Повышение эффективности забора воды горных рек для целей орошения / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, Х. И. Килиди, А. И. Килиди // Научные основы природообустройства России: проблемы, современное состояние, шаги в будущее: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию эколого-мелиоративного факультета, Волгоград, 08 ноября 2019 года. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2020. – С. 59-63. – EDN SKRRHO.

17. Комплекс рыбозащитных мероприятий при эксплуатации водозаборного сооружения на реке Пшеха / Х. И. Килиди, В. В. Прокопенко, Е. В. Кузнецов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 75-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2019 год. Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. 2020. С. 176-178.

18. Конструкция мелиоративного водозаборного сооружения горных рек / Е. В. Кузнецов, Х. И. Килиди, А. Е. Хаджиди, А. Н. Куртнезирова // Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2019): сборник трудов VII Международной научно-практической

конференции, посвященной 90-летию ДГТУ (РИСХМ), с. Дивноморское, 04–14 сентября 2019 года. – с. Дивноморское: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2019. – С. 109-112. – DOI 10.23947/itno.2019.109-112. – EDN ZHJGLR.

19. Килиди, А. И. Береговое водозаборное сооружение с насосной станцией первого подъема на р. Пшеха / А. И. Килиди, Х. И. Килиди // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: Сборник статей по материалам XII Всероссийской конференции молодых ученых, Краснодар, 05–08 февраля 2019 года / Отв. за вып. А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – С. 279-280. – EDN ZBPJBZ.

Килиди Харламий Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ СИСТЕМ
КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИМИ
ВОДОЗАБОРНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ НА ГОРНЫХ РЕКАХ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать ____ . ____ 2024. Формат 60×84 ¹/₁₆
Усл. печ. л. – 1,0. Тираж 100. Заказ № ____
Типография Кубанского государственного аграрного университета
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13