

На правах рукописи



Моторная Лариса Васильевна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО
ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И РЫБОЗАЩИТЫ
НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ**

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2023

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

Научный
руководитель

Кузнецов Евгений Владимирович доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения

Официальные
оппоненты:

Ткачѳв Александр Александрович доктор технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», заведующей кафедрой «Гидротехническое строительство»

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

Ведущая
организация:

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», г. Новочеркасск

Защита состоится «14» июня 2023 года в 10⁰⁰ 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 «__» _____ 2023 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук



О.А. Гуторова

Основное содержание работы

Актуальность темы диссертации. Водоресурсные системы малых водотоков, включая биоресурсы, даже в малых объёмах, чувствительны к изъятию стока на орошение, а не рациональная хозяйственная деятельность на них приводит к деградации экосистемы речных бассейнов в целом. Особенностью малых водотоков являются низкие уровни в межень, небольшие расходы, негативно отражающиеся на обеспеченности забора воды в оросительные системы. Для повышения надёжной эксплуатации оросительных систем необходима разработка на мелиоративных водозаборах таких мероприятий, которые бы имели эффективную защиту гидробионтов и обеспеченный забор воды при дефиците водных ресурсов.

Разработка инновационных экологических бесконтактных рыбозащитных устройств должно идти по пути повышения их эффективности и снижения энергопотребления при рациональном использовании малых водотоков. Известно не мало различных рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах, которые практически отвечают экологическим требованиям, но их применимость в сложившихся гидрологических условиях малых водотоков по технологическим, конструктивным параметрам и способам защиты, порой бывает не выполнима.

Диссертационное исследование проводилось в рамках тематических планов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ФГБОУ ВО КубГАУ на 2016-2020 гг. по госбюджетной теме (рег. номер АААА-А16-116022410039-5) «Обосновать адаптированную земельно-охранную систему повышения агоресурсного потенциала для устойчивого развития агроландшафтов» и на 2021-2025 гг. по госбюджетной теме (рег. номер № 121032300049-7) «Разработка ресурсосберегающих технологий охраны от загрязнений отходами сельскохозяйственных земель предприятий АПК».

Степень разработанности темы. Наиболее надёжными водозаборами, обеспечивающими гарантированный забор воды на мелиоративные системы и оборудованные рыбозащитными устройствами, являются береговые водозаборы, которые внедряются на малых водотоках с небольшими глубинами и расходами воды. Данная

тема получила развитие в работах известных ученых В.Н. Щедрина, Д.С. Павлова, А.М. Пахорукова, В.Н. Шкура, П.А. Михеева, В.Л. Бондаренко, А.Л. Эрслера, С.М. Васильева, А.М. Анохина, А.А. Ткачев, Г.Н. Пураса, В.И. Клёпов, А.В. Иванов, М. Г. Журба, А.Ш. Барекян, Е.Д. Хецуриани и др., которые предложили ряд оригинальных конструкций мелиоративных водозаборов, оборудованных рыбозащитными устройствами, применяющиеся в настоящее время. Однако, в связи с изменением гидрологического режима малых водотоков, когда уровни могут колебаться в широком диапазоне при дефиците стока, возникает потребность в оросительной воде и контроле всего диапазона изменения уровней. В данных условиях бесконтактные рыбозащитные устройства являются наиболее предпочтительными, т.к. контакт с гидробионтами будет полностью исключен. Эксплуатация мелиоративных водозаборов, оборудованных контактными рыбозащитными устройствами (сетками, барабанными заградителями и др.) для сохранения биоресурсов недопустима. Использование рыбозащитных устройств с противотоками воды обеспечивает необходимую эффективность защиты гидробионтов при рациональном использовании стока малых водотоков.

Рабочая гипотеза. Устройство мелиоративных водозаборов на малых водотоках требует разработки новых мобильных бесконтактных экологических рыбозащитных устройств, применение которых повысят рыбозащитную эффективность более чем на 90 %, обеспечат условия рационального использования воды при дефиците водных ресурсов.

Цель – повысить эффективность рационального водопользования и экологическую безопасность биоресурсов мобильным рыбозащитным устройством при снижении энергозатрат на мелиоративных водозаборах малых водотоков.

Задачи исследований:

- выполнить анализ рыбозащитных устройств и поведения молоди рыб на мелиоративных водозаборах малых водотоков;
- разработать схему водоресурсной системы с отдельной насосной станцией для мобильного рыбозащитного устройства на малом водотоке;
- обосновать способ и устройство бесконтактной экологической защиты гидробионтов на мелиоративном водозаборе;

- исследовать технологические параметры потокоформирующих элементов потокообразователя мобильного рыбозащитного устройства (МРЗУ) для защиты гидробионтов;

- установить эколого-экономическую эффективность бесконтактного мобильного рыбозащитного устройства на малых водотоках бассейна реки Кубань.

Методы исследования. Исследования проводились на полномасштабной физической модели мобильного рыбозащитного устройства с использованием имитаторов молоди рыб в потоке влияния водозабора с применением математических методов обработки результатов экспериментов. Натурные исследования выполнялись на реке Синюха и Новокубанском канале Краснодарского края.

Объект исследования. Рациональное использование водных ресурсов бесконтактным экологическим мобильным рыбозащитным устройством на мелиоративном водозаборе малого водотока.

Предмет исследования. Гидравлические закономерности объёмного противотока и технологические параметры мобильного рыбозащитного устройства.

Научная новизна работы:

- экологический бесконтактный способ защиты личинок и молоди рыб объёмными гидравлическими противотоками и конструкция МРЗУ с эффективностью 90 %;

- технологические параметры мобильного рыбозащитного устройства: угол наклона 70° потокообразователя, угол конуса 120° , расстояние от насадок с относительной длиной 5 до конуса – 0,03 м, обеспечивающие экологическую защиту гидробионтов и рациональное водопользование на мелиоративных водозаборах;

- новая водохозяйственная система на малом водотоке с подачей воды через механические фильтры грубой очистки отдельной насосной станцией для МРЗУ;

- уравнение баланса энергии между объёмным гидравлическим экраном и потоком на мелиоративном водозаборе для определения количества потокоформирующих элементов МРЗУ.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в разработке конструкции рыбозащитного устройства бесконтактного типа для применения экологических принципов не прямого

воздействия плоских противотоков струйных течений объёмных гидравлических экранов на гидробионты, где при истечении из конических сходящихся насадков с конусами дополнительно создаются условия для непрерывной очистки потокообразователя от водорослей и грязи;

- в использовании имитационного моделирования для исследования рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах с помощью физических имитаторов, которые позволяют подобрать технологические параметры потокоформирующих элементов для экологической рыбозащиты;

- в применении отдельных насосных станций для рыбозащитных устройств, которые не зависят от работы головных насосных станций, обеспечивают снижение потребления электроэнергии и обеспечивают рациональное водопользование мелиоративными водозаборами на малых водотоках;

- в разработке схемы водоресурсной системы, где путём очистки воды источника с применением механических фильтров обеспечивается устойчивая эксплуатация МРЗУ.

Новизна предложенных технических решений подтверждена патентами РФ на изобретение №2786534, №2783237.

Достоверность научных результатов и выводов обеспечивается большим количеством лабораторных опытов с применением стандартных методов исследований, математической обработкой полученных данных и применением компьютерных программ. Натурными исследованиями на малых водотоках.

Основные положения, выносимые на защиту:

- схема водоресурсной системы на малом водотоке с отдельной насосной станцией для мобильного рыбозащитного устройства;

- новый способ и устройство бесконтактной экологической защиты гидробионтов, позволяющие выполнять рациональное водопользование;

- исследование технологических параметров и методика расчёта мобильного рыбозащитного устройства;

- эколого-экономическая эффективность бесконтактной защиты гидробионтов мобильным рыбозащитным устройством на малых водотоках бассейна реки Кубань.

Реализации результатов исследований. Результаты диссертационного исследования внедрены в экспериментальном образце мобильного рыбозащитного устройства на мелиоративном водозаборе на Новокубанском канале в ООО «Союз Агро» Гулькевичский район Краснодарский край (акт внедрения от 06.06.2022г.)

Апробация работы. Основные положения выводы диссертации доложены и одобрены на Международных и Всероссийских (национальных) научных конференциях: Международной научно-практической конференции «Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России» (Курган, 2022 г.); XV Юбилейной международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса (Конференция «Интерагро 2022»)» (Ростов-на-Дону, 2022 г.); Юбилейной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2021 г., посвященная 100 – летию Кубанского ГАУ (Краснодар, 2022 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Год науки и технологий 2021» (Краснодар, 2021 г.); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Приоритетные направления развития сельскохозяйственной науки и практики в АПК» (пос. Персиановский, 2021 г.); Международной студенческой научно-практической конференции (Краснодар, 2020 г.).

Публикация результатов работы. По результатам исследований опубликовано 17 работ, в том числе 5 статей в международных базах данных, 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 2 патента. Общий объем публикаций составляет 6,58 п.л., из них личный вклад автора 2,32 п.л.

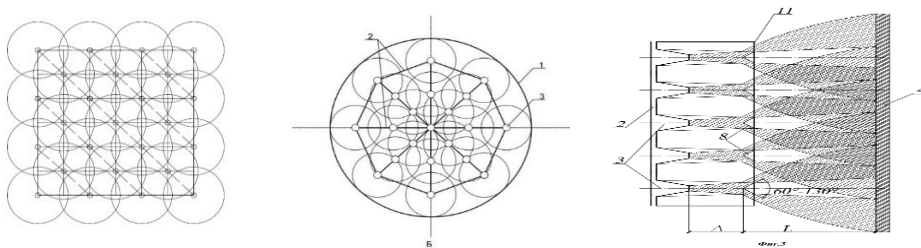
Структура и объём диссертационной работы. Диссертационная работа содержит введение, пять разделов, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшего развития, список литературы. Работа изложена на 150 страницах компьютерного текста, включает в себя, 46 рисунков, 55 таблиц и 3 приложения.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

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первом разделе «Современное состояние мелиоративных водозаборов с рыбозащитными устройствами на малых водотоках» выполнен анализ мелиоративных водозаборов с рыбозащитными устройствами. Дается понятие устойчивого функционирования водоресурсных экосистем как – комплекса мероприятий, обеспечивающих сохранение биоресурсов и рациональное использование водных ресурсов на мелиоративных водозаборах, адаптированными к изменениям гидрологического режима водных объектов. Представлен критический подход к эксплуатации мелиоративных водозаборов с современными рыбозащитными устройствами в условиях дефицита водных ресурсов и рационального использования воды на оросительных системах, требующий разработки новых более совершенных экологических бесконтактных рыбозащитных устройств на основе сохранения водоресурсных экосистем малых водотоков.

Во втором разделе «Обоснование водоресурсной системы на малых водотоках: мелиоративный водозабор – мобильная рыбозащита». Разработано мобильное рыбозащитное устройство, которое обеспечивает защиту гидробионтов направленным бесконтактным струйным потоком навстречу потоку водозабора. Основным элементом МРЗУ является потокообразователь он же коллектор, на котором устраиваются внешние конически сходящиеся насадки с $l/d = 3 - 5$ соосно расположенными потокоформирующими устройствами – конусами. Форма коллектора принимается круглой или прямоугольной по форме водоприёмного окна, где вода насосом под давлением 0,2-0,3 МПа через МРЗУ создаёт струйные противотоки (рис. 1). Устройство потокоформирующих элементов принимается по схеме: линейной, шахматной или комбинированной, при этом водоструйные насадки 3 совместно с конусами 8 создают защитный объемный гидравлический экран 4 с равномерной плотностью противотока по живому сечению водоприёмного окна 1 на расстоянии от него $\Delta + L = 0,5-0,7$ м, где Δ – расстояние от выходного отверстия водоструйного насадка 3 до вершины конуса 8, принимается 3-10 см; L – расстояние от вершины конуса 8 до гидравлического экрана. На расстоянии L образуется гидравлический экран 4 с равномерной плотностью струйного потока, через который гидробионты не могут попасть в водозабор. Скорости схода струи с конуса не превышают критические для молоди рыб и находятся в диапазоне 8-10 м/с.



1-водозаборная труба; 2 – коллектор; 3 – насадки; 4 – экран; 5 - конус
 Рисунок 1 – Потокобразователь с насадками и конусами

Коллектор 2 имеет размеры меньше водозаборного окна 1 на 5-10 см. Коллектор соединен с помощью шарнира 11 с нижней части водоприёмного окна 1 водозабора, где такое крепление позволяет во время защиты личинок и молоди рыб управлять наклоном коллектора от 70 до 90 ° относительно оси набегающего потока водозабора.

Для определения параметров экрана, количества противотоков личинкам и молоди рыб используется теорема импульса сил. При истечении струи из насадки возникает сила, действующая на конус, создавая плоские течения гидравлического экрана. Схема истечения из насадки и схода струи с конуса дана на рисунке 2.

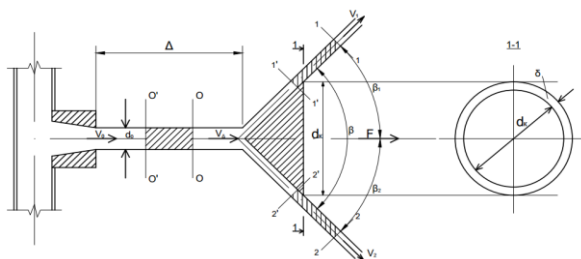


Рисунок 2 – Схема истечения из насадки и схода струи с конуса

Применяя теорему изменения количества при соударении струи с конусом, получим:

$$F \cos \beta = \rho v_0 q_n - \rho v_1 Q_1 \cos \beta_1 - \rho v_2 Q_2 \cos \beta_2 , \quad (1)$$

где F – сила, действующая на конус, H ; β – угол конуса, град.; β_1 ; β_2 – углы на конусе, град.; q_n –расход истечения из насадка, м³/с; Q_1 и Q_2 – расходы на гранях конуса, м³/с.

Решая уравнение (1), найдём F . Полус струи по исследованию Г.П. Абрамовича, находится:

$$x_o = \frac{0,29}{a} r_o, \quad (2)$$

где x_o – полюс, м; a – константа = 0,07– 0,08; r_o – радиус насадки, м.

В полюсе формируются ядро, где скорости струи остаются постоянными на расстоянии x_o . Длина начального участка, находится по формуле А.Я. Миловича:

$$x_n = 6 d_o, \quad (3)$$

где d_o – диаметр выходного сечения насадка, м

При установке насадки на расстоянии Δ от конуса в диапазоне $x_o < \Delta \leq x_n$ скорость струи v_o будет величиной постоянной, и равной скорости истечения из насадки в выходном сечении. В этом случае можно допустить, что скорость соударения струи о конус принимается равной скорости истечения. $v_\Delta = v_o$. Формула (1) примет вид:

$$F = \rho q_n [v_\Delta - \cos \beta_{IV}]. \quad (4)$$

За начальным участком идет основной участок, где скорость струи изменяется по гиперболическому закону и определяется по формуле:

$$v_l = \varepsilon v_n d_n / l, \quad (5)$$

где v_n – скорость на выходе из насадки, м/с; $\varepsilon = 6$.

Найдём скорость v_Δ , которая входят в уравнение (4), получим:

$$v_\Delta = v_n \varepsilon d_n / \Delta. \quad (6)$$

В уравнении (4) произведём замену v_Δ :

$$F = \rho q_n [v_n \varepsilon d_n / \Delta - q_n \cos \beta_I / \pi d_k \delta_k], \quad (7)$$

где δ_k – слой воды на сходе с конуса, м; d_k – диаметр конуса, м.

Количество N_c плоских струй противотока будет определяться из - уравнения баланса энергии между гидравлическим экраном и потоком водозабора на расстоянии L :

$$a Q v - N_c A q_n v_n = 0. \quad (8)$$

Расстояние, при котором формируется гидравлический экран находится экспериментальным путём.

Исследован гидрологический режим малой реки Синюха в условиях дефицита воды на орошение, который послужил к разработке адаптированных мелиоративных водозаборов, обеспечивающих забор воды на оросительные системы при экологической защите гидробионтов и рациональном использовании водных ресурсов.

При заборе воды на орошение предусматривается экологическая защита гидробионтов струйными противотоками и механическая очистка воды на входе в водоприёмное окно водозабора от мусора и наносов новым мобильным рыбозащитным устройством (МРЗУ). Технологическая схема подачи воды на ОС через мобильное рыбозащитное устройство дана на рисунке 3.

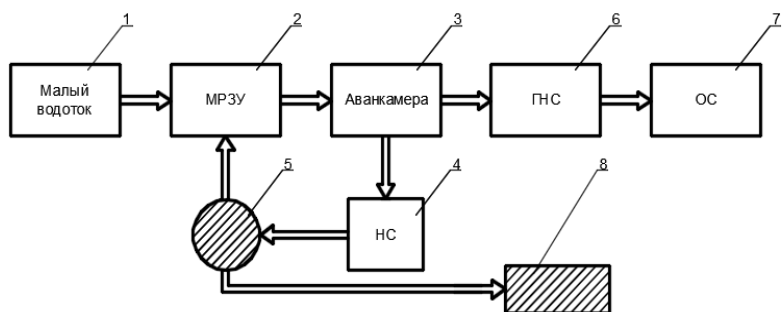


Рисунок 3 – Сема питания МРЗУ от передвижной НС

Водоресурсная экосистема будет включать мелиоративный водозабор с экологическими рыбозащитными устройствами 2 на малом водотоке 1, где вода из аванкамеры 3 возвращается на рыбозащитные устройства 2, очищенной на механических фильтрах 5. Для этого используется насосная станция 4, не зависящая от головной насосной станции. Осадок 8 утилизируется. Вода для рыбозащитных устройств забирается из аванкамеры и подаётся через механические фильтры на мобильные рыбозащитные устройства, создавая противотоки с защитным экраном.

Этим требованиям отвечает водоресурсная экосистема, которая описывается уравнениями:

$$Q_{MB} = Q_{OC} + Q_{п}, \quad (9)$$

$$Q_P \rightarrow Q_P^{min} \quad (10)$$

Зависимость (9) сводится к оптимизации режим орошения, а выражение (10) учитывает рациональное использование воды на МРЗУ. В существующих схемах рыбозащиты вода подаётся на РЗУ от напорной линии головной НС, и тогда расход $Q_{ГНС} = Q_{НС} + nQ_P$ (n равно количеству РЗУ). Расход ГНС увеличивается на расход РЗУ, при этом возрастают энергозатраты на 5-10 %.

Для рационального водопользования на малых водотоках разработана водоресурсная система «мелиоративный водозабор – мобильная рыбозащита» (рис. 4).



Рисунок 4 – Принципиальная схема водоресурсной экосистемы: мелиоративный водозабор – мобильная рыбозащита

Разработаны схемы проектов водозаборов для ОС на малых водотоках – реке Синюха, Михайловском и Новокубанском каналах, учитывающие колебание уровней при дефиците стока, на которых запроектирована подача воды на МРЗУ от отдельных насосных станций.

Для эффективного функционирования *водоресурсной системы* на малых реках необходимо выполнять забор воды сооружениями, которые нужно оборудовать бесконтактными экологическими рыбозащитными устройствами, обеспечивающими рациональное водопотребление. Этим требованиям отвечает мелиоративный водозабор, оснащённый бесконтактными экологически МРЗУ.

В третьем разделе «Схема опыта. Методика исследований» приводится физическая модель мелиоративного водозабора с мобильным рыбозащитным устройством, на которой выполнялось имитационное моделирование перемещения молоди рыб в потоке у водозабора. В качестве молоди рыб принимались имитаторы 6-ти групп, которые различались между собой по весу и длине (таблица 1).

Таблица 1– Основные параметры имитаторов

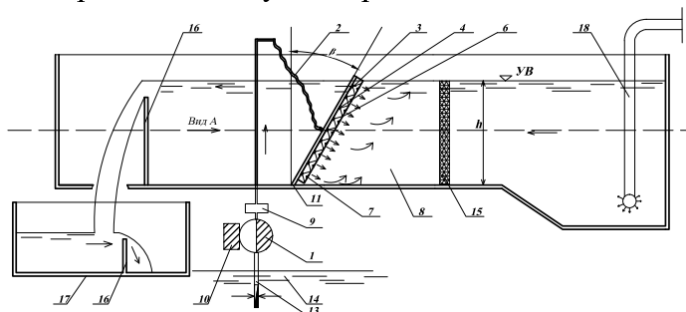
Группы	1	2	3	4	5	6
Вес, г	0,049-0,078	0,11-0,14	0,31-0,51	0,20-0,33	0,75-0,95	5,90-8,89
Длина, мм	8-10	13-15	15-17	30-35	47-55	93-110
Материал	Полиэтилен+ утяжелитель			Силикон		

В каждой группе по 20 штук имитаторов, что давало возможность сравнивать группы между собой по воздействию противотока на имитаторы. Они перемещаются в потоке под действием струйных течений хаотично, что позволяет предположить о потере «реореакции» имитаторов у ранней молоди рыб на мелиоративном водозаборе в реальных условиях малых водотоков. Имитаторы воспроизводят реальную схему «плавания» молоди рыб у водозабора, а, поэтому, исследовать экологически бесконтактный способ защиты молоди рыб на физической модели мобильного рыбозащитного устройства и установить его эффективность при различных сценариях. Физическая модель мелиоративного водозабора с мобильным рыбозащитным устройством в масштабе 1:1 дана на рисунке 5.

В качестве водозаборного сооружения используется гидравлический лоток размером 0,43x0,8 м², который позволяет пропускать расход воды до 0,06 м³/с. Лоток оборудуется потокообразователем, со сменными потокоформирующими элементами, которые в зависимости от варианта опыта могут изменяться. Для управления режимами при подходе к МРЗУ в конце лотка имеется затвор для поддержания скорости потока в водоприёмном окне.

Водоприёмное окно прямоугольной формы повторяет размер лотка. Глубины в водоприёмном окне изменялись от 0,50 до 0,65 м

шпиценмасштабом с точностью 0,01 см. Расход водозабора измеряется водосливом-водомером Чиполетти с точностью 2,5 %. Время определяется образцовым секундомером с точностью 0,01 с.



1- насосная станция; 2 –трубопроводы для подачи воды; 3 - коллектор; 4 – насадки; 5 – водоприемный оголовок; 6 – решётка; 7- конуса; 8 – источник орошения; 9 – фильтр; 10 – генератор электроэнергии; 11 – шарнир; 12 – лоток; 13 – обратный клапан; 14 – приёмная камера; 15 – зона скопления имитаторов; 16 – водослив-водомер; 17 – приёмная камера; 18 – подающая труба в лоток.

Рисунок 5 – Лабораторная установка для испытания физической модели мобильного рыбозащитного устройства с имитаторами

Исследования проводятся на полномасштабной физической модели рыбозащитного устройства мелиоративного водозабора. На физической модели потокообразователем создаются струйные течения, направленные на навстречу потоку водоприёмного окна, траектории которых моделируют перемещениями имитаторов под действием потокоформирующих элементов.

Мобильное рыбозащитное устройство, включает передвижную насосную станцию (насос Grundfos dk-8850 Skala2-3-45) 1 с системой подачи воды 2 в коллектор 3 с насадками 4, устроенный по форме водоприёмного окна 5 в оголовке водозабора 12, и решётку 6 с конусами 7 соосно насадкам 4, которая крепится к коллектору 3. Мобильное рыбозащитное устройство устраивается на входе потока в оголовок водозабора для создания равномерного давления объёмным противотоком, воздействующего на имитаторы. Питание водой осуществляется передвижной насосной станцией, которая забирает воду из аванкамеры 8 через фильтр 9. Электроэнергия подаётся, как от электросетей. Коллектор 3 шарнирно крепится в пазах 11 и может поворачиваться относительно водоприёмного отверстия.

Исследовались технологические параметры рыбозащитного устройства: угол наклона потокообразователя; плотность противотока у водоприёмного окна; параметры насадки; эффективные схемы расстановки насадков на коллекторе (в ряд или в шахматном порядке); угол конуса формирования экрана. Исследовалось влияние угла наклона 90^0 ; 80^0 ; 70^0 и 60^0 потокообразователя на эффективность защиты гидробионтов (имитаторов) от попадания в мелиоративный водозабор 6-ти групп имитаторов. Устанавливались основные параметры объёмного противотока: коэффициент расхода насадки; скорости истечения и число Рейнольдса; диаметр факела противотока и его длина; размеры конуса; скорость схода с конуса.

Исследовалось влияние геометрических параметров: углов конусов $\beta - 60^0$; 110^0 и 122^0 ; конически сходящихся насадков диаметрами – 3,4 мм и 5,0 мм с относительной длиной 5 углом конусности 13^0 и расстояния от насадки до конуса Δ (0,045; 0,04; 0,035; 0,03; 0,025; 0,02; 0,015 м) на формирование гидравлического экрана.

Выполнена математическая обработка экспериментальных данных полно факторным экспериментом (ПЭФ) по 3 факторам: давление насоса P менялось от 0,097 МПа до 0,337 МПа и учитывалось в 5-ти точках; минимальное расстояние назначалось от 0,01 м и увеличивалось до 0,045 м при интервале варьирования 0,05 м. Максимальное и минимальное значение угла конуса для третьего фактора было принято 122^0 , 90^0 и 60^0 соответственно. При этом определялся диаметр факела (гидравлического экрана, образованного гидравлическими противотоками), который находился в диапазоне от 0,159 м до 0,613 м. Составлена матрица планирования эксперимент. Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения регрессии для диаметра факела распыла от рассматриваемых факторов.

По критическим значениям факторов для наиболее благоприятного отклика выбрали оптимальные значения параметров с конкретными характеристиками конструкции МРЗУ мелиоративного водозабора на малом водотоке: $P = (0,30 \div 0,34)$ МПа; $\beta = 110^0 \div 125^0$; $\Delta = (0,025 \div 0,03)$ м, которые прошли проверку экспериментально.

В четвёртом разделе «Исследование технологических и технических параметров мобильного рыбозащитного устройства» устанавливалось формирование объёмного гидравлического противотока (противотока) в зависимости от давления в коллекторе, истечения из

насадки, параметров Δ и различных конусов. Необходимо было установить, как повлияет изменение давления в коллекторе на форму экрана, создаваемого потокообразователем с одиночными насадками диаметрами 3,4 и 5 мм и конусами. В таблице 2 даны параметры экрана при истечении из насадки диаметром 3,4 мм.

Таблица 2 – Формирование экрана при истечении из насадки $d_n=3,4$ мм, для конуса $\beta=122^\circ$ в зависимости от давления.

Δ , см	P , МПа	q_n , м ³ /с	Расстояние, м		Диаметр, м		μ	V_0 , м/с	Re 10 ⁴
			l_1	l_2	D_1	D_2			
3	0,097	0,000113	0,1	0,2	0,5882	1,1404	0,894	12,459	4,236
	0,175	0,00015			0,6056	1,1658	0,884	16,538	5,623
	0,244	0,000172			0,6244	1,1942	0,858	18,964	6,448
	0,292	0,000184			0,669	1,2042	0,839	20,287	6,897
	0,321	0,000189			0,6842	1,2264	0,822	20,838	7,085

Аналогичные формы экрана получены для остальных конусов и Δ , но с другими гидравлическими параметрами: q_n ; D ; μ ; q_n . Факел формируется после конуса на расстоянии 0,2 м и занимает поперечное сечение водозабора. Форма факела противотока является продолжением конуса $\beta=122^\circ$ и меняется с расстоянием (рисунок 7).

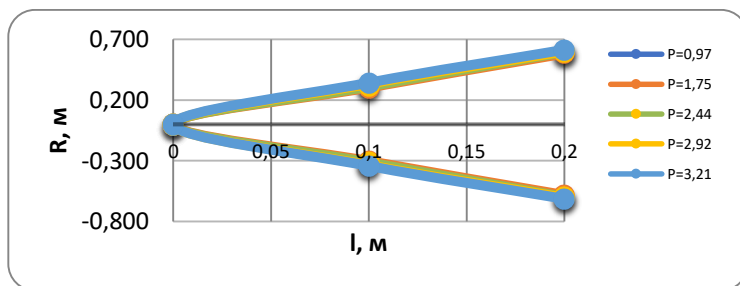


Рисунок 7 – Формирование противотока в зависимости от расстояния l при постоянных параметрах d_n 0,0034 м, $\beta=122^\circ$, $\Delta=0,030$ м и давления

Наблюдается равномерное распределение плоских течений, которое обуславливается истечением струи из насадки, которая направляется в центр конуса. При постоянных параметрах истечения $d_n=0,0034$ м, угле конусности $\beta=122^\circ$, $\Delta=0,03$ м получена зависимость изменения диаметра струйных плоских течений противотока по длине факела находится от центра конуса.

Коэффициент расхода насадка изменяется от 0,89 до 0,82 и является новым параметром при истечении струи в центр конуса при $\beta = 122^\circ$. Зависимости коэффициента расхода от числа Рейнольдса для $\Delta = 0,03-0,045$ м описывается эмпирической формулой:

$$\mu = -0,9 \cdot 10^2 Re + 0,0843Re + 0,695. \quad (11)$$

Зависимость (11) для насадки $d_n = 0,0034$ м и конуса $\beta = 122^\circ$ при $\Delta = 0,03-0,045$ м и $P = 0,10-0,32$ МПа может использоваться для определения расхода и скорости истечения при разработке промывного устройства решётки водоприёмного окна водозабора, а также при расчете противотока. Аналогичные данные получены для насадки 5 мм (табл. 3).

Таблица 3 – Формирование экрана при истечении из насадки $d_n=5$ мм, для конуса $\beta=122^\circ$ в зависимости от давления

L ₀ , см	P, МПа	q _n , м ³ /с	Расстояние, м		Диаметр, м		μ	V ₀ , м/с	Re
			L ₁	L ₂	D ₁	D ₂			
3	0,069	0,00023	0,1	0,2	0,5504	1,0372	0,999	11,735	5,867
	0,123	0,00028			0,6188	1,1372	0,911	14,286	7,143
	0,198	0,00033			0,6462	1,1782	0,846	16,837	8,418
	0,239	0,00034			0,7284	1,1972	0,793	17,347	8,673
	0,287	0,00037			0,7702	1,2424	0,788	18,878	9,439

Установлено, что потокообразователь мобильного рыбозащитного устройства со струеформирующим устройством конусом $\beta = 122^\circ$ и насадком 5 мм, расположенными на расстоянии друг от друга $\Delta = 0,03$ м можно также считать эффективным технологическим параметром для мобильного рыбозащитного устройства. Давления в коллекторе следует поддерживать в диапазоне 0,068-0,287 МПа. Но при этом расход воды для формирования объёмного противотока увеличится и будет составлять 0,23-0,37 л/с.

Установлена толщина слоя воды на конусе, которая зависит от его угла и диаметра насадки. При конусах 60° ; 110° ; 122° средняя толщина слоя находится – 0,252 мм; 0,320; мм и 0,454 мм, соответственно, при диаметре насадки 5 мм. Скорость схода струи с конуса находится в диапазоне 8-10 м/с, что меньше критической для молоди рыб. Получен коэффициент А, который входит в уравнение (8) для

решения задачи о месте расположения экрана от водоприемного окна водозабора:

$$A = \varepsilon d_n / \Delta - d_n^2 \cos \beta_1 / 4 D_k \delta_k. \quad (12)$$

где ε - константа; d_n - диаметр насадки, м; Δ - расстояние от насадки до конуса, м; D_k - диаметр основания конуса, м; δ_k - толщина слоя воды, м.

В лабораторных экспериментах при $\varepsilon = 4$ для линейной схемы принимается 4 насадки, а для расстановки насадок в шахматном порядке - 5 шт. Однако требуется уточнение величины ε . Схемы размещения насадок и конусов позволили установить эффективность мобильного рыбозащитного нового рыбозащитного устройства.

Установлено, что при угле наклона потокообразователя 70° получается максимальная эффективность защиты, которая достигает 100 % у всех 6 -ти групп имитаторов при давлении в коллекторе 0,2-0,3 МПа для насадков 3,4 и 5 мм и конуса 122° .

Защита молоди определяется плотностью гидравлического экрана противотока K . Плотность противотока выражается через коэффициент плотности гидравлического экрана, которую создают потокоформирующие элементы насадки и конусы в водоприёмном окне водозабора. Плотность противотока зависит от количества насадков, расположенных на коллекторе, угла конуса, давления в коллекторе, области Ω , где формируется максимальная плотность противотока. Установлено, что максимальная концентрация имитаторов создаётся на расстоянии 0,5-0,7 м от конуса для диаметра насадков 5 мм при шахматной схеме. Получено, что для противотоков при угле 70° и скорости водозабора 0,1 м/с расстояние влияния экранов у водозабора максимальное 0,59-0,66 м (рисунок 8).

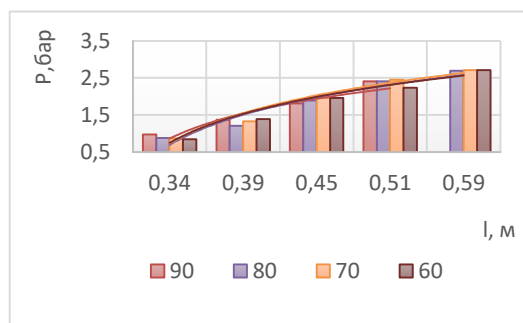


Рисунок 8 – Расстояние, на котором останавливаются имитаторы у водопрёмного окна в зависимости от P при $0,1 \text{ м/с}$ и $L = 0,03 \text{ м}$

В пятом разделе «Эколого-экономическая эффективность мобильного рыбозащитного устройства мелиоративного водозабора» разработана методика расчёта мелиоративного водозабора с МРЗУ для малого водотока на основе выполненных исследований. Даются основные технологические и технические параметры опытного МРЗУ, которое было испытано на мелиоративном водозаборе Новокубанского канала.

Получена экологическая эффективность защиты гидробионтов, которая достигает 90 % на мелиоративном водозаборе. Эколого-экономический эффект от МРЗУ составил 23702,6 руб. в месяц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Выполнен анализ водоресурсных экосистем мелиоративных водозаборов с рыбозащитными устройствами малых водотоках:

- установлено, что интенсивный скат гидробионтов на малых водотоках происходит в мае-июне месяцев;

- эксплуатация водозаборов по существующим схемам питания рыбозащитных устройств повышают расходы головных насосных станций до 8-12 %, что приводит к увеличению мощности насосных агрегатов, эксплуатационных издержек и нерациональному использованию водных ресурсов;

- применяются механические и гидравлические рыбозащитные устройства, эффективность которых не превышает 70 %;

- в межень головными насосными станциями не обеспечивается устойчивая подача расхода на орошение, поэтому дно аванкамер необходимо проектировать на 0,5-1,0 м ниже дна реки, предусмотрев очистку аванкамер от наносов.

2. Разработана схема водоресурсной системы на малом водотоке с отдельной насосной станцией для мобильного рыбозащитного устройства, которая обеспечивает снижение расходов на ГНС до 10 % и экономию электроэнергии до 7 %.

3. Разработаны мероприятия на мелиоративном водозаборе:

- экологический способ защиты гидробионтов гидравлическим экраном, где количество потокоформирующих элементов находится из уравнения количества движения и уравнений гидравлики;

- мобильное рыбозащитное устройство с питанием от отдельной насосной станции с механической очисткой воды, обеспечивающее рациональное водопользование на малом водотоке.

4. Установлены технологические параметры мобильного рыбозащитного устройства:

- компоновка потокоформирующих элементов выполняется по шахматной схеме; угол конуса 122° ; расстояние между насадком и конусом 0,03 м; диаметр конически сходящейся насадки 5 мм с относительной длиной 5;

- давление в потокообразователе должно находиться в диапазоне 0,25-0,3 МПа, угол наклона потокообразователя 70° .

5. Установлена эколого-экономическая эффективность при проведении натурных испытаний мобильного рыбозащитного устройства на мелиоративном водозаборе ООО «Союз Агро» Новокубанском канале, которая составила в июне месяце 23702,6 руб. Эффективность защиты гидробионтов от попадания в мелиоративный водозабор составила 90 %.

Рекомендации производству

Для улучшения экологической ситуации на мелиоративных водозаборах малых водотоков необходимо внедрять мобильные рыбозащитные устройства, работающие от отдельных насосных станций, что обеспечит снижение потребление водных ресурсов и энергоресурсов. В составе МРЗУ следует использовать механическую

очистку воды, это создаст условия устойчивой работы мелиоративного водозабора.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Используя теоретические и экспериментальные результаты, полученные в ходе проведённых научных исследований на мелиоративных водозаборах малых водотоков, можно использовать для разработки новых экологических водоресурсных систем на водозаборах коммунального хозяйства и промышленности.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях, индексируемых в *Scopus*

1. Measures to Preserve the Environmental Sustainability of Biocenoses of Small Rivers During the Construction of Reclamation Water Intakes / N. Sasikova [other] // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2023. – 575. - Pp. 199–208.

2. Development of the Water Management Complex by Increasing Water Availability of Small Watercourses of the Krasnodar Territory / A. Khadzhidi [other] // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2023. – 575. - Pp. 263–271.

3. Technology of Restoring Degraded Water Objects / E. Kuznetsov [other] // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2023. – 509. - Pp. 1587–1593.

4. Method of restoring water level of small rivers / E. Kuznetsov [other] // В сборнике: *E3S Web of Conferences*. 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021. Rostov-on-Don. - 2021. -273. - 05007.

5. Justification of the underflow intake design in the mountainous gardening conditions for the drip irrigation system / E. Kuznetsov [other] // В сборнике: *E3S Web of Conferences*. 8. Сер. "Innovative Technologies in Science and Education, ITSE 2020" 2020. – 210. - 05007.

- в изданиях, рекомендованных *ВАК*

6. Моторная Л. В. Мобильное рыбозащитное устройство мелиоративных водозаборов для повышения эффективности охраны водных гидробионтов / Л. В. Моторная, А. Е. Хаджиди // *International Agricultural Journal*. - 2022. - Т. 65. - № 2. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48386169>

7. Адаптированная технология восстановления Краснодарского водохранилища для обеспечения экологической безопасности региона / Е.В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, Л. В. Моторная, А. А. Тратникова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. - 2022. - Т. 11. - № 1 (57). - С. 141-145.

8. Моторная Л. В. Рациональное водопользование и экологическая безопасность оросительных систем / Л. В. Моторная, А. Е. Хаджиди // Международный сельскохозяйственный журнал. - 2022. - № 2 (386). - С. 161-164.

- в патентах на изобретение

9. Пат. RU2783237 С1 Способ защиты молоди рыб от попадания в водозабор [Текст] / Л. В. Моторная, А.Е. Хаджиди. (РФ) заявитель и патентообладатель Куб. гос. Аграр. ун-т. // Заявл. № 2021135069 от 29.11.2021. Оpubл. 10.11.2022.

10. Пат. RU2786534 С1 Мобильное рыбозащитное устройство [Текст] / Е.В. Кузнецов, Л. В. Моторная. (РФ) заявитель и патентообладатель Куб. гос. Аграр. ун-т. // Заявл. № 2021135073 от 29.11.2021. Оpubл. 21.12.2022.

- в прочих изданиях

11. Сасикова Н. С. Охрана водных биологических ресурсов балки Малая Козьма при заборе воды на орошение / Н. С. Сасикова, А. Е. Хаджиди, Л. В. Моторная, Н. А. Чижевская // В сборнике: Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России: сборник статей по материалам Межд. науч.-практ. конф. / под общей редакцией И.Н. Миколайчика. - Курган, 2022. - С. 299-302.

12. Сасикова Н. С. Повышение экологической безопасности гидробионтов на мелиоративных водозаборах / Н. С. Сасикова, Л. В. Моторная, А. Е. Хаджиди, Л. В. Кравченко // в сборнике: Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: юбилейный сборник научных трудов XV Межд. науч.-практ. конф. / редколлегия: И.М. Донник [и др.]. - Ростов-на-Дону, 2022. - С. 235-239.

13. Кузнецов Е. В. Способ защиты молоди рыб от попадания в водозаборные сооружения / Е. В. Кузнецов, Л. В. Моторная // В книге: Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: материалы Юбилейной науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию Кубанского ГАУ. / отв. за выпуск А.Г. Кошаев. - Краснодар, 2022. - С. 228-230.

14. Кузнецов Е. В. Особенности конструирования мелиоративных водозаборных сооружений на малых реках / Е. В. Кузнецов, Л. В. Моторная // В книге: Год науки и технологий 2021: сборник тезисов по материалам Всерос. науч.-практ. конф. / отв. за выпуск А.Г. Кощаев. - Краснодар, 2021. - С. 259.

15. Кузнецов Е. В. Концепция формирования новых экологических рыбозащитных сооружений и бесконтактных устройств / Е. В. Кузнецов, Л. В. Моторная // В сборнике: Приоритетные направления развития сельскохозяйственной науки и практики в АПК: материалы Всерос. (национ.) науч.-практ. конф.: в 3 т. - пос. Персиановский, 2021. - С. 267-272.

16. Кузнецов Е. В. Исследование коэффициента расхода водослива водоподпорного сооружения на каналах / Е. В. Кузнецов, М. Хасан, А. Алматар, Л. В. Моторная // материалы науч.-практ. конф. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, Ростов-на-Дону, 2021. - № 1 (81). - С. 110-116.

17. Моторная Л. В. Комплекс мероприятий борьбы с фильтрацией на оросительных каналах для повышения экологической безопасности агроландшафтов / Л. В. Моторная, Е. В. Кузнецов // В сборнике: Студенческие научные работы землеустроительного факультета. Сборник статей по матер. Межд. студенческой науч.-практ. конф., 2020. - С. 37-40.

Моторная Лариса Васильевна

**Повышение эффективности рационального водопользования
и рыбозащиты на малых водотоках**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать __. __. 2023. Уч.-изд. л. – 1,0.
Тираж 100. Заказ № ____
Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13