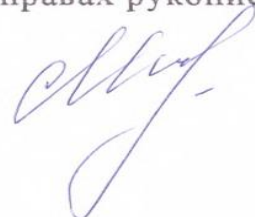


**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кубанский государственный аграрный
университет им. И.Т. Трубилина»**

На правах рукописи



Моторная Лариса Васильевна

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

**Специальность 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство
и агрофизика**

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Научный руководитель д-р техн. наук,
профессор, Заслуженный деятель науки РФ
Кузнецов Евгений Владимирович

Краснодар – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОЗАБОРОВ С РЫБОЗАЩИТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ НА МАЛЫХ ВОДОКАХ.....	10
1.1 Анализ эксплуатации мелиоративных водозаборов с рыбозащитными устройствами.....	10
1.2 Краткая ихтиологическая характеристика ската молоди рыб.....	14
1.3 Анализ конструкций рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах.....	20
1.4 Анализ действующих рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах.....	25
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1.....	30
2 ОБОСНОВАНИЕ ВОДОРЕСУРСНОЙ СИСТЕМЫ НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ: МЕЛИОРАТИВНЫЙ ВОДОЗАБОР – МОБИЛЬНАЯ РЫБОЗАЩИТА.....	32
2.1 Разработка мобильной экологической рыбозащиты для рационального водопользования на мелиоративных водозаборах	32
2.2 Теоретическое обоснование мобильного рыбозащитного устройства.....	41
2.3 Повышение устойчивости водоресурсной системы на мелиоративных водозаборах с экологической рыбозащитой.....	45
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2.....	61
3 СХЕМА ОПЫТА. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	62
3.1 Обоснование применимости имитаторов.....	62
3.2 Разработка физической модели мелиоративного водозабора с мобильным рыбозащитным устройством	64
3.3 Методика исследования мобильного бесконтактного рыбозащитного устройства	66
3.4 Методика исследования технологических параметров мобильного рыбозащитного устройства.....	68

3.5	Планирование эксперимента.....	73
4	ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОГО РЫБОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА.....	80
4.1	Исследование формирования объемного противотока.....	80
4.2	Обоснование количества потокоформирующих элементов мобильного рыбозащитного устройства.....	88
4.3	Исследование эффективности мобильного рыбозащитного устройства.....	92
4.4	Исследование влияния противотока на защиту гидробионтов.....	98
4.5	Исследование плотности объёмного противотока.....	108
	ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4.....	111
5	ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОБИЛЬНОГО РЫБОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРА.....	114
5.1	Методика расчета.....	114
5.2	Исследования мобильного рыбозащитного устройства на Новокубанском канале.....	117
5.3	Эколого-экономическая эффективность мобильного рыбозащитного устройства.....	119
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	126
	Рекомендации производству.....	128
	Перспективы дальнейшей разработки темы.....	128
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	146
	Приложение 1. Акт внедрения.....	146
	Приложение 2. Краткая морфо-биологическая характеристика видов рыб предгорных малых бассейна р. Кубань.....	147
	Приложение 3. Патенты РФ.....	149

ВВЕДЕНИЕ

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 водопользовании 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.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом НИР Кубанского ГАУ на 2016 – 2020 гг. по госбюджетной теме (регистрационный номер АААА А16-116022410039-5 «Обосновать адаптированную земельно-охранную систему повышения агресурсного потенциала для устойчивого развития агроландшафтов» и на 2021 – 2025 гг. по госбюджетной теме (регистрационный номер 121032300049-7 «Разработка ресурсосберегающих технологий охраны от загрязнений отходами сельскохозяйственных земель предприятий АПК»).

Степень разработанности темы. Наиболее надежными 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. Ткачева, 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 объемного 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 насадок 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., приложение 1)

Апробация работы. Основные положения выводы диссертации доложены и одобрены на ежегодных научных конференциях факультета гидромелиорации: Международной научно-практической конференции «Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России» (Курган, 2022 г.); XV Юбилейной международной научно-практической конференция «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 конференция «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.

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.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ ВОДОЗАБОРОВ С РЫБОЗАЩИТНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ

1.1 Анализ эксплуатации мелиоративных водозаборов с рыбозащитными устройствами

Мелиоративные водозаборы являются составной частью водоресурсных систем, оказывающее существенное влияние на экологическую безопасность водных объектов, на их стабильность и устойчивое развитие. которые изымают, порой, необоснованные объёмы воды [3, 4, 6-8, 10, 12, 23, 27, 39, 41-43, 58, 59, 96-98, 123]. Особенно негативно это проявляется на водном режиме малых рек с её обитателями в меженный период, когда сток водотоков испытывает дефицит и экологически уязвим [16, 21, 30, 31, 35, 36, 43, 70, 97, 104, 122].

Под устойчивым функционированием водоресурсных систем следует понимать – комплекс мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов, сохранение биоресурсов и экологическую безопасность на мелиоративных водозаборах, адаптированных к изменениям гидрологического режима водных объектов.

Мелиоративные водозаборы разнообразны, как по типам, условиям работы, так и по объёмам подачи воды в оросительные системы, которые должны снижать негативное воздействие на водоресурсные системы, обеспечивать надёжную и эффективную защиту биоресурсов [1, 3, 9, 15, 17-18, 21, 31, 55, 69, 81, 83, 87, 109, 105]. Мелиоративные водозаборы устраиваются в зависимости от условий подачи воды на орошение, как правило, береговыми, русловыми, подрусовыми и т.д. [3, 7, 13, 15, 16, 38, 81, 83, 89, 92, 96, 99, 100, 102, 107, 108, 120]. Объёмы забора воды на орошение из малых водотоков в среднем составляют 0,5-2.0 млн. м³ [34, 35, 40, 41, 43, 44, 64, 90, 122].

Мелиоративные водозаборы водоресурсных систем оборудуются рыбозащитными сооружениями и устройствами, входят в составе гидроузлов, выполняющих различные задачи: пропуск судов по шлюзовым камерам; миграцию рыбы по рыбоходам; поддержание командных уровней воды в верхнем бьефе; подачу воды для орошения сельскохозяйственных культур и др. [18, 23, 31, 40, 45, 50, 52, 65, 67, 72, 80, 83, 105, 106, 122]. А.В. Иванов, П.А. Михеев и др. [24-27, 47, 55-59, 74-78, 81, 84, 95, 96, 98, 100, 100-103, 121,] выполнили анализ, эффективность различных конструкций и рыбозащитных устройств, которые эксплуатируются на мелиоративных водозаборах (таблица 1.1, П.А. Михеев).

Из представленного анализа по эффективности РЗУ (таблица 1.1) можно сделать выводы, что защита молоди рыб, как правило, не обеспечивается должным образом на водозаборах. Рыбозащитные устройства, имеющие сетные полотна, при соприкосновении с сеткой личинки и молодь рыб травмируются и погибают. Представленные основные типы РЗУ, в основном, не используют гидравлику потока мелиоративного водозабора и водных объектов, не достаточно обеспечивают бесконтактную и экологическую защиту личинок и молодь рыб [7, 11. 20, 21, 23, 31, 39, 41, 45, 49, 50, 66, 80, 81, 85, 86, 93, 99, 108].

Имеется гидроимпульсный оголовок Новочеркасской гидромелиоративной академии (НГМА) [106], который обеспечивает защиту молоди рыб при заборе воды на орошение до 90 %. Однако, имеются другие эффективные рыбозащитные устройства, к которым относятся: конусная сетка с рыбоотводом, вихревой сепаратор, жалюзи с гидросмывом, зонное ограждение с пузырьковой завесой и др., эффективность некоторых достигает 96,3 % [49].

Следует отметить, что не все приведённые рыбозащитные устройства могут использоваться на малых водотоках (таблица 1.1), поэтому требуется дополнительные исследования, которые могут повысить эффективность защиты биоресурсов, обеспечить рациональное использование водных ресурсов при эксплуатации мелиоративных водозаборов [14, 115-118].

Таблица 1.1 – Анализ эффективности рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах

Типы рыбозащитных Устройств	Размеры защищаемой молоди рыбы, мм	Эффективность рыбозащиты при эксплуатации водозаборов, %	
		без учета выживаемости рыб	с учетом выживаемости
1. Плоская сетка с рыбоотводом	8-25 20 70-116	10,4-12,8 60-70 –	0-1,1 36 100
2. Струереактивный барабан (СРЗ)	8-25	35-69	10-20
3. Рыбозащитный оголовок с потокообразователем (РОП)	20 30	– –	11,7-76 90,0
4. Конусная сетка с рыбоотводом (КСР) ВолжНИИГиМ	4-12 13 - 16 более 16	50-70 90 90	26,2 63,2 76,5 - 70
5. Сетчатый барабан (ЦСРЗ)	18-20	17,5-60	–
6. Сетчатый конус	–	2,9 - 44,8	–
7. Жалюзи	Личинки – годовики	20 - 75 85 - 95	–
8. Концентратор (РКВС)	11 - 16 33 - 44	14,3 - 81,5 40,8 - 88	–
9. Запань, отбойный козырек	–	65	–
10. Поликонтактная система «ПИРС»	5 - 70	74,3 - 90,6	–
11. Электрорыбозаградитель (ЭРЗУ-1)	35 - 40	10 - 30	–
12. Воздушно – пузырьковая завеса (ВПЗ)	40 - 60	44 - 68	–
13. Объемный фильтр	8 - 12	68 - 80	–
14. Пороэластичный фильтр	7 - 10	61 -100	20 - 85
15. Гидроимпульсный оголовок НГМА		75 - 100	76
16. Вихревой сепаратор	12 - 25	76 - 82	–
17. Жалюзи с гидросмывом	6 - 45	92,5	–
18. Зонное ограждение с ВПЗ	6 - 35	96,3	–
19. Запань с ВПЗ	6 - 60	75	–
20. Комплекс: запань, жалюзи с гидроструей	16 - 90	76,9	–

Имеется достаточное разнообразие рыбозащитных устройств, где для выбора адаптированной конструкции рыбозащитных устройств следует проводить вариантную проработку по ряду показателей: технологическим параметрам и биологическим особенностям, защищаемого видового состава молоди рыбы. Необходимо применять рыбозащитные устройства, которые могут

обеспечить экологическую безопасность и рациональное использование водных ресурсов при эксплуатации мелиоративных водозаборов [31, 46, 86, 96].

Для повышения устойчивости водоресурсных экосистем следует использовать комплексные рыбозащитные сооружения [38, 39, 41, 70, 89, 109, 124], которые при обустройстве мелиоративных водозаборов применяют ступенчатую рыбозащиту, которая может включать мероприятия по защите донной молоди рыб в потоке и поверхностных мальков. При этом необходимо учитывать расходы и размеры мелиоративных водозаборов, назначения гидроузлов и гидрологические, морфологические характеристики рек, природно-климатические условия региона, где эксплуатируются гидротехнические сооружения.

Следует учитывать прогнозы изменения гидрологических режимов на малых водотоках, где эксплуатируются мелиоративные водозаборы. Срок эксплуатации действующих мелиоративных водозаборов превышает 50-60 лет, водозаборы исчерпали нормативный ресурс, требуется капитальный ремонт и замена основного и вспомогательного оборудования. Поэтому нужна разработка принципиально новых водоресурсных систем, адаптированных к биологическим особенностям видового состава рыб и гидрологическому режиму рыбозащитных устройств, особенно, на малых водотоках [10, 109, 116-119, 123].

Опыт эксплуатации мелиоративных водозаборов показывает, что поведением рыб на входе в водоприёмные окна аванкамеры управлять практически невозможно, так как поле скоростей в пределах входного участка ориентирует и подтягивает личинок, и молодь рыб к водозабору, которая практически не сопротивляется потоку [6, 7, 16, 17, 20, 39, 41, 56, 67, 80, 71-73]. Необходима разработка первой ступени в виде гидравлического экрана, противотока, который обеспечит защиту входного участка. Поэтому, для сохранения биоресурсов бесконтактные рыбозащитные устройства следует разрабатывать не только индивидуально, но и по ступеням защиты, определяя для каждой ступени защиту определённого видового состава: для осетровых и окуневых следует усилить защиту молоди у дна; карповых применять защиту в потоке с

помощью направляющих элементов, которые формируют поток к рыбоуловительным окнам.

Рыбозащитные устройства необходимо рассматривать как самостоятельные сооружения и выбирать их местоположение в зависимости от гидравлических характеристик потока, гидробиологических, морфометрических и др. факторов участка водозабора.

Ученые отмечают [42, 56, 125], что наряду с индивидуальностью мелиоративных водозаборов главной идеей при решении проблемы биоресурсов XXI века должен стать принцип создания бассейновых экосистем и комплексов, отвечающих требованиям социально–экологической стабильности, экологической надежности и устойчивой рыбопродуктивности.

1.2 Краткая ихтиологическая характеристика ската молоди рыб

Рыбопродуктивность Азовского моря до зарегулирования и загрязнения речного стока составляла 80 кг/га при максимальном улове 304 тыс. т, в том числе ценных видов рыб 250-260 тыс. т. [45]. Материковый сток р. Кубань сформировал специфический водный, термический, гидрологический, гидробиологический, гидрохимический режимы, составляющих биотическую и абиотическую компоненту водных экосистем. Река Кубань с системой дельтовидных лиманов, степные реки с их обширными низовыми пойменными водоемами имеют тесную взаимосвязь с Азовским морем, являются воспроизводительной базой ценных промысловых рыб: осетровых, окунёвых и др.

На р. Кубань выше Краснодарского водохранилища расположено естественное нерестилище осетровых, где в притоках 1-го и 2-го порядков расположены нерестилища рыбца и шемаи. На всем протяжении реки обитают около 90 видов и подвидов рыб. Важна роль р. Кубань как трассы покатной миграции отнерестившихся рыб и их потомства [67, 72, 105, 106]. В период естественного режима стока с нерестилищ реки Кубани скатывалось в море

около 0,6 млрд. шт. молоди осетровых и 1,5-2 млрд. шт. молоди рыбца и шемаи. Ранее отмечался нерест осетровых в дельте р. Кубань.

Гидротехническое строительство на реке, развитое производство, требовавшие высокого безвозвратного водопотребления, а также загрязнение водных объектов, низкая экологическая культура привели к резкому ухудшению экологии водоемов. В настоящее время запас осетровых в Азовском море на 90% состоит из особей заводского разведения, судака и тарани на 70-80%. Учитывая потенциальные возможности экосистемы «река-лиман-море-река», решение проблемы восстановления естественного размножения осетровых рыб должно стать актуальной задачей, так как ориентировка на искусственное разведение по законам генетики приведет к деградации осетровых.

При водопользовании на водозаборных сооружениях в зоне их влияния формируются измененные гидрологические режимы, которые является одной из причин попадания молоди рыб в водозаборные сооружения [105]. На ритмику попадания молоди в водозаборные сооружения оказывают влияние: интенсивность ската молоди рыб; суточная неравномерность, срок миграции, стадии развития скатывающихся рыб (реореакция), гидрологический режим водотока, место расположения водозабора. Сезонная ритмичность ската меняется по годам и различна для разных видов рыб [59, 67, 106, 108]. Исследованиями установлено возрастающее попадание молоди рыб в водозаборы в сумеречное и ночное время [105]. Необходимо учитывать концентрацию молоди рыб в период ската по глубине и в поперечном сечении потока, которая зависит от размерно-видового состава рыб, гидравлических и топографических условий в водотоке. Для разработки мелиоративных водозаборов следует применять данные Павлова Д.С., Пахорукову А.М. [73], которые установили особенности распределения молоди рыб в р. Кубань (таблица 1.2).

Отмечается, что в преобладание миграции рыб *присутствует личиночный период развития*, который характерен для покатной миграции молоди в бассейне р. Кубань, где большинство личинок кубанских рыб ведут пелагический образ жизни. В этот период наблюдаются частые переходы из пелагии ко

дну и обратно. Литофильные рыбы, как рыбец и шемая на данной стадии развития остаются некоторое время вблизи мест выклева [73].

Таблица 1.2 – Основные особенности покатных миграций

и распределения молоди рыб в реке (по Павлову Д.С., Пахорукову А.М.)

Семейства	Особенности распределения молоди		Особенности суточной ритмики
	Вертикальное	Горизонтальное	
Осетровые	Придонное (<1,0 м)	В стрежневой части потока с учетом гидравлической структуры потока и рельефа дна	Устойчивые данные отсутствуют
Сельдевые	Икра у дна, личинки и молодь у поверхности	По всей ширине (60 % по стрежню)	Личинка – круглосуточно, молодь – сумеречно-ночной характер
Карповые	Максимально в толще, минимально у поверхности	Пропорционально скорости в реке, с учетом экологических особенностей на отдельных стадиях развития	Сумеречно-ночной характер
Окуновые	Личинка у поверхности, молодь у дна	Пропорционально скорости в реке	Судак в ночное время, окунь – в дневное

Условия возникновения пассивных миграций связаны с абиотическими параметрами среды и являются достаточно стабильными. В мальковый период происходит постепенное затухание пассивной миграции. Начало активных миграций необходимо увязывать с биотическими факторами среды: плотностью концентрации рыбы, наличием кормовой базы. На покатную миграцию рыбы оказывает состояние кормовой базы [94].

При разработке мелиоративных водозаборов нужно исследовать циклы миграции: при сезонной эксплуатации мелиоративного водозабора определяющим фактором является нерестовый цикл [73,105]. Основной цикл совпадает со второй половиной мая, массовый скат молоди рыб – с третьей декады мая, с продолжительностью 1,5-2 месяца. В этот период происходит максимальный забор воды в оросительную систему. Во второй декаде августа наблюдается второй, менее яркий пик ската молоди рыб. Необходимо учитывать основные пики ската молоди рыб при проектировании мелиоративных водозаборов.

Поэтому, необходима разработка водоресурсных систем с учетом особенностей сезонной динамики и суточной ритмики, а также пространственно–временного распределения рыбы [106], реализация которых позволила бы значительно сократить гибель личинок и молодь рыб на мелиоративных водозаборах [45].

Особенности ската молоди рыб в мелиоративном канале Петровско-Анастасиевкой оросительной системе

Строительство новых, и эксплуатация действующих мелиоративных водозаборов нарушают биологический ритм миграции рыбы в реках [3, 23, 40, 55, 71, 72, 80]. Нерациональное использование водных ресурсов, забор воды в необоснованных объемах на орошение более 20 %, несовершенная защита рыбы на мелиоративных водозаборах негативно влияют на биоресурсы. Водозаборы оборудованы рыбозащитными устройствами, которые нуждаются в модернизации из-за изменяющегося и нестабильного режима забора воды на орошение, и, поэтому, недостаточно эффективно обеспечивают защиту молоди и личинок рыб (молоди) на водных объектах [18, 21, 32].

Более значительное влияние на скат молоди оказывают оросительные системы, которые при заборе больших объемов воды изменяют сложившийся дефицитный режим стока рек. Мелиоративные водозаборы оборудуются рыбозащитными устройствами, где имеются различные конструкции, предназначенные для охраны биоресурсов [17, 24, 28, 38]. Наиболее эффективно зарекомендовали себя рыбозащитные устройства, в основе которых используется принцип струйных течений. К такой системе можно отнести рыбозащитные сооружения профессора М.В. Потапова в виде запани, которая отводит поверхностную, насыщенную молодь рыб водную струю в сторону, противоположно направленную водоотбору [88]. Следует отметить труды Д.С. Павлова [71-73] заложивший основы управления поведением рыб в потоке, кото-

рые применяются при разработке новых более совершенных конструкций рыбозащитных сооружений. А также работы И. И. Пахорукова [79, 80]. С.С. Сатарова [105] и др. [24-26, 55-59, 67, 76] по миграции молоди в период ската рыб в мае-июне на р. Кубань. В основе гидравлических и ихтиологических исследований на малых водотоках используются опыты, выполненные на мелиоративных водозаборах, а также исследования КубГАУ, которые устанавливают общую характеристику биологического ритма миграции личинок и молоди рыб в условиях малых рек и каналов [1,18, 21].

Ранее исследованиями КубГАУ установлено формирование пространственной временной миграции молоди рыб в подводящем канале к мелиоративному водозабору Петровско-Анастасиевской оросительной системы (ПАОС), где в период с мая по июнь наблюдается активный скат личинок и молоди рыб в р. Кубань. В подводящем канале мелиоративного водозабора оборудовался поперечный створ на прямолинейном участке русла для замера скоростей и установки ихтиологических ловушек ИКС-80, которые устанавливаются на 3-х вертикалях: у левого, у правого берегов и в центре канала. Вертикали находились в 5,0 м от берегов. Канал имел ширину по урезу воды 22 м, заложения откосов 1:2, глубины 1,4 м у берегов и по фарватеру 2,5 м. Актуальные скорости потока измеряются электронной гидрометрической вертушкой «Микро-1». Средняя скорость на вертикалях находится в диапазоне 0,22-0,35 м/с.

Обработка ихтиологических проб выполнялась по методике, описанной Л.П. Рыжовым и др. [103] и Е.А. Зиновьевым, С.А. Мандрицем [22]. Цикл отбора - сутки через 3 трое суток, экспозиция ловушки на вертикали составляла 15 мин. Ихтиологические пробы доставлялись в течение суток в лабораторию, где измерялись штангенциркулем длина и вес мальков. Длина находилась в диапазоне, 6-95 мм, вес мальков составлял 0,061-8,89 г.

Всего было отловлено 1644 шт. рыб, при этом в период с 20⁰⁰-6⁰⁰ – 1126 шт. (68,5%), с 6⁰⁰-20⁰⁰ – 518 шт. (31,5 %). В центральной части потока скаты-

вается 34,5 %, у левого и правого берегов 33,4 % и 32,1 % молоди рыб, соответственно. В поверхностных слоях находится 55,2 % покатников, 38,6 % – в толще (1,5 м от поверхности) и 6,2 % – у дна. По результатам исследований пространственно временной характеристики в подводящем канале водозабора можно сделать выводы.

Молодь рыб на малых водотоках (реках и каналах) равномерно концентрируется по живому сечению подводящего канала водозабора. Поэтому, следует учитывать, что 30-40 % молоди рыб будет вовлекаться в водоприемные окна при устройстве бокового водозабора. Можно прогнозировать, что биологический ритм ската молоди в подводящем канале является типичным для условий малых водотоков, т.к. мелиоративный водозабор на р. Кубань находится в средней равнинной части Краснодарского края.

На канале преобладает сумеречно – ночной скат, где большая часть молоди рыб скатывается в поверхностных слоях, с наступлением сумерек перемещается в средние слои, поэтому независимо от ритмики ската необходимо обеспечить её защиту по живому сечению водоприёмных окон водозабора экологическими рыбозащитными устройствами.

Для сохранения биоресурсов необходимо разрабатывать бесконтактные, струйные рыбозащитные устройства, отвечающее экологическим требованиям, которые обеспечивают защиту равномерным струйным противотоком, исключая контакты молоди рыбы с элементами потокообразователя РЗУ.

При разработке водоресурсных систем с более совершенными рыбозащитными устройствами необходимо исключить воздействие потокоформирующих элементов водозабора на молодь рыбы, использовать струйные противотоки для создания рыбозащитного энергетического противотока (экрана). Следовательно, можно предположить, что использование физических имитаторов молоди рыб в опытах на мелиоративных водозаборах [1, 40], позволит установить влияние потокоформирующих элементов на эффективность бесконтактных экологических рыбозащитных устройств.

Для разработки новой конструкции рыбозащитных устройств малых водотоков была учтена пространственно-временная схема ската молоди рыб в канале ПАОС: исследуемый канал можно считать типичным малым водотоком т.к. в нём преобладают все известные виды рыб для бассейна р. Кубань; происходит равномерный скат молоди рыб по ширине, около 35 % молоди рыб находится у правого и столько же у левого берега; в период с 20⁰⁰ до 6⁰⁰ час. средние концентрации молоди у поверхности составляет – 41,9 %; в потоке – 48,8 % и у дна – 9,3%; в период с 6⁰⁰ до 20⁰⁰ час. молодь концентрируется у поверхности – 79,6 %; в потоке – 15,6 % и у дна – 4,8 %.

Из особенностей ритма ската молоди рыб следует, необходимость разрабатывать для защиты молоди РЗУ на мелиоративных водозаборах такие, которые бы полностью перекрывали живое сечение потока по глубине, как при нормальных расходах, так и в межень в малых водотоках.

1.3 Анализ конструкций рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах

Водоресурсные системы создают условия на мелиоративных водозаборах, которые в необходимом количестве и качестве обеспечивают водой оросительные системы. Водозаборы оборудуются рыбозащитными устройствами, адаптированными к водным источникам, учитывают морфологические условия, геологическое строению русел, гидрологический режим, климатические условия и состояние биологических ресурсов [3, 13, 25, 28]. РЗУ устраиваются на водозаборах для предупреждения попадания, травмирования и гибели личинок и молоди рыб, и отвода их в безопасное место малых водотоков [57].

В составе мелиоративных водозаборов оросительных систем имеются различные рыбозащитные устройства [56], где максимальный технологический забор воды на орошение происходит в мае-июне месяцах, а минимальный – в конце августа, совпадающий с нерестом рыбы и развитием гидробионтов. Однако, эксплуатация рыбозащитных устройств показывает недостаточную

их эффективность защиты от гибели, не превышающую 60 %, что не соответствует нормативному показателю охраны молоди рыб [32].

Для максимального сохранения молоди на малых водотоках требуется разработка мелиоративных водозаборов, в состав которых входили бы рыбозащитные устройства с независимой защитой гидробионтов от расхода головных насосных станций, обеспечивающих экономию энергоресурсов.

Приведём анализ действующих рыбозащитных устройств, которые используются на мелиоративных водозаборах. Комплексное рыбозащитное сооружение с гидравлическим трамплином и запанью, которое включает донный порог, направляющий линии тока донного течения к приемному ковшу. Конструкция является бесконтактной, использует струйные течения потока, такие как отвод поверхностных струй с имитаторами в лоток. При исследовании рыбозащитного сооружения применялись имитаторы молоди рыб, которые позволили оценить эффективность конструктивных отдельных элементов, такие как донный порог и трамплин [46, 100].

Движение в потоке имитаторов показало, что рыбозащитное устройство имеют ряд недостатков: низкая эффективность защиты донной молоди, для которой требуется устройство сетного полотна, а при соприкосновении, с которым происходит гибель молоди. Для использования энергии потока водозабора на трамплине требуется подача воздуха.

В настоящее время широко используется комбинированное двухконтурное рыбозащитное устройство (КДРУ) [74], которое предназначено для защиты молоди рыбы от гибели и устраивается на всасывающих трубах наносов и отверстий водоприёмных окон, подающих воду на оросительные системы. Комбинированное двухконтурное рыбозащитное устройство применяется на водозаборах, использует струйную бесконтактную защиту молоди рыбы, подача воды на рыбозащитные устройства обеспечивается от головной насосной станции, что приводит к перерасходу электроэнергии и повышенному расходу воды. К другим недостаткам рыбозащитного устройства следует отнести высокие скорости истечения из насадок потокообразователя, которые приводят к

травме молоди и личинок рыб по длине двухконтурного экрана. При снижении скоростей истечения экран рыбозащитных устройств будет засоряться и заиливаться.

Поэтому, на головной насосной станции требуются поддерживать высокие напоры для промывки. На потокообразователе имеется неравномерность распределения скоростей по длине двухконтурного экрана. Вначале скорости имеют максимальное значение, затем снижаются из-за сопротивления по длине экрана, возникающего между экраном и внешней средой. При выходе из строя КДРУ (засорение, заиливание) потребуется извлечение его из-под воды, разъединение от всасывающего трубопровода, подъём (автокран или иное грузоподъёмное оборудование) и предусмотреть дополнительно площадку для ремонта. Однако с другой стороны положительным, является создание гидравлического экрана вокруг потокообразователя.

Имеется оригинальное рыбозащитное устройство с дефлектором, в котором используется экологический принцип защиты [76]. Рыбозащитное устройство предназначено защищать молодь рыбы от попадания в водозаборные сооружения (рисунок 1.1).

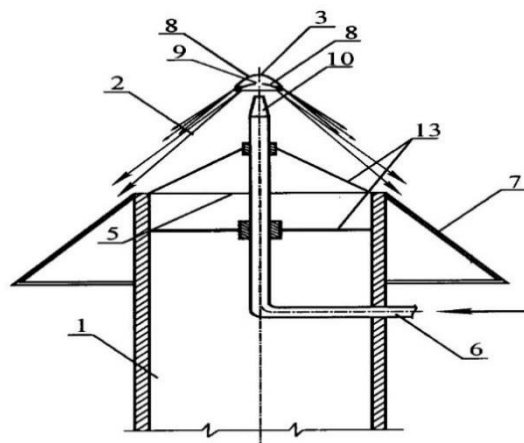


Рисунок 1.1 - Рыбозащитное устройство с дефлектором

Рыбозащитное устройство имеет всасывающий патрубок 1, заглубленный под уровень, водопроницаемый экран 2, средство для отвода молоди

рыбы, выполненное в виде гидросмывателя 3 с кольцевой щелью 4, расположенного соосно всасывающему патрубку 1 вне пределов всасывающего отверстия 5, подводящий трубопровод 6, соединенный с напорной линией насоса и выполненный внутри всасывающего патрубка 1, соосно ему, и кольцевую конусную перегородку 7, выполненную коаксиально всасывающему патрубку 1, жестко закрепленную на внешней поверхности трубы патрубка 1.

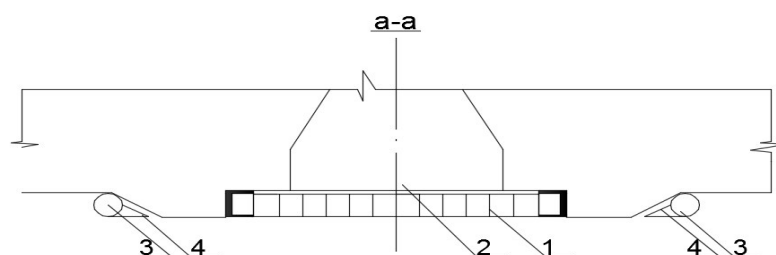
Устройство конструкции гидросмывателя в виде двух чашеобразных формирует кольцевую щель для гидравлической струи, что является основным элементом бесконтактной струи. Недостатком конструкции является отвод молоди от водоприемного отверстия, где за счет скоростей выше критических будет наблюдаться травмированные молоди. Дефлектор создаёт закрученные струи, которые создают повышенную турбулентность, снижают эффект рыбозащиты.

Однако, рыбозащитное устройство позволяет без нанесения экологического ущерба водоему и молоди рыб имитировать естественную преграду в виде водной растительности. Как достоинство способа защиты молоди рыбы надо отметить удачную компоновку гидросмывателя и конусной перегородки, позволяющих комплексно использовать плоские гидравлические струи.

В последнее время наиболее часто используются гидравлические экраны. Разработано рыбозащитное устройство для водозаборного сооружения [24], включающее защитно-водоприемный экран, в головной части которого установлен струегенератор, создающий вдоль экрана транзитное течение. Для эффективной защиты рыб скорость втекания воды в водозабор не должна превышать критическую скорость плавания для наименьшего размера защищаемых рыб. В большинстве случаев при устройстве защитно-водоприемных экранов во входных окнах водозаборного сооружения не удаётся обеспечить заданные скорости втекания воды в водозабор. Вынос же в водоем защитно-водоприемного экрана с целью увеличения его площади не всегда возможен, главным образом, из-за воздействия на экран ледовых нагрузок.

Кроме того, устройство струегенератора только в головной части защитно-водоприемной поверхности эффективно, главным образом, при работе водозабора на водотоке. При отсутствии в водоеме течений молодь рыб подтягивается к водозабору со всей акватории. Организация смыва рыб с защитно-водоприемной поверхности течением только в одном направлении приведет к формированию перед водозабором кругового движения воды. Накапливающаяся перед водозабором молодь рыб, будет постоянно циркулировать в этом водовороте, периодически, но регулярно соприкасаясь с защитно-водоприемной поверхностью. В результате утомленная рыба при очередном контакте с последней не сможет сопротивляться затягиванию в водозабор и погибнет.

А.В. Иванов, Г.Г. Филиппов, А.Л. Эрслер [75] разработали рыбозащитное устройство, которое устраивается в слабопроточном водоеме, обеспечивая путем формирования перед ними объемного гидравлического экрана, исключая непосредственный контакт ранней покатной молоди с защитно-водоприемной поверхностью. Рыбозащитное устройство включает защитно-водоприемную поверхность (ЗВП), установленную в окне водозаборного сооружения и обрамленную соплами струегенератора, расположенными попарно и симметрично ее оси, и под углом к водозаборному фронту. На рисунке 1.2 представлены основные элементы рыбозащитного устройства.



Фиг. 2

Рисунок 1.2 – Рыбозащитное устройство для слабопроточного водоёма

Рыбозащитное устройство включает секции защитно-водоприемной поверхности 1, установленные во входных окнах водозаборного сооружения 2. С боков каждая секция обрамлена водораспределительными патрубками 3,

подключенными к источнику воды. На водораспределительных патрубках 3 установлены сопла струегенератора 4. Вода во входные окна водозаборного сооружения 2 поступает, протекая через секции защитно-водоприемной поверхности 1. При этом скорость перетекания воды может превышать критические значения для основных видов защищаемой покатной молоди рыб.

К недостаткам рыбозащитного устройства следует отнести образование треугольных зон, которые за счет попарно расположенных сопел струегенератора неравномерно формируют объёмные гидравлические экраны, создавая водоворотные области, которые негативно влияют на эффективность рыбозащиты, при этом, молодь рыбы будет накапливаться и вовлекаться в водоприёмные отверстия водозабора из этих зон, кумулятивные струи травмируют молодь рыбы за счет образования больших скоростей и транспортирующей способностью потока.

Рыбозащитное устройство позволяет создать бесконтактную, не травмирующую защиту молоди. Оно не имеет движущихся и сетчатых элементов, усложняющих конструкцию и обслуживание, а, питаясь из напорной сети водопотребителя, включается в работу автоматически вместе с водозабором, что является значительным недостатком конструкции рыбозащитного устройства.

Данная конструкция РЗУ явилась прототипом разработки новой конструкции мелиоративного водозабора с устройством противотока.

1.4 Анализ действующих рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах

Несмотря на большое разнообразие рыбозащитных устройств (таблица 1.1) на юге России рекомендованы к применению ФГБУ «Азчеррыбвод» рыбозащитные устройства КДРУ, РОП, СРО [77, 78], которые широко используются на мелиоративных водозаборах. Они рекомендованы к применению согласно действующим нормам на оросительных системах. Выполним краткий анализ данных конструкций. Двухконтурное рыбозащитное устройство

(КДРУ) запроектировано на мелиоративном водозаборе Михайловского канала для предотвращения попадания молоди в оросительную систему (рисунок 1.3, проект КубГАУ).

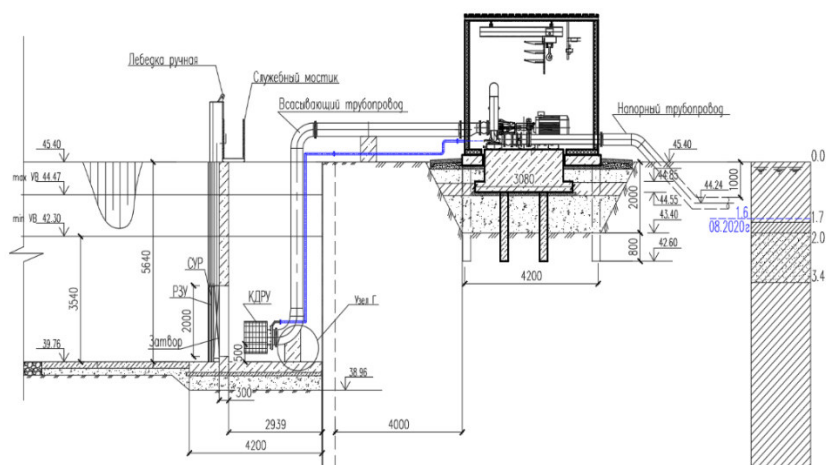


Рисунок 1.3 – Мелиоративный водозабор с КДРУ 200

Комбинированное двухконтурное рыбозащитное устройство применяется на мелиоративных водозаборах для защиты личинок и молоди рыб на оросительных системах. Может использоваться на малых водных объектах в любых модификациях. Например, при расходе мелиоративного водозабора 200 л/с на малом водотоке КДРУ 200 имеет габаритные размеры: диаметр 530 мм, длину 810 мм и устраивается на всасывающем трубопроводе насоса.

Комбинированное двухконтурное рыбозащитное устройство питается от напорной линии ГНС, что увеличивает расход основных насосных агрегатов и является недостатком, так как расход головной насосной станции увеличивается на 8-10 %. Скорости у коллектора 10 м/с и уменьшается до 0,3 м/с к концу КДРУ. Размеры защищаемых рыб до 12 мм всех видов.

При анализе КДРУ обнаруживаются существенные недостатки: струя из насадков создаёт неравномерные объёмные противотоки и, следовательно, не может обеспечить плотный гидравлический экран, при истечении из насадков не сохраняется компактность струй; устройство подключается к напорному трубопроводу головной насосной станции (рисунок 1.3), при этом происходит

перерасход электроэнергии. Например, в проекте оросительной системы ЗАО «Шевченко» Тбилисского района (проект КубГАУ, 2021г.) стоимость 1-го КДРУ при расходе головной насосной станции $0,651 \text{ м}^3/\text{с}$ в 2021г составила – около 500 тыс. руб. Для эксплуатации КДРУ требуется установка дополнительных устройств. Струйный рыбозащитный оголовок (СРО) устраивается на всасывающей трубе насоса (рисунок 1.4) (проект КубГАУ).

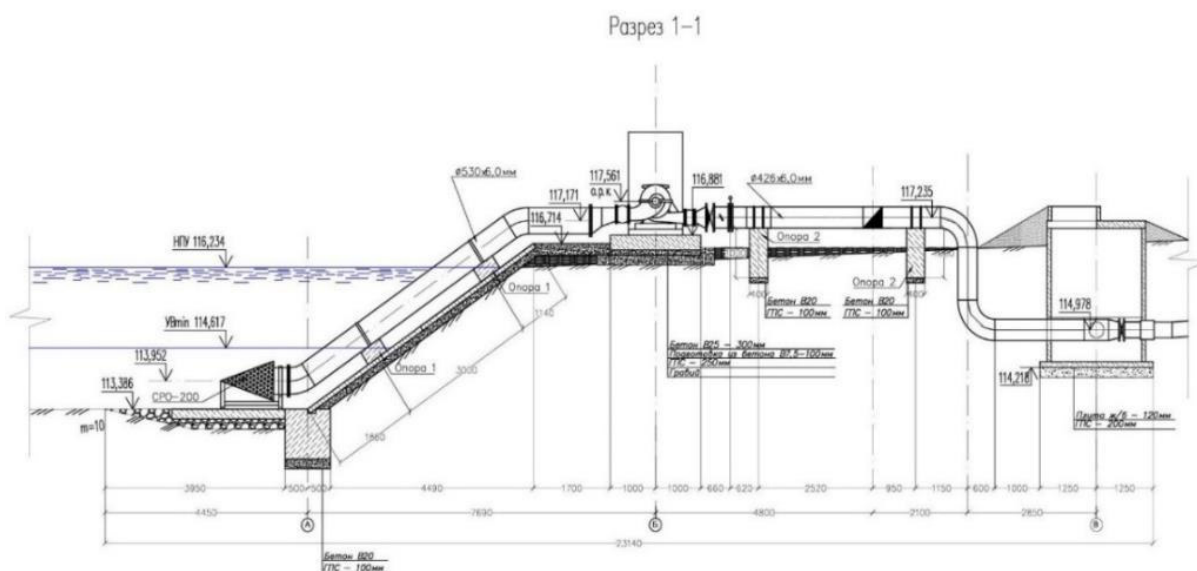


Рисунок 1.4 – Рыбозащитное устройство СРО

Струйный рыбозащитный оголовок конструктивно аналогичен РОП, который отличается защитным водопроницаемым экраном. У СРО – применяется листовая прокат «просечка», а у РОП – используется сетка размером ячеек $2 \times 2 \text{ мм}$.

Краткая характеристика рыбозащитных оголовков: рабочий диапазон подачи $100\text{-}200 \text{ л/с}$; напор на рыбозащиту и очистку от мусора $20\text{-}30 \text{ м}$; диаметр ячейки – заградительной сетки 4 мм .

Способ защиты молоди рыб фильтрующая сетка – гидравлический, контактный. СРО затруднён в эксплуатации, имеет высокую массу – 97 кг , устройство подключается к головной насосной станции через патрубок 225 мм , при

этом имеется перерасход электроэнергии; не обеспечивает экологическую защиту; тратится более 10 % расхода; на промывку дополнительно используется 1,5 % расхода ГНС.

Рыбозащитные устройства СРО и РОП металлоёмки, сложны конструктивно, не отвечают экологическим требованиям; имеют контактные части, которые соприкасаются с молодью рыб и личинками. На водозаборах малых водотоков рыбозащитные устройства подключаются к напорной сети, потребляют избыточную электроэнергию головных НС, что приводит к увеличению эксплуатационных издержек и завышению стоимости мелиоративного водозабора, и нерациональному использованию водных ресурсов.

Одним из путей решения обустройства мелиоративных водозаборов является разработка мобильных рыбозащитных устройств, питающихся от автономных насосных станций (передвижных, стационарных).

При разработке рыбозащитных устройств на мелиоративных водозаборах, как видно из анализа работ по миграции и воспроизводству различных видов рыб Азово-Кубанского бассейна, следует применять комплексные экологические рыбозащитные сооружения, которые суммируют эффект от двух и более типов рыбозащитных устройств, а также экологические рыбозащитные устройства на малых водотоках.

Суммарный эффект рыбозащиты обеспечивается экономической целесообразностью в случаях забора воды в сложных гидрологических условиях, где необходимо обеспечивать защиту всего размерно-видового многообразия ихтиофауны от икры и предличинки до более крупной молоди, селективную защиту определенных размерно-видовых групп рыб, поэтому следует применять комплексный подход к их защите. Это относится в полной мере к рыбохозяйственному бассейну р. Кубань и бассейнам малых степных рек.

Имеются исследования Е.В. Кузнецова и др. [38], А.А. Чистякова, К.В. Михаликова [121], которые предлагает к внедрению на мелиоративных водозаборах комплексные рыбозащитные сооружения для поэтапного отвода мо-

лоди от зоны влияния водозабора. П.А. Михеев П.А. [56] предлагает применять комплексные рыбозащитные сооружения и разделять на комбинированные и многоступенчатые. Комбинированные рыбозащитные сооружения (РЗС) представляют собой объединенную компоновку двух и более дополняющих друг друга типов конструкций. Многоступенчатые рыбозащитные сооружения состоят из двух и более типов РЗУ, обеспечивающих поэтапную защиту молоди рыб в направлении движения потока к водозабору, при этом на каждом этапе обеспечивается индивидуальный отвод защищенной молоди.

Ученые П.А. Михеев, К.В. Михаликов, А.Л. Эрслер и др. выполнили анализ имеющихся конструктивных решений, направленные на защиту молоди рыб и установили основные элементы РЗС, которые находятся в эксплуатации на мелиоративных водозаборах: подводный канал, фильтрующий элемент (гибкое полотно, фильтрующая кассета, дамба и т.д.), сетчатое устройство (сетчатый или перфорированный экран), проницаемая преграда (ВПЗ, гидравлический экран), отпугивающее устройство (звуковое, световое, ЭРЗУ и т.д.), привлекающее устройство (звуковое, световое, гидравлическое), сепарирующее устройство (искусственная излучина), и др. для компоновки рыбозащитных сооружений. Но не указывают на развитие экологической безопасности водоресурсных систем складывающейся на мелиоративных водозаборах при использовании данных устройств.

На малых водотоках вопрос рыбозащиты остаётся открытым. В условиях нарастающего дефицита водных ресурсов использование стока становится актуальным и требует новых подходов к мелиоративным водозаборам и экологической рыбозащиты, разработки новых конструкций струйных рыбозащитных устройств.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1

1. На малых водотоках требуется устойчивое развитие водоресурсных систем с включением в их состав мелиоративных водозаборов с новыми экологическими мобильными рыбозащитными устройствами эффективностью 80-90 % [94] и обеспечивающие рациональное использование водных ресурсов.

2. Одним из перспективных направлений следует считать охрану гидробионтов объемными гидравлическими экранами, обеспечивающими бесконтактную и экологическую защиту на мелиоративных водозаборах, которые позволят выполнить:

- защиту гидробионтов бесконтактным и экологическим способом – гидравлическими экранами;

- поступление воды без гидробионтов при устройстве мобильных рыбозащитных устройств в начале подводящих каналов источника орошения;

- снижение электроэнергии головных насосных станций при рациональном потреблении воды мобильными рыбозащитными устройствами;

- независимость работы головной насосной станции от эксплуатации мобильных рыбозащитных устройств;

- применение отдельных насосных станций для эксплуатации мобильных рыбозащитных устройств;

- совмещение функций защиты гидробионтов с защитой водозаборов от мелкого мусора и водорослей в потоке;

3. При нарастающем дефиците водных ресурсов и изменении гидрологического режима малых водных объектов требуется устройство устойчивых водоресурсных систем на мелиоративных водозаборах с экологическими рыбозащитными устройствами.

4. При проектировании мелиоративных водозаборов необходимо учитывать дефицит стока, гидрологические режимы, расходы на орошение в створе водозабора и из этих условий разрабатывать новые экологические МРЗУ.

5. Разработка новых бесконтактных и экологических рыбозащитных устройств должна опираться на пространственно-временное распределение и миграцию личинки и молоди рыб в потоке источника орошения.

6. Необходим комплексный подход при дефиците водных ресурсов, который бы совмещал экологическую безопасность рыбозащиты с промывкой МРЗУ от мусора и водорослей на водозаборе.

7. Для новых рыбозащитных устройств требуется исследование технологических параметров, для повышения экологической эффективности бесконтактной защиты личинок и молоди рыб путём создания гидравлических экранов повышенной плотности и равномерности.

8. На мелиоративных водозаборах исследование эффективности МРЗУ и гидравлических, и технологических параметров должно выполняться на физических моделях с использованием имитаторов – физических моделей молоди.

2 ОБОСНОВАНИЕ ВОДОРЕСУРСНОЙ СИСТЕМЫ НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ: МЕЛИОРАТИВНЫЙ ВОДОЗАБОР – МОБИЛЬНАЯ РЫБОЗАЩИТА

2.1 Разработка мобильной экологической рыбозащиты для рационального водопользования на мелиоративных водозаборах

Водоресурсные системы, включающие мелиоративные водозаборы, должны формироваться в комплексе с экологическими МРЗУ и обеспечивать необходимую подачу воды на оросительные системы. При заборе воды из малых водотоков учитываются скорости, глубины и режимы движения при входе потока в аванкамеру мелиоративного водозабора. При малых глубинах водозабор следует устраивать при помощи устройств в виде доковых конструкций с водозаборными трубами. На входном участке у водоприёмных окон устраиваются бесконтактные экологические МРЗУ. Размеры водоприёмного окна водозабора назначаются по критическим скоростям для молоди рыб, которые не превышают $10 l$, (где l – минимальный размер длины тела рыбы, защищаемой на водозаборе [93, 112]).

При разработке бесконтактных экологических мобильных рыбозащитных устройств соблюдать основные требования:

- расход воды в оросительную систему не должен превышать 5 % расхода реки в межень при 75 % обеспеченности стока;

- на участках малых водотоков колебание уровня должно быть минимальными с развитыми транзитными течениями у водоприёмных окон мелиоративных водозаборов;

- скорости подхода к водоприёмным окнам (v_d – допустимая скорость) должны находиться в пределах 0,1 м/с и не превышать 0,2 м/с. При больших скоростях подхода потребуется значительное увеличение энергии для создания противотока, что снизит экологическую эффективность МРЗУ;

- подача расхода для эксплуатации МРЗУ осуществляется от мобильной (автономной) насосной станции.

Водоприёмные окна. Одним из основного элемента водозабора являются водоприёмные окна. Количество водоприёмных окон N_O мелиоративного водозабора определяется максимальным расходом подачи воды в ОС и зависит от допустимой скорости по формуле [19]:

$$N_O = Q_в / q = Q_в / v_d \omega \quad (2.1)$$

где $Q_в$ - расход мелиоративного водозабора, м³/с; q – расход водоприёмного окна, м³/с; v_d - допустимая скорость, м/с; ω – площадь живого сечения, м².

Уравнение (2.1) решается методом последовательного приближения, т.к. площадь живого сечения также зависит от расхода и скорости $\omega = f(q, v_d)$. Расход водоприёмной трубы, работающей в напорном режиме, находится по формуле:

$$q = \mu_{mp} \omega \sqrt{2gZ} \quad , \quad (2.2)$$

где μ_{mp} - коэффициент расхода трубы; ω – площадь живого сечения, м²; Z – напор над центром отверстия, м.

При относительной длине трубы $l/d = 3-5$ (d - диаметр, м, l – длина трубы, м) коэффициент расхода принимается $\mu_{mp} = 0,82$, как для внешнего цилиндрического насада.

Если относительная длина трубы $l/d \geq 5$, то коэффициент расхода рассчитывается, как для короткого трубопровода, по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\Sigma \zeta}} \quad , \quad (2.3)$$

где $\Sigma \zeta$ – суммарный коэффициент сопротивления, учитывающий потери по длине и местные потери.

Суммарный коэффициент сопротивления для короткой трубы будет [29]:

$$\Sigma \zeta = \zeta_p + \zeta_k + \lambda \frac{l}{d} + \zeta_{вх} \quad . \quad (2.4)$$

где ζ_p – коэффициент сопротивления решётки; ζ_k – коэффициент сопротивления конуса; $\zeta_{вх}$ – сопротивление на выходе из трубы; λ – коэффициент сопротивления по длине.

При проектировании безнапорных водозаборов в качестве водоприемных окон используются прямоугольные отверстия, размер которых устанавливается из формулы расхода водослива:

$$q = \varepsilon \sigma m b \sqrt{2g} H^{3/2}, \quad (2.5)$$

где ε – коэффициент сжатия струи; σ – коэффициент подтопления водослива; m – коэффициент расхода; b – ширина порога, м; H – напор на водосливе, м.

Размеры водоприёмного окна и порога водослива находится из условия пропуска максимального расхода, при которых скорости меньше критических для модели.

Потокообразователь. Для размещения потокоформирующих насадков используется коллектор, который служит потокообразователем. Коллектор выполняется в виде полый приточной решетки, расположенной на входе приёмного окна или пороге водослива. Сопротивление решетки коллектора зависит от заполнения решетки, соотношения диаметра отверстий к её толщине [19, 29]. Коэффициент сопротивления приточной решётки по данным *Belimo* имеет значения 2,19-3,80 или определяется по формулам И.Е. Идельчика [29]. Коллектор не оказывает сопротивления струйному потоку при истечении из насадков, т.к. насадки устраиваются на самом коллекторе. Коллектор находится за гидравлическим экраном и не оказывает влияние на процесс рыбозащиты.

Материал коллектора выполняется из нержавеющей стали, на котором устраиваются внешние конически сходящиеся насадки $l/d = 3-5$ с соосно расположенными потокоформирующими элементами – коническими конусами, которые также выполняются из нержавеющей стали. Конуса устраиваются соосно к насадкам на дополнительные ответные решетки, которые защищают

водозабор от водорослей и плавающего мусора или вместо решетки устраиваются на Г образные устройства.

Потокообразователь это основной элемент МРЗУ, который используется для образования при истечении из насадков гидравлических экранов. Количество экранов советует количеству насадков с ответными конусами, устраиваемых соосно. Потокообразователь выполняет две функции: создания напоров для защиты гидробионтов и защиты аванкамеры водозабора от засорения.

Расход коллектора определяется, как сумма расходов насадков, по формуле:

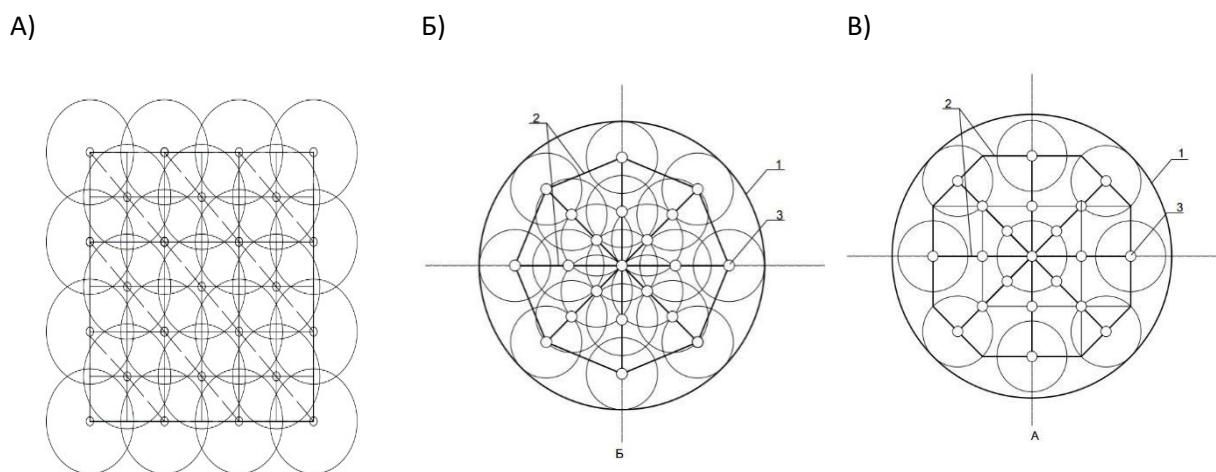
$$Q_k = \sum q_n, \quad (2.6)$$

Напор в коллекторе H_k определяется насосом, который находится по формуле:

$$H_k = H_{НС} - h_\phi - h_l, \quad (2.7)$$

где $H_{НС}$ – напор на насосе, м; h_ϕ – потери напора на фильтре, м; h_l – потери напора по длине в подающих шлангах, м

Потокообразователь принимается круглой или прямоугольной формы (рисунок 2.1).

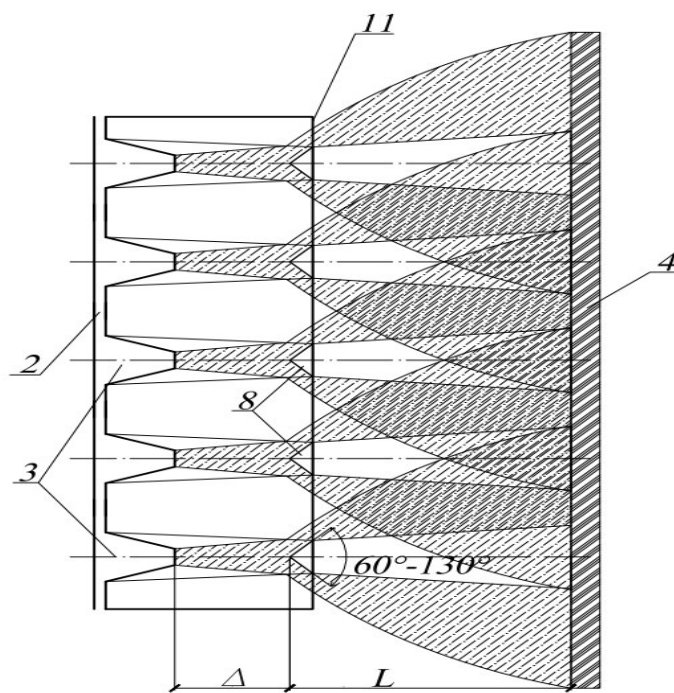


А) – прямоугольное водоприёмное окно, Б) и В) – круглые водоприёмные окна.
 1-водозаборная труба; 2 – коллектор в виде 8- угольной рамы из нержавеющей стали;
 3 – конические водоструйные сходящиеся насадки

Рисунок 2.1 – Потокообразователь с насадками и конусами

На потокообразователе устраиваются насадки по рядной, шахматной или комбинированной схемам. Потокообразователь подключается к автономной насосной станции, которая забирает воду из аванкамеры и через механический фильтр грубой очистки подаёт в коллектор под давлением, создавая напор, который тратится на формирование гидравлических экранов, обеспечивая гидравлические сопротивления молодёжи у водоприёмных окон мелиоративного водозабора. Решётка постоянно промывается струями обратного тока воды.

Потокоформирующие элементы. К потокоформирующим устройствам относятся конуса 8, образующие противотоки в виде факелов распыла струйных потоков. Струи от конусов направлены навстречу основному потоку мелиоративного водозабора (рисунок 2.2).



Фиг.3

2 – коллектор; 3 – водоструйные насадки; 4 – гидравлический экран;
8 – конуса; 11 – решётка

Рисунок 2.2 – Образование гидравлических экранов

Расстановка потокоформирующих элементов на коллекторе имеет большое значение на качество формирования плотности гидравлического экрана.

Конуса устанавливаются отдельно и размещаются на ответную решётку (Г образный элемент), которая повторяет контур коллектора. На ответной решётке конусы крепятся соосно насадкам, устраиваемых на коллекторе, которые под давлением воды на конусы формируют гидравлические экраны.

Основными параметрами потокоформирующих элементов являются: расход насадки; угол конусности насадки; расстояние насадки до конуса; угол конуса. Расход насадки находится по формуле истечения под уровень [19]:

$$q_n = \mu_n \omega_n \sqrt{\frac{2P}{\rho}}, \quad (2.8)$$

где q_n – расход истечения из конически сходящейся насадки, м³/с; μ_n - коэффициент расхода насадки; P – давление в насадке, Н/м²; ρ - плотность, кг/м³.

По формуле (2.8) определяются расход воды для создания противотоков; коэффициент расхода насадки; величина давления противотока.

Размеры и расстановка потокоформирующих элементов на коллекторе определяется эмпирическим путем. Для этого используется лабораторная установка (раздел 3).

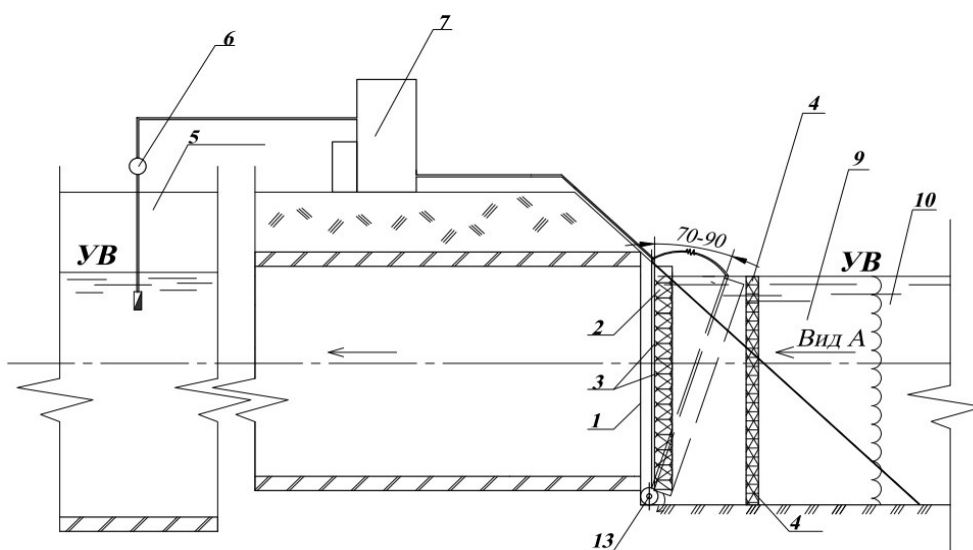
Разработка экологического способа бесконтактной защиты личинок и молоди рыб

Технологический результат достигается тем, что в способе защиты молоди рыб от попадания в водозабор, включающем образование гидравлического экрана перед водоприемным окном с помощью струй из водоструйных насадок коллектора и создание противотока, направленного навстречу водозаборному потоку со скоростями, превышающими скорость подходного потока и не превышающих критические защищаемых рыб, обеспечивается отвод рыб из зоны действия водозабора в безопасную зону водоисточника.

При истечении из водоструйных насадок создаются скорости в диапазоне 17-20 м/с, которые подают воду, очищенную от механических примесей, под

давлением 0,1-0,3 МПа навстречу потоку водозабора. За насадками соосно на расстоянии 3-10 см устанавливаются потокообразующие элементы в виде конусов с вершинами обращенные в сторону водоструйных насадок. За конусами образуются скорости струйных потоков не более 10 м/с, которые создают гидравлические экраны с равномерной плотностью противотока по живому сечению водоприёмного окна.

Мобильное рыбозащитное устройство, устанавливают перед водозаборным окном 1 (рисунок 2.3).



Фиг.1

Рисунок 2.3 – Мобильное рыбозащитное устройство

МРЗУ состоит из коллектора 2 с водоструйными насадками 3 для создания защитного объемного гидравлического экрана 4 (рисунок 2.3). МРЗУ имеет автономную систему очистки и подачи воды. Содержит аванкамеру 5, имеет фильтр 6 для механической очистки воды и насос 7. На коллекторе 2 устанавливаются в зависимости от размеров и формы водозаборного окна водоструйные насадки 3, соосно которым на расстоянии 3-10 см располагаются потокоформирующие элементы, выполненные в виде конусов 8 с углом раствора 60-130° с вершинами, направленными в их сторону, создающие противотоки. Противотоки направлены навстречу водозаборному потоку со скоростями, превышающими скорость подходного потока и не превышающие критические скорости защищаемых рыб, обеспечивая отвод рыб из зоны действия

водозабора в безопасную зону 9 водоисточника 10. На основаниях конусов 8 установлена решетка 11 с узлами 12, которые расположены соосно центров конусов 8 и соответственно водоструйным насадкам 3. Нижняя часть коллектора 2 с помощью шарнира 13 в виде паза соединена с нижней частью водоприёмного окна 1.

Геометрические формы экрана 4 могут быть прямоугольными или квадратными, или круглыми (рисунок 2.4).

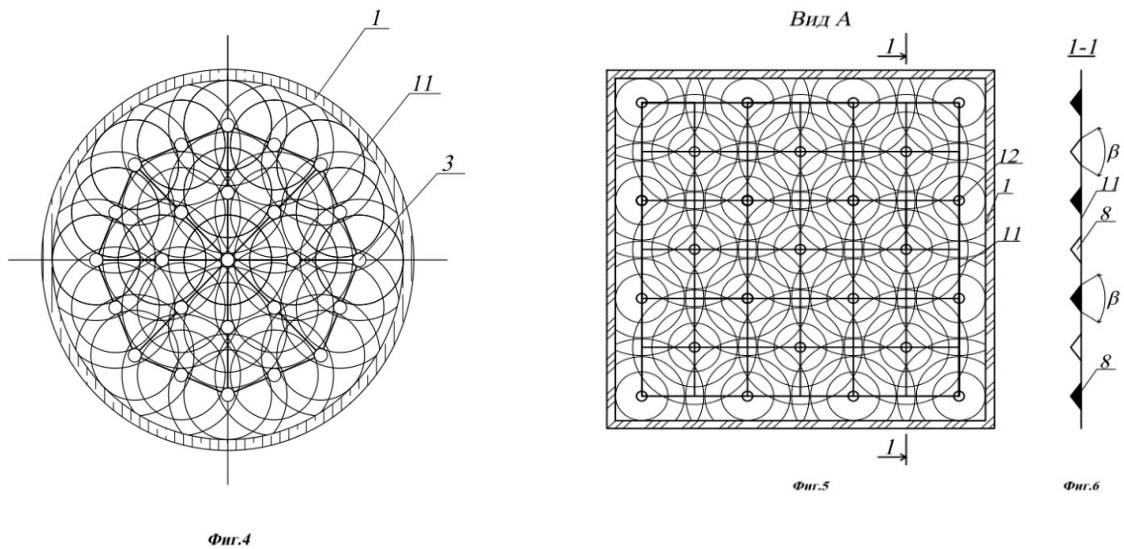


Рисунок 2.4 – Установка струеформирующих устройств

Защита гидробионтов водотока определяется плотностью экрана, размерами и формой водоприёмных окон 1 водозабора, местом расположения водозабора в водотоке (боковой, тупиковый), формой коллектора 2 и расстановкой потокоформирующих элементов.

Расстановка потокоформирующих элементов (водоструйные насадки 3 и конусы 8) принимается любой: 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; L – расстояние от вершины угла конуса 8 до гидравлического экрана 4.

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, такое крепление позволяет во время защиты личинок и молоди рыб управлять наклоном коллектора от 60 до 90 ° относительно оси набегающего потока водозабора, при этом скорости в водоприёмном окне водозабора находятся в диапазон 0,1-0,2 м/с.

При истечении воды из насадков образуются струи, направленные в центр конусов. При этом образуются объемные противотоки, которые полностью перекрывают отверстие водоприёмного окна (рисунки 2.4 а, б). Коллектор повторяет контур водоприёмного окна, при этом расстояние от насадков до конусов выбирается таким образом, чтобы обеспечить равномерное давление объемного противотока на личинки и молодь рыб, которые скапливаются у водоприёмного окна. Решётка обеспечивает защиту от попадания мелкого мусора и водорослей в окно водозабора, а также используется для крепления конусов соосно насадкам. Решётка очищается от мусора непрерывным обратным током во время работы потокообразователя.

Защита гидробионтов достигается кинетической энергией обратного тока при соударении струи о конусы при истечении из насадков. Кинетическая энергия объемного противотока оказывает сопротивление движению личинок и молоди рыб к окну, которые скапливаются на некотором расстоянии от водоприёмных окон, и далее транзитным потоком источника отводятся в безопасное место от водозабора. Для повышения эффекта рыбозащиты потокоформирующие устройства устанавливаются под углом α к набегающему потоку.

Деление потока на конусах и сложение скоростей струй после конусов обеспечивает равномерное давление обратного тока воды и достаточную плотность по живому сечению, при этом личинки и молодь рыб не соприкасаются с элементами МРЗУ, а отталкиваются от него, чем обеспечивается бесконтактный экологический эффект рыбозащитного устройства.

2.2 Теоретическое обоснование мобильного рыбозащитного устройства

Принцип работы МРЗУ основан на создании виртуального рыбозащитного гидравлического экрана у водоприёмного окна. Струи из насадков, соударяясь с конусами, образуют плоские струйные течения, повторяя форму конусов. Плоские течения конусов складываются, формируют гидравлические экраны противотока [19].

В результате истечения из насадков и соударения струи с центром конуса на разных расстояниях в сечениях от водозаборного окна образуются виртуальные гидравлические экраны. Чем ближе экран к конусу, тем большей кинетической энергией он обладает. Струи переходят в плоские течения с равномерно распределёнными скоростями противотока, который оказывает сопротивление продвижению молоди рыб к водоприёмному окну водозабора. Гидравлические параметры плоских течений можно считать эффективными, при которых струи остаются компактными в пределах экрана, а молодь рыб не преодолевает его гидравлическое сопротивление [29].

Для определения количества движения противотока, создаваемого потокообразователем личинкам и молоди рыб, воспользуемся теоремой импульса сил. При истечении струи из насадки действует сила, направленная в вершину конуса, образуются плоские течения при сходе струи с конуса, создают сопротивление в виде гидравлического экрана, рисунок 2.5.

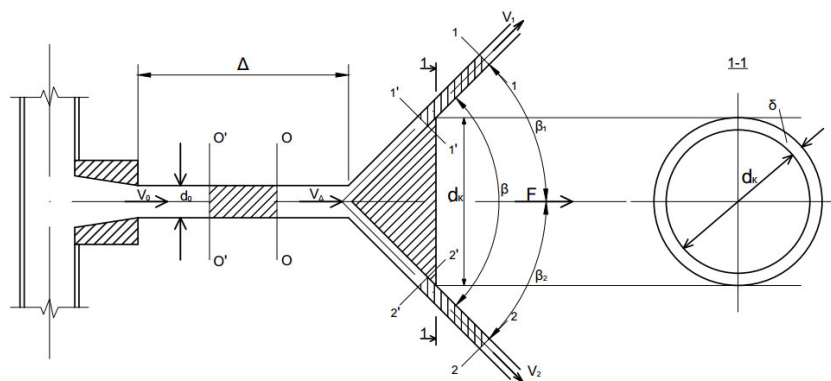


Рисунок 2.5 – Схема к уравнению количества движения

При истечении жидкости из насадки на конус действие силы совпадает с направлением ускорения по оси OX , тогда основное уравнение динамики по второму закону Ньютона в векторной форме, будет:

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad (2.9)$$

где \vec{F} – проекция сил, действующая на жидкость по оси OX , H ; m – масса жидкости, кг; $\frac{d\vec{v}}{dt}$ – вектор ускорения по оси истечения жидкости, m/c^2 .

Уравнение (2.9) приводится к теореме изменения количества движения струи, которая для случая истечения из насадки при соударении с конусом, будет иметь вид:

$$\vec{m}v_t - \vec{m}v_o = \int_0^t \vec{F} dt, \dots\dots\dots(2.10)$$

где v_t и v_o – скорости инерции струи жидкости в конечный и начальный момент времени при истечении из насадки, m/c .

Изменение проекции количества движения на какую-либо ось равно проекции на ту же ось импульса $\int_0^t \vec{F} dt$ действующих сил. При воздействии струи на конус, теорема изменения количества движения принимает вид:

$$F \cos \beta = \rho v_o q_n - \rho v_1 Q_1 \cos \beta_1 - \rho v_2 Q_2 \cos \beta_2, \quad (2.11)$$

где F – сила, действующая на конус, H ; β – угол конуса, град.; β_1 ; β_2 – углы схода струи с конуса, град.; q_n – расход истечения из насадки, m^3/c ; Q_1 и Q_2 – расходы в ветвях конуса, m^3/c .

При направлении струи в центр конуса и углах $\beta_1 = \beta_2$, имеем $q_n = Q_1 + Q_2$. При $\beta = 0$, $\cos \beta = 1$, получаем: $Q_1 = Q_2 = q_n / 2$.

Уравнение (2.2.3) после преобразования, приводится к виду:

$$F = \rho v_A q_n - \frac{1}{2} \rho v_1 q_n \cos \beta_1 - \frac{1}{2} \rho v_2 q_n \cos \beta_2. \quad (2.12)$$

где v_A – скорость перед конусом, m/c .

Из (2.12) получаем уравнение действия силы на конус:

$$F = \rho q_n [v_{\Delta} - 0,5 \cos \beta_1 (v_1 - v_2)] , \quad (2.13)$$

которое при $v = v_1 = v_2$, будет:

$$F = \rho q_n [v_{\Delta} - \cos \beta_1 v]. \quad (2.14)$$

При истечении из насадки круглой струи происходит её расширение и по мере движения в струю вовлекаются новые частички жидкости из внешней среды. Масса струи возрастает, а её скорость уменьшается. На рисунок 2.6 дана схема истечения из насадки.

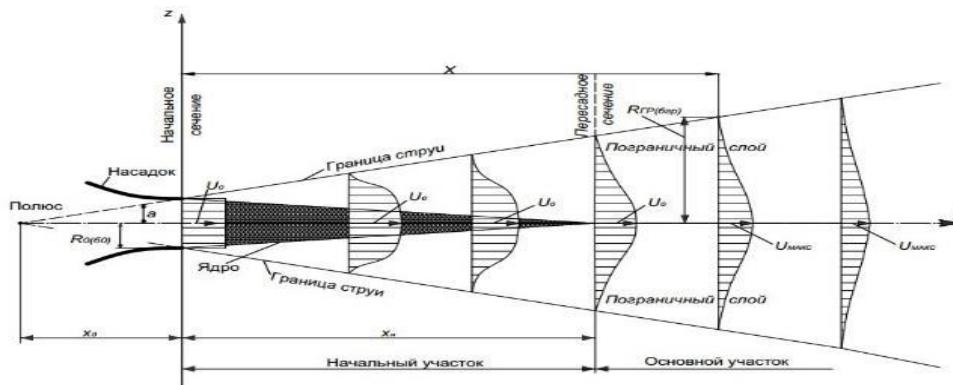


Рисунок 2.6 – Гидравлическая схема истечения струи под уровень

Полус струи по Г.П. Абрамовичу [2] находится по формуле:

$$x_0 = \frac{0,29}{a} r_0 , \quad (2.15)$$

где x_0 – полюс струи, м; a – константа (0,07- 0,08); r_0 – радиус насадки, м.

В полюсе формируются ядро, где скорости струи остаются постоянными на расстоянии x_0 . Длина начального участка, находится по формуле А.Я. Миловича [52]:

$$x_n = 6 d_0 , \quad (2.16)$$

где d_0 – диаметр выходного сечения насадка, м

При установке насадки на расстоянии Δ от конуса в диапазоне $x_0 < \Delta \leq x_n$ скорость струи v_0 будет величиной постоянной, и равной скорости истечения

из насадки в выходном сечении. И в этом случае можно допустить, что скорость соударения струи о конус принимается равной скорости истечения. $v_{\Delta} = v_0$ и формула (2.14), принимает вид:

$$F = \rho q_n [v_n - \cos \beta_1 v] \quad (2.17)$$

При $\Delta > x_n$ скорости уменьшаются за счет увеличения массы струи.

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

$$v_l = \varepsilon \frac{v_n d_n}{l}, \quad (2.18)$$

где v_0 – скорость на выходе из насадки, м/с; $\varepsilon = 6$ (константа).

Найдём скорости v_{Δ} и v_0 , которые входят в уравнение (2.14). Из уравнения (2.18), получим:

$$v_{\Delta} = v_n \varepsilon d_n / \Delta. \quad (2.19)$$

В уравнении (2.2.9) произведём замену:

$$F = \rho q_n [v_n \varepsilon d_n / \Delta - q_n \cos \beta_1 / \pi d_k \delta_k], \quad (2.20)$$

где δ_k – толщина слоя струи на сходе с конуса, м; d_k – диаметр конуса, м.

Заменяя расход истечения через скорость и площадь, окончательно получаем формулу для реакции одной струи противотока:

$$F = \rho q_n v_n (\varepsilon d_n / \Delta - d_n^2 \cos \beta_1 / 4 d_k \delta_k), \quad (2.21)$$

Обозначим через $A = \varepsilon d_n / \Delta - d_n^2 \cos \beta_1 / 4 d_k \delta_k$, получим:

$$F = A \rho q_n v_n. \quad (2.22)$$

После упрощения (2.21) получаем уравнение реакции (2.22) для одной струи истечения. Потокообразователь МРЗУ имеет N_c насадков и плоских струй истечения, поэтому суммарную реакцию F_p определим из (2.22):

$$F_p = N_c A \rho q_n v_n$$

Уравнение баланса энергии между противотоком МРЗУ и потоком водозабора на участке, где размещается гидравлический экран, имеет вид:

$$a \rho Q v - Nc A \rho q_n v_n = 0. \quad (2.23)$$

где Nc – количество потокоформирующих элементов, шт.

Уравнение (2.23) позволят определить количество потокоформирующих элементов для создания необходимой плотности гидравлического экрана. Расстояние, где размещается гидравлический экран происходит гашение энергии находится эмпирическим путем.

2.3 Повышение устойчивости водоресурсной системы на мелиоративных водозаборах с экологической рыбозащитой

Климатические условия Краснодарского края наиболее благоприятные для выращивания сельскохозяйственных культур в РФ, а при орошении получается 2 урожая в год. На территории края протекает река Кубань с крупными притоками р. Лаба и р. Белая и большим количеством малых рек.

Мелиоративные водозаборные сооружения на малых реках не совершенны, многие не имеют аванкамер, оборудованы устаревшими РЗУ, не отвечающие экологическим нормам и требования [11, 21, 22, 30]. Учеными Кубанского ГАУ разработаны и внедрены мелиоративные водозаборы с рыбозащитными сооружениями для малых водотоков, которые имеют общие эколого-мелиоративные признаки, такие как плавный вход, оборудованные бесконтактными рыбозащитными устройствами, меньшее количество всасывающих труб и, как, следствие, меньшие размеры аванкамер головных насосных станций. Наиболее отрицательное влияние на речную экосистему оказывает снижение стока малых рек [32, 35, 36]. Изъятие стока 0,5-2,0 млн. м³ на орошение негативно сказывается на водоресурсной системе малых рек и, особенно, при сложившемся в последнее время дефиците водных ресурсов.

Дадим оценку стока р. Синюха откуда забирается вода на орошение мелиоративным водозабором, которую можно считать наиболее типичной, и относящуюся к малым рекам бассейна р. Кубань. Исследования выполнялись у ст. Алексеевской. Исток р. Синюха начинается с северных склонов Большого Кавказского хребта на высоте 920 м и впадает в р. Чамлык в 25 км от её устья. В верхнем течении долина р. Синюха имеет V-образную форму. В среднем и нижнем течении долина водотока принимает трапецеидальную форму, удобную для размещения водозабора. Ширина долины колеблется от 350-500 м до 2-3 км. Русло шириной 1-3 м в верховьях сложено галечником и по мере движения вниз по течению расширяется, достигая в нижнем течении 10-20 м. На участке водозабора река имеет ширину 12 м.

Средняя глубина в межень изменяется от 0,2 м в верховье и до 0,5-1,0 м в нижнем течении. Скорость в половодье более 1,0 м/с. Ширина русла 6 м, глубина 1,5 м. Берега пологие, высотой до 1,5 м, затопляемые при высоких горизонтах. В гранулометрическом составе взвешенных наносов преобладают пылеватые и илистые частицы, фракции менее 0,1-0,05 мм (28,4 %). В донных отложениях преобладает песок с размером фракций 1,0-0,5 мм (16,2 %).

Русло реки на исследуемом участке канализировано и прямолинейное. Водный режим нарушен, сток реки зарегулирован земляными дамбами. Для мелиоративного водозабора выбирается створ, где исследовалось годовое и внутригодовое распределение стока. Параметры и величины годового стока в расчётном створе водозабора приводятся в таблице 2.3.1.

Таблица 2.1 – Параметры и величины годового стока в створе водозабора

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Параметры кривой Обеспеченности			Характеристика стока Q, м ³ /с	Годовой сток обеспеченностью, р %		
		Q ₀ , м ³ /с	C _v	C _s		50	75	95
Р. Синюха	762	1,93	0,38	2 C _v	W, млн.м ³	58,0	44,2	28,7

В створе мелиоративного водозабора годовой сток 75 % обеспеченности составляет 44,2 млн. м³. Забор воды в ОС не может превышать 10 % годового

стока реки, т.к. в вегетационный период наблюдается межень, дефицит водных ресурсов. Поэтому, нужно иметь внутригодовое распределение стока года 75 % обеспеченностью, которое является нормативным при разработке проектов оросительных систем и служит для расчета гидравлических и технологических параметров мелиоративных водозаборов. Внутригодовое распределение стока по месяцам для реки Синюха приводится в таблице 2.3.2.

Таблица 2.2 – Внутригодовое распределение стока 75 % обеспеченности

Вод-ность	Размер-ность	Месячный сток												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
75%	%	4,0	7,4	18,4	16,6	13,2	10,7	7,0	3,7	3,5	4,1	6,4	5,0	100
	м ³ /с	0,66	1,22	3,03	2,74	2,18	1,76	1,15	0,61	0,58	0,68	1,05	0,82	1,40
	млн. м ³	1,77	3,27	8,12	7,33	5,83	4,72	3,09	1,63	1,55	1,81	2,83	2,21	44,2

По данным внутригодового распределяя стока 75 % обеспеченности устанавливается распределение стока по сезонам, где на оросительный период с марта по сентябрь приходится – 69,6 % стока с максимумом в марте, где его часть расходуется на орошение культур (таблица 2.2). Минимальный сток приурочен к межённому периоду, который также расходуется на орошение. Из анализа стока р. Синюха можно сделать выводы.

При разработке мероприятий по устойчивости водоресурсной системы на р. Синюха необходимо учитывать расчётной сток 75 % обеспеченности в мае-июнь, когда наблюдается максимальный скат личинок и молоди рыб. В этот период устанавливаются глубины потока в русле реки 0,8-1,1 м и средние скорости 0,4-0,6 м/с при расходах 1,76-2,18 м³/с. Забор воды на орошение не превышает 0,18-0,20 м³/с, что составляет в среднем 9,6 % стока.

На мелиоративных водозаборах необходимо соблюдать режим рационального водопользования в период подачи воды из малого водотока на оросительную систему, а также учитывать скат личинок и молоди рыб, кормовую базу реки: зоопланктон, бентос и фитопланктон.

Малые водотоки Краснодарского края Азово-Кубанского бассейна являются нерестовыми и нагульными участками, которые требуют особый охраняемый режим малых рек и каналов. Данные по концентрации гидробионтов на р. синюха в период подачи воды, где расположен водозабор, будут использованы для расчета эффективности водоресурсной экосистемы водозабор – МРЗУ.

Разработка способа-рационального водопользования на мелиоративном водозаборе

Существующие мелиоративные водозаборы включают расходы на оросительную систему, рыбозащитные устройств и технологические нужды и определяются по формулам:

$$Q_{MB} = Q_{ГНС} = Q_{НС} + Q_p + Q_{п}, \quad (2.24)$$

где Q_{MB} - расход мелиоративного водозабора, м³/с; $Q_{ГНС}$ – расход головной насосной станции, м³/с; $Q_{НС} = Q_{ОС}$ – расход насосных агрегатов, м³/с; Q_p – расход рыбозащитных устройств, м³/с; $Q_{п}$ – расход на промывку РЗУ, м³/с; $Q_{ОС}$ – расчетный расход оросительной системы, м³/с.

Устойчивое развитие водоресурсной системы связано с эффективностью мелиоративного водозабора и рыбозащитного устройства, что видно из (2.24). Чем меньше гибнет гидробионтов на водозаборе, тем выше его экологическая эффективность. Для рационального потребления воды мелиоративными водозаборами и экологической безопасности малых водотоках необходимо решать 2-е основные задачи: обеспечить более высокую эффективность рыбозащитных устройств, по сравнению существующими и рациональное на орошение при снижении энергозатрат.

Водоресурсная система существующих водозаборов дана на схеме (рисунок 2.7) и описывается зависимостью (2.24).



Сема питания РЗУ от напорной сети ГНС.

Рисунок 2.7 – Сема водоресурсной системы

Схема справедлива для мелиоративного водозабора, когда рыбнозащитное устройство подключено к напорной линии 8 головной насосной станции 6. К недостаткам схемы относятся увеличенная подача головной насосной станции 6 $Q_{ГНС}$ на величину расхода рыбнозащитных устройств 2, которые питаются от напорной линии 8 ГНС 6. Расход, предназначенный для рыбнозащитных устройств 2, проходит через основные насосы ГНС и возвращается в водоток 1. Подача $Q_{ГНС}$ увеличится на расход рыбнозащитных устройств Q_P . Мощность ГНС увеличится пропорционально расходу рыбнозащитных устройств и напору. И если напор основных насосов для эксплуатации оросительной системы превышает напор, необходимый для рыбнозащитных устройств, требуется установка регулирующей арматуры для снижения давления в напорной сети РЗУ. Возможно потребуются увеличить диаметры всасывающих труб, а это приведёт к завышению размеров аванкамеры и мощности головной насосной станции, снизится экологическая безопасность водотока. Вода от насосов ГНС без очистки поступает на рыбнозащитные устройства и возвращается в источник, что не допустимо [104]. Вода, прошедшая через головную насосную станцию, считается технологичной (оросительной, сбросной, оборотной) и нуждается в механической доочистке, если она загрязнена [10, 15, 32, 38, 39, 60, 92, 95, 97, 109, 113]. Воду необходимо подавать на рыбнозащитные устройства очищенной от водорослей, мусора, грязи и далее сбрасывать в водоисточник [14, 116-118].

Следовательно, для создания экологически устойчивой водоресурсной системы на мелиоративных водозаборах необходимо обеспечить забор с обеспеченной подачей расхода через головную насосную станцию с доочисткой на

оросительную систему и подачу с очисткой воды на рыбозащитные устройства отдельной насосной станцией.

Из анализа сложившейся ситуации на малых водотоках для повышения эффективности водоресурсной системы следует: согласовывать график подачи воды на оросительную систему; обеспечить независимость расхода рыбозащитных устройств от расхода ГНС; предусмотреть механическую очистку при подачи воды на рыбозащитные устройства; минимизировать затраты на рыбозащиту и промывку; разработать экологический способ защиты гидробионтов, который должен составлять не менее 90 % и обеспечить рациональный забор воды из источника на рыбозащиту.

Разработана принципиально новая водоресурсная система, схема которой с мелиоративным водозабором и подачей воды от отдельной насосной станции на мобильное рыбозащитное устройство дана на рисунке 2.8.

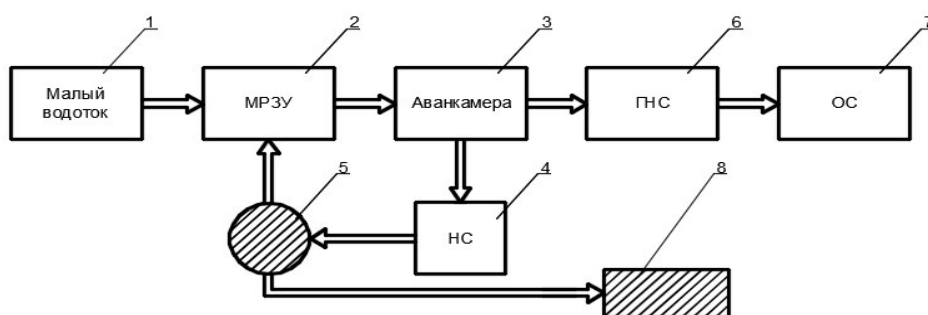


Рисунок 2.8– Схема мелиоративного водозабора с подачей воды МРЗУ от передвижной НС

Водоресурсная система мелиоративного водозабора с МРЗУ (рисунок 2.8) описывается уравнениями:

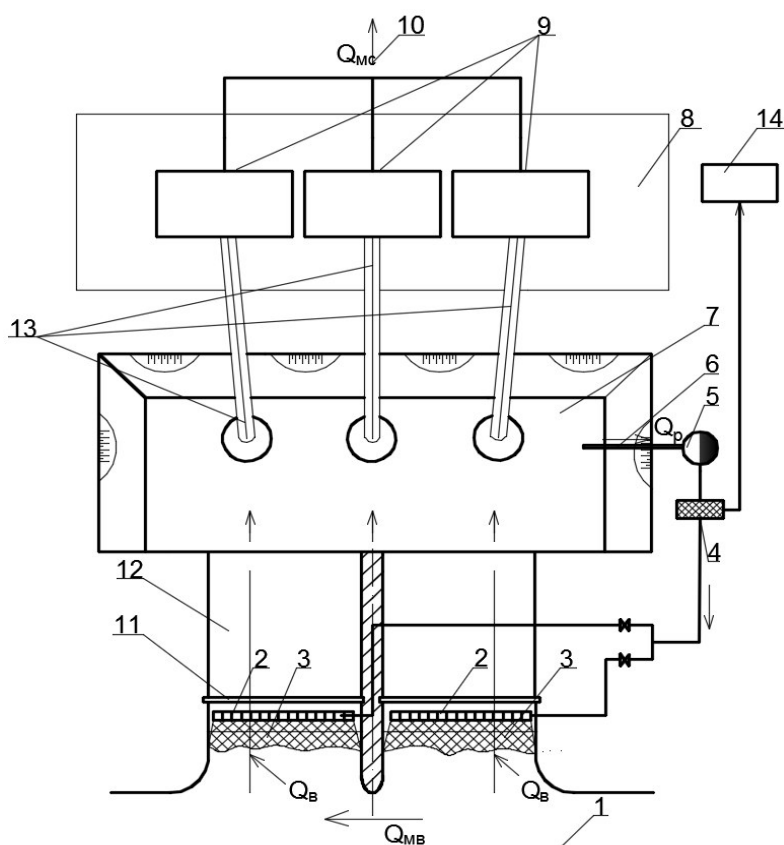
$$Q_{MB} = (Q_{OC} + Q_{п}) \rightarrow optima, \quad (2.25)$$

$$Q_P \rightarrow Q_{P min} \quad (2.26)$$

Зависимость (2.25) сводиться к оптимизации режима орошения и промывке оборудования, – (2.26) обеспечивает рациональное использование воды на рыбозащитных устройствах и мелиоративном водозаборе в целом.

Водоресурсная система (рисунок 2.8) включает мелиоративный водозабор с экологическими рыбозащитными устройствами 2 на малых водотоках 1, где вода из аванкамеры 3 поступает на рыбозащитные устройства 2, очищенной на фильтрах грубой очистки 5. Для этого нужна индивидуальная насосная станция (передвижная, стационарная) 4. Осадок 8 утилизируется. Вода для рыбозащитных устройств забирается из аванкамеры 3, подаётся через механические фильтры 5 на мобильные рыбозащитные устройства 2, создавая противотоки с защитным гидравлическим экраном.

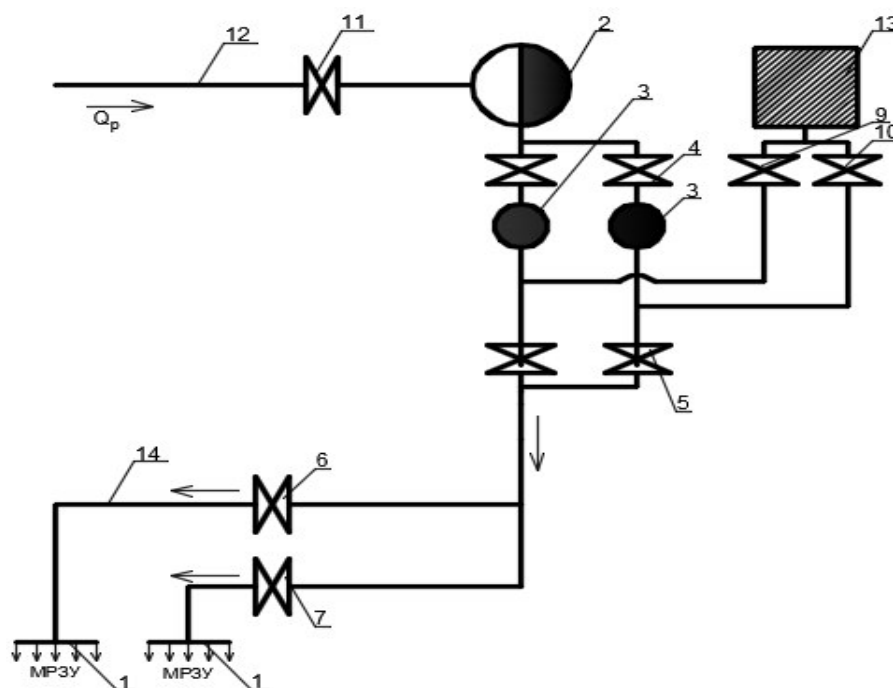
Принципиальная схема водоресурсной системы мелиоративного водозабора с мобильными РЗУ на малом водотоке приведена на рисунке 2.9.



1-источник воды – малый водоток; 2 – МРЗУ, 3 – водоприемное окно; 4 – механический фильтр; 5 – насосная станция; 6 – всасывающая труба насоса; 7 – аванкамера; 8 – ГНС; 9 – основные насосы; 10- напорная труба; 11- затворы; 12 – подающая труба; 13 – всасывающие тубы; 14 – фильтровальный осадок

Рисунок 2.9 – Принципиальная схема водоресурсной системы с мелиоративным водозабором и МРЗУ малого водотока

В водоприёмных окнах мелиоративного водозабора в источнике 1 устанавливается мобильное бесконтактное экологическое рыбозащитное устройство 2 с боковым отводом молоди рыб транзитным потоком реки 1. Входные окна водозабора 11 оборудуются мобильным рыбозащитным устройством 2, обеспечивающим экологическую защиту обратным током воды 3, который создаётся мобильной насосной станцией 5. Насосная станция 5 забирает воду из аванкамеры 7, поступающую из источника без гидробионтов по трубам 12 и прошедшую через мобильное рыбозащитное устройство попадает в аванкамеру 7. Таким образом, для защиты молоди рыб используется вода из аванкамеры без гидробионтов. Из аванкамеры вода через всасывающие трубы 13 насосами 9 головной насосной станцией 8 подаётся по напорной трубе 10 на оросительную систему. Для защиты мобильного рыбозащитного устройства 2 от мусора и грязи применяется блок фильтров 4. Принципиальная схема защиты мобильного рыбозащитного устройства от мусора и грязи дана на рисунке 2.10.



- 1 – МРЗУ; 2 – мобильная насосная станция; 3 – фильтры; 4–11 – задвижки для управления промывкой МРЗУ; 12 – всасывающий трубопровод; 13 – осадок;
14 – трубопровод, питающий МРЗУ

Рисунок 2.10 - Принципиальная схема МРЗУ

Для создания противотоков мобильным рыбозащитным устройством используется вода из аванкамеры, прошедшая через систему очистки воды на 2-х (3-х...) фильтрах. Для очистки воды от мусора и водорослей применяется не менее 2-х фильтров. Используется вода, прошедшая через МРЗУ, аванкамеры головной насосной станции, которая не содержит гидробионтов. Управление расходами промывки осуществляется задвижками 4-11. Очистка воды от мусора и водорослей идёт непрерывно с подачей расхода Q_p на рыбозащиту.

Установим на примере оросительной системы ЗАО им. Т.Г. Шевченко Тбилисского района площадью нетто 991 га (проект мелиоративной системы КубГАУ) экономию электроэнергии при использовании схемы с мобильной НС, приведённой на рисунке 2.10. Культуры севооборота и оросительная норма: соя-1600 м³га, сахарная свекла – 3300 м³га, кукуруза – 2600 м³га, оз. пшеница – 2000 м³га. На каждом поле установлены ДМ кругового полива, всего 14. Водозабор механический оборудован 2 группами насосов: 1 группа оборудуется 4-мя насосами производительностью 1675 м³/ч, Н=88м, N=600 кВт (1+3 насоса SCH 150/530 НА – 200/4, Q=558м³/ч, Н=88м, N=200кВт); 2 группа 2-мя насосами – 670 м³/ч, Н=62м, N=160 кВт. Источник ОС – р. Кубань.

Вода поступает в аванкамеру, оборудованную 3-мя рыбозащитными устройствами типа КДРУ [74], установленных в водоприёмных окнах водозабора. Расход КДРУ составляет 8 % от расхода головной НС (рисунок 2.11).

Оценим затраты энергоресурсов на мелиоративном водозаборе при подаче воды ГНС на орошение по существующей схеме подключения КДРУ (рисунок 2.7) в сравнении с работой КДРУ по инновационной схеме (рисунок 2.9).

Вариант 1. Расход КДРУ при подключении к напорной линии ГНС, будет: расход для 1 группы насосов: $1675 \cdot 0,08 = 134 / 3600 = 0,037$ м³/с; расход для 2 группы насосов: $670 \cdot 0,08 = 53,6 / 3600 = 0,0148$ м³/с.

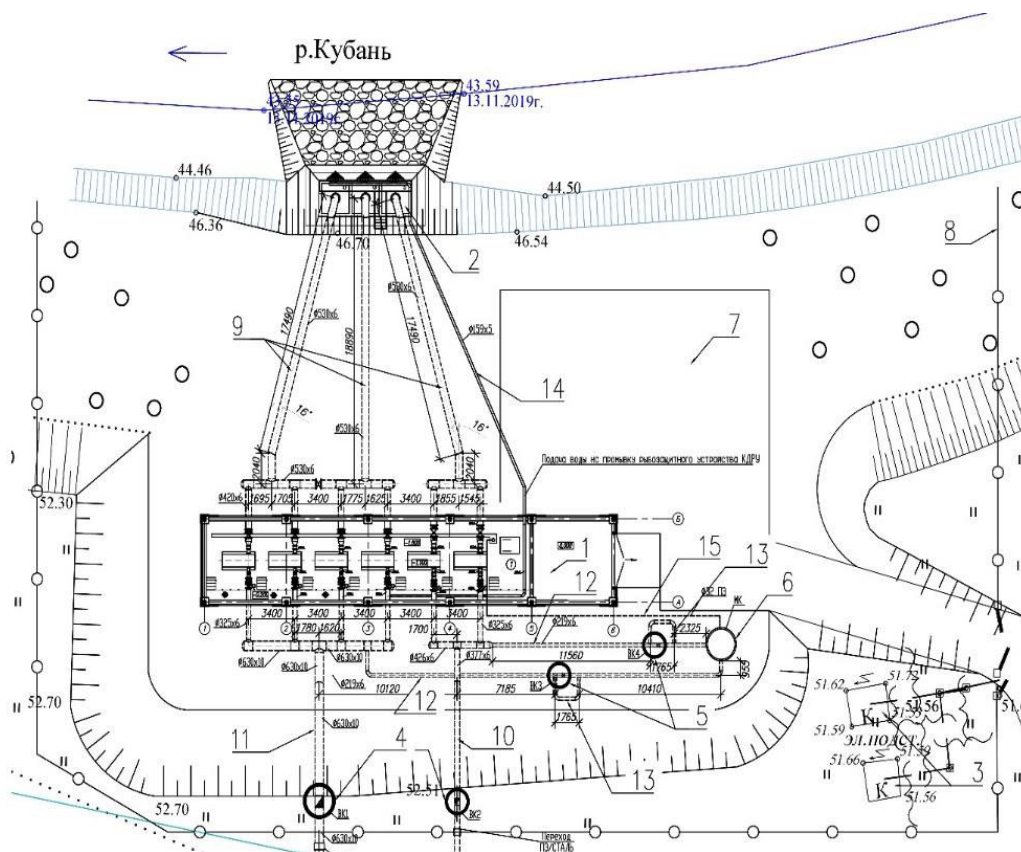


Рисунок 2.11 – План мелиоративного водозабора ЗАО им. Т.Г. Шевченко
Тбилисского района

Мощность ГНС с учётом подачи на КДРУ и на оросительную систему определяется по формуле:

$$N_i = \rho g H (Q_{MB} + Q_P) / 10^3 \eta, \quad (2.27)$$

где H – напор насосной станции, учитывающий геодезическую высоту, местные и потери по длине, напор на ДМ, м; η – коэффициент полезного действия насосов.

Для 1 группы насосов мощность составит: $N_1 = 1000 \cdot 9,8 \cdot 88 \cdot (0,465 + 0,037) / 10^3 \cdot 0,7 = 681,46$ кВт. Для 2 группы насосов мощность, будет: $N_2 = 1000 \cdot 9,8 \cdot 62 \cdot (0,186 + 0,0148) / 10^3 \cdot 0,7 = 174,29$ кВт.

Вариант 2. Затраты мощности ГНС по инновационной схеме (рисунок 2.9) для 1 и 2 группы насосов, определяются по формуле:

$$N_{iMB} = \rho g H Q_{MB} / 10^3 \eta. \quad (2.28)$$

Для 1 группы насосов: $N_{1MB} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 88 \cdot 0,465 / 10^3 \cdot 0,7 = 572,88$ кВт.

Для 2 группы насосов: $N_{2МВ} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 62 \cdot 0,186 / 10^3 \cdot 0,7 = 161,44$ кВт.

Сравним 2 варианта. 1. Находятся затраты мощности на эксплуатацию КДРУ, питающихся от напорного трубопровода ГНС по формуле:

$$\Delta N_{\text{КДРУ ГНС}} = N_1 - N_{1МВ} = 681,46 - 572,88 = 108,58 \text{ кВт.}$$

2. Найдём мощность на эксплуатацию КДРУ мобильной НС по формуле:

$$N_{\text{КДРУ}} = \rho g H_P Q_P / 10^3 \eta, \quad (2.29)$$

где H_P – требуемый напор для работы КДРУ ($H_P=30$ м), м.

$$N_{\text{КДРУ}} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 30 \cdot 0,037 / 10^3 \cdot 0,7 = 15,54 \text{ кВт.}$$

Определим разность мощностей между мощностью основных насосов затраченную на эксплуатацию КДРУ и мощностью затраченную мобильной НС на эксплуатацию того же КДРУ:

$$\Delta N_{\text{КДРУ}} = \Delta N_{\text{КДРУ ГНС}} - N_{\text{КДРУ}} = 108,58 - 15,54 = 93,04 \text{ кВт.}$$

Годовая экономия электроэнергии от внедрения инновационной схемы, составит:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{КДРУ}} = \Delta N_{\text{КДРУ}} T_1, \quad (2.30)$$

где T_1 – суммарное время работы головной насосной станции на оросительной сети, сут. (51 сут.).

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{КДРУ}} = 93,04 \cdot 51 \cdot 24 = 113880,96 \text{ кВт ч.}$$

Стоимость 1 кВт ч равна 8,5 руб. Экономия электроэнергии от КДРУ, питающейся от индивидуальной НС, составит:

$$S_1 = 113880,96 \cdot 8,5 = 967988,16 \text{ руб.}$$

Экономия в рублях для 1 группы насосов, будет: 967988,16 руб.

Экономия для 2 группы насосов по аналогии, как для 1 группы, будет.

$$\Delta N_{2\text{КДРУ ГНС}} = N_2 - N_{2МВ} = 174,29 - 161,44 = 12,85 \text{ кВт.}$$

$$N_{2\text{КДРУ}} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 30 \cdot 0,0148 / 10^3 \cdot 0,7 = 6,21 \text{ кВт.}$$

$$\Delta N_{\text{КДРУ}} = 12,85 - 6,21 = 6,64 \text{ кВт.}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{1\text{КДЖРУ}} = 6,64 \cdot 51 \cdot 24 = 8127,36 \text{ кВт ч.}$$

$$S_2 = 8127,36 \cdot 8,5 = 69082,56 \text{ руб.}$$

Экономия, выраженная в рублях для 2 группы насосов: 69082,56 руб.

Годовая суммарная экономия от внедрения мобильной насосной станции на мелиоративном водозаборе ЗАО им. Т.Г. Шевченко Тбилисского района составит:

$$S = S_1 + S_2 = 967988,16 + 69082,56 = 1037070,72 \text{ руб.}$$

Следовательно, для устойчивого развития водоресурсной экосистемы на мелиоративном водозаборе ЗАО им. Т.Г. Шевченко Тбилисского района необходимо применять мобильную насосную станцию для подачи воды на рыбо-защитные устройства, которая обеспечит экономию электроэнергии до 7,1 %.

Разработка проектов мелиоративных водозаборов на малых водотоках

Для ООО «Колхоз Рассвет» Курганинского района разработан береговой мелиоративный водозабор из р. Синюха» для оросительной системы (рисунок 2.12).

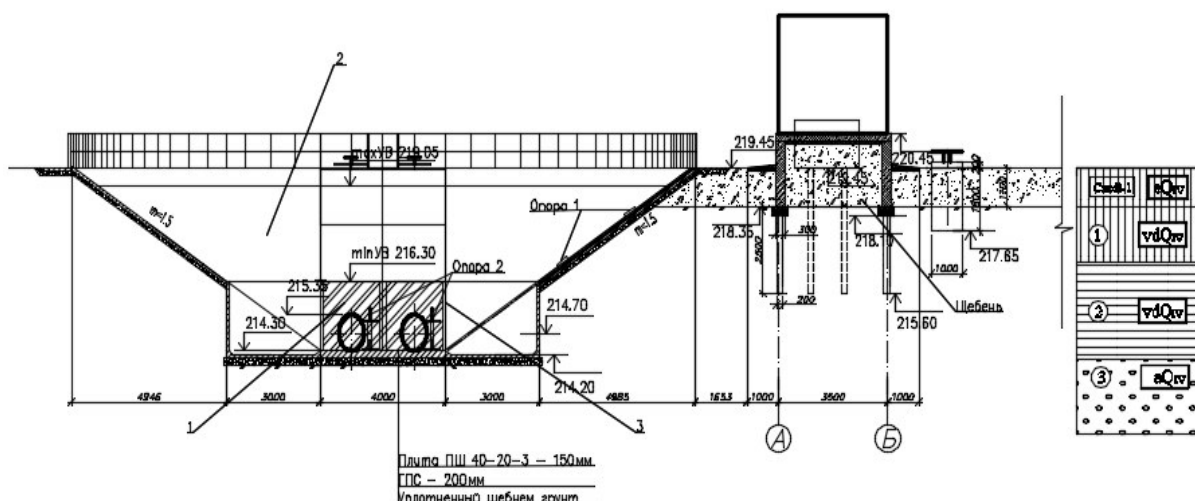
Объём воды для орошения составляет 1,2 млн. м³ при оросительной норме кукурузы 3,0 тыс. м³/ га. Средне месячное потребление объёма стока составляет 0,2 млн. м³. Общий забор воды не превышает 10 % стока 75 % обеспеченности в расчетном створе реки мелиоративного водозабора, что удовлетворяет экологическим требованиям.

Для оросительной системы ООО «Колхоз Рассвет» компоновка мелиоративного водозабора выполняется с бесконтактным экологическим мобильным МРЗУ, которое устраивается у водоприёмных окон водозаборных труб, обеспечивая отвод личинок и молодь рыб транзитной скоростью реки вниз по течению.

Аналогичный мелиоративный водозабор разработан КубГАУ и построен для системы капельного орошения ООО «Сельхоз-Галан» Курганинского района. В составе мелиоративного водозабора внедрено бесконтактное экологическое струйное МРЗУ.

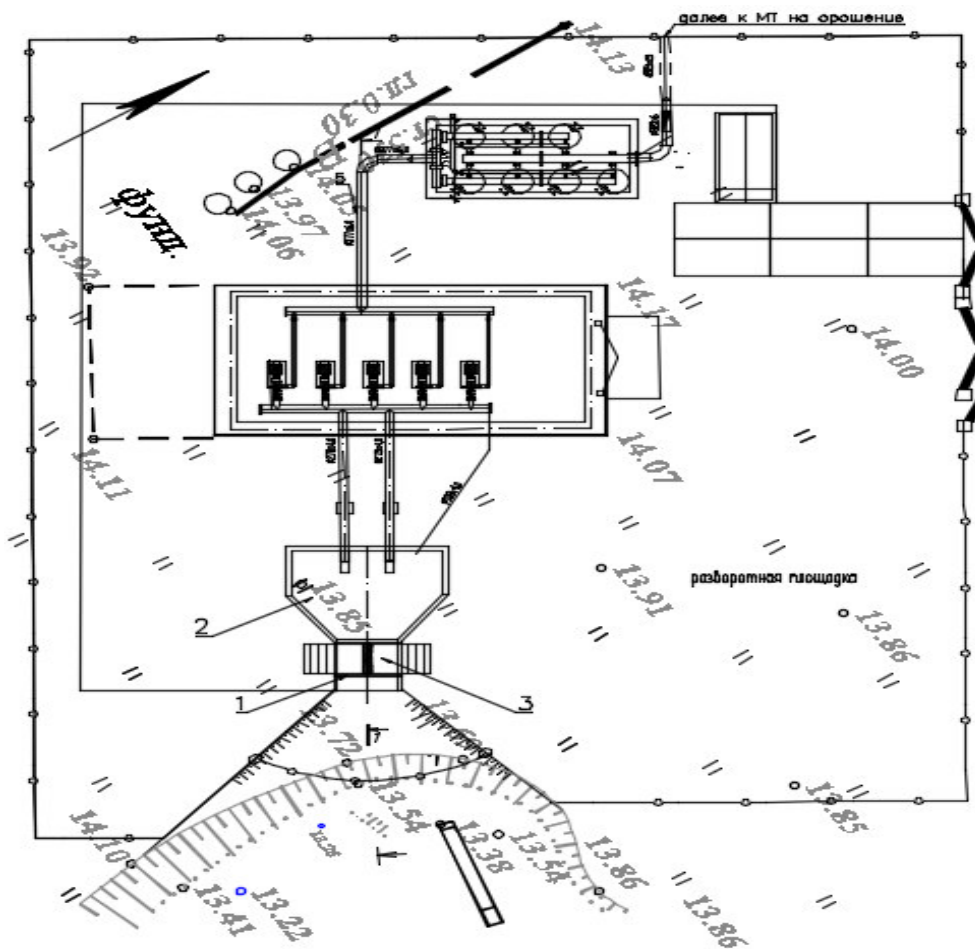
Мелиоративный водозабор оборудуется 2-мя экологическими бесконтактными рыбозащитными устройствами на Михайловском канале – малом водотоке, который соединяет р. Лаба с р. Чамлык. Потокообразователи у водоприёмных окон создают гидравлические экраны, через которые молодь рыбы не попадает в водозабор и сносится транзитной скоростью в канал. Расход канала находится в диапазоне 2,0-6,0 м³/с, скорости транзитного потока (0,3-0,9) м/с.

Водоприёмные окна оборудуются решёткой, на которой устанавливаются потокоформирующие элементы. Конструкция экологического бесконтактного струйного рыбозащитного устройства обеспечивает рациональное использование стока канала. Экономия водных ресурсов в среднем достигается 8 % или в пересчете на объем водозабора – 74 тыс. м³/с. Особенностью проектирования мелиоративного водозабора – устройство дна аванкамеры ниже дна канала на 0,5 м из-за небольших глубин и колебания уровня в межень (рисунок 2.13)



1- мобильное рыбозащитное устройство; 2 - аванкамера; 3 – водозаборное окно
Рисунок 2.13 – Мелиоративный водозабор со стороны Михайловского канала

Анализируя сток малых рек степных рек Азово-Кубанского бассейна. Разработан мелиоративный водозабор для системы капельного орошения ООО «Батуриновское» Брюховецкого района с подачей расхода из р. Челбас (бассейн р. Челбас, степная малая река). На рисунке 2.14 представлен тупиковый мелиоративный водозабор системы капельного орошения, где внедрено экологическое бесконтактное струйное рыбозащитное устройство.



1- мобильное рыбозащитное устройство; 2 - аванкамера; 3 – водозаборное окно

Рисунок 2.14 – Мелиоративный водозабор ООО «Батуриновское»

(по проекту кафедры гидравлики и с.-х. водоснабжения КубГАУ, 2018г)

Размеры аванкамеры уменьшаются при использовании 2-х водозаборных труб для 5 насосов. На водозаборе устраивается 2 прямоугольных водоприемных окна, каждое из которых оборудуется экологическим бесконтактным МРЗУ. Потокобразователь у водоприёмных окон создаёт гидравлические

экраны, через которые молодь рыбы не попадает в водозабор. Расходы реки в мае-июне находятся в диапазоне 5,0-8,0 м³/с, скорости потока в степной реке 0,2-0,3 м/с. Глубины у водозабора незначительные 0,8-0,9 м. Водоприёмные окна оборудуются решёткой на которой устанавливаются потокоформирующие элементы. Дно аванкамеры устраивается ниже дна реки на 0,8 м.

Анализ водозаборов на малых реках показывает, что создание водоресурсных экосистем: мелиоративный водозабор – мобильная рыбозащита должно строиться на принципе экологической защиты биоресурсов и рационального использования водных ресурсов по схеме данной на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Принципиальная схема водоресурсной экосистемы: мелиоративный водозабор – мобильная рыбозащита

Для эффективного функционирования *водоресурсных систем* на малых реках и каланах необходимо выполнять забор воды через мелиоративные водозаборные сооружения, которые оборудуются бесконтактными экологическими мобильными рыбозащитными устройствами, обеспечивающими рациональное водопользование.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2

1. Обоснованы принципиально новые технологические параметры мобильного рыбозащитного устройства. Объемные противотоки создаются конически сходящимися насадками и конусами, размещёнными на коллекторе у водоприемных окон. Угол конуса может находиться в диапазоне 60-130°. Истечение из насадки на конус и сложение скоростей отдельных струй после конуса должно обеспечивать струйное движение противотока потоку водозабора и достаточный коэффициент плотности гидравлического экрана по живому сечению.

2. При истечении воды из насадки на конус теоретически обоснованы параметры противотока теоремой об изменении количества движения и уравнениями гидравлики.

3. Получено уравнение (2.23), из которого определяется количество струйных противотоков, формирующих гидравлический экран. Теоретически обоснована возможность применения струйных течений противотока для защиты экологической гидробионтов.

4. Устойчивое развитие водоресурсных систем на мелиоративных водозаборах малых водотоках обеспечивается с помощью: мелиоративный водозабор – мобильная рыбозащита (рисунок 2.15), когда мобильные рыбозащитные устройства эксплуатируются независимо от головных насосных станций.

5. При независимой эксплуатации МРЗУ от работы головной насосной станции на мелиоративном водозаборе р. Кубань обеспечивается экономия энергоресурсов до 7,1 % и водных ресурсов МРЗУ – до 10 % на ЗАО «Шевченко» Краснодарского края.

3 СХЕМА ОПЫТА. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Обоснование применимости имитаторов

В лабораторных опытах моделями молоди рыб служили физические модельные тела молоди рыб – имитаторы. Основными параметрами имитаторов были вес и размер, которые были обоснованы исследованиями на физической модели мелиоративного водозабора ПАОС [46, 83]. Имитаторы были сформированы в 6 групп (таблица 3.1).

Таблица 3.1– Основные параметры имитаторов

Группы имитаторов	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
Среднеквадратичное отклонение, г	0,0017	0,024	0,049	0,0386	0,0633	0,325
Длина, мм	8-10	13-15	15-17	30-35	47-55	93-110
Характеристика материала	Полиэтилен+ утяжелитель	Полиэтилен+ утяжелитель	Полиэтилен+ утяжелитель	Силикон	Силикон	Силикон

Имитаторы формируются в группы по весу и размеру и сопоставлялись параметрами с молодьё рыбы, где в каждой группе определялось среднеквадратичное отклонение имитаторов по весу. Длина имитаторов молоди рыб измеряется линейкой из нержавеющей стали с точностью 1 мм ТДА-1966, вес находится в диапазоне 0,20-8,89 г и определяется электронными весами ОНАУС с точность 0,001 г.

На рисунке 3.1 приводятся фото исследуемых имитаторов для 6-ти групп. К группам 1-3 относятся имитаторы, изготовленные из полиэтиленовых палочек диаметром 3 мм длиной 8-17 мм с утяжелителями из пластилина на конце в виде шарика, которые имеют разброс весов в диапазоне 0,049-0,51 г. Группы

4-6 имитаторов имеют форму мальков рыбы, которые изготавливаются в заводском варианте из силикона (воблеры) и формируются в группы по длине и весу аналогично первым трём группам.



А) Имитаторы групп 1-3



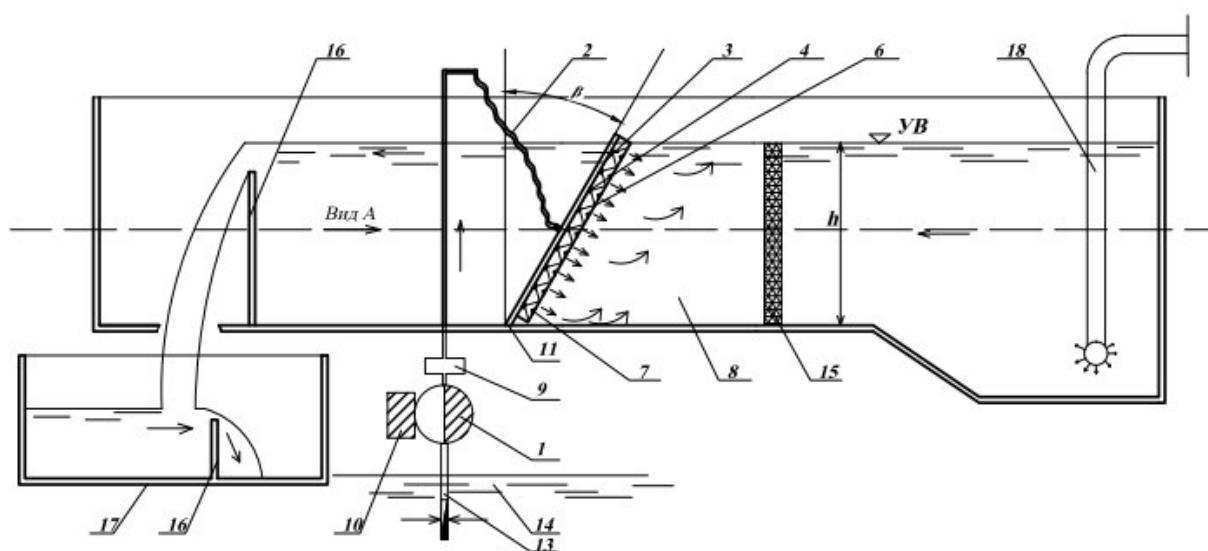
Б) Имитаторы групп 4-6

Рисунок 3.1 - Исследуемые имитаторы

В каждой группе исследуется по 20 шт. имитаторов, что давало возможность сравнивать группы между собой по воздействию энергии плоских струй противотока на имитаторы. Они перемещаются в потоке под действием струйных течений хаотично, что позволяет предположить о потере «реореакции» имитаторов, как у ранней молоди рыб на мелиоративном водозаборе в реальных условиях малых водотоков. Имитаторы воспроизвести схему плавания молоди рыб в потоке у водозабора, а, поэтому, создавались условия для исследования экологической бесконтактной защиты ранней молоди рыб на физической модели рыбозащитного устройства и установить его эффективность при различных сценариях.

3.2 Разработка физической модели мелиоративного водозабора с мобильным рыбозащитным устройством

Для обоснования устойчивого развития водоресурсной экосистемы мелиоративный водозабор – рыбозащита разрабатывается методика исследования потокообразователя и потокообразующих элементов экологического рыбозащитного устройства в условиях дефицита стока на малых водотоках. При разработке физической модели МРЗУ были изучены и использованы источники по моделированию мелиоративных водозаборов, рыбозащитных устройствах и скоростей потока в них [3, 5, 12, 13, 17, 20, 29, 40, 41, 49, 54, 74, 104, 121, 126] и др. Физическая модель мелиоративного водозабора с мобильным рыбозащитным устройством в масштабе 1:1 приводится на рисунке 3.2.



1- насосная станция; 2 – система трубопроводов 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 3.2 – Лабораторная установка для испытания физической модели мобильного рыбозащитного устройства с имитаторами

В качестве водозаборного сооружения используется гидравлический лоток размером $0,43 \times 0,8 \text{ м}^2$, который позволяет пропускать расход воды до $0,2$

м³/с. Лоток оборудуется потокообразователем, со сменными потокоформирующими элементами, которые в зависимости от варианта опыта могут изменяться. Для управления режимами потока при подходе к экологическому МРЗУ в конце лотка имеется затвор, с помощью которого можно регулировать скорость потока в водоприёмном окне.

Водоприёмное окно прямоугольной формы повторяет размер лотка. Глубины в водоприёмном окне изменялись от 0,50 до 0,65 м шпигенмасштабом с точностью 0,01см. Расход водозабора измеряется водосливом-водомером Чи-полетти с точностью 2,5 %. Время определяется образцовым секундомером с точностью 0,01 с.



Рисунок 3.3 - Лабораторная установка



Рисунок 3.4 – Измерение уровней

Исследования выполнялись на полномасштабной физической модели рыбозащитного устройства, разработанной на кафедре гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения КубГАУ. На физической модели потокообразователем создаются струйные течения, направленные на навстречу потоку водоприёмного окна, траектории которых моделируются перемещениями имитаторов под действием потокоформирующих элементов у рыбозащитного устройства (рисунок 3.2).

Описание бесконтактного МРЗУ. 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 гидробионты. Питание водой мобильного рыбозащитного устройства осуществляется передвижной насосной станцией (ПНС) 1, которая забирает воду из аванкамеры 8 через фильтр 9. Электроэнергия для ПНС подаётся, как от электрических сетей, так и может подаваться от автономного электрогенератора 10. Коллектор 3 шарнирно крепится в пазах 11 и может поворачиваться относительно водоприёмного отверстия на угол α .

3.3 Методика исследования мобильного бесконтактного рыбозащитного устройства

Расход воды в гидравлическом лотке 8 поддерживается в диапазоне 0,0403-0,0712 м³/с, что соответствует расходу одного водоприёмного окна водозабора на малом водотоке. Расход находится с помощью тарированного водослива-водомера 16 в 3-кратной повторности. Ошибка измерения расхода не превышает 2,5 %. Средняя скорость потока водозабора находится в диапазоне $v = 0,10$ -

Давление в коллекторе, создаваемое 0,20 м/с [112] и определяется по формуле:

$$v = Q / b h, \quad (3.1)$$

где Q – расход воды через водослив водомер, м³/с; b – ширина лотка, м; h – глубина воды перед водосливом, измеренная шпигелом с точностью 0,01 см на расстоянии $3H$ от водослива, м.

Насосом 1, измеряется в 3-х кратной повторности образцовым манометром класса 0,4. Давление в коллекторе потокообразователя у насадки 4 находится в диапазоне 0,08-0,4 МПа. Скорость истечения из насадки определяется по формуле (2.2). Диаметры насадок 3,4 мм и 5 мм были выбраны на основе технического и технологического обзора современных рыбозащитных устройств [75-78]. Исследовалось истечение из внешних конических насадок с углом конусности 13° и относительной длиной 5 (насадок) по общепринятой методике [88]. Геометрические параметры насадок принимаются с учетом ранее выполненных исследований, при этом отмечается, что углы конусности насадок, лежащие в пределах $12-15^{\circ}$, которые создают максимальные расходы при истечении. Насадки работают совместно с конусами, струя истечения направляется в центр конуса и растекается, повторяя форму конуса, образуя объемный струйный противоток, который направлен навстречу личинкам и молоди рыб.



Рисунок 3.5 – Истечение из насадок на конус

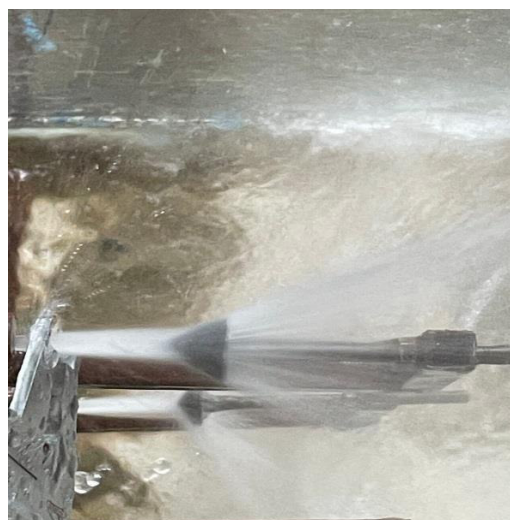


Рисунок 3.6 – Создание гидравлических экранов

Объемный противоток воздействует на физические объекты большей плотности, находящиеся в потоке, в частности, на гидробионты, создавая сопротивление движению молоди рыб к водоприёмному окну водозабора.

Схемы установки насадок на коллекторах принимаются рядной и шахматной (рисунок 3.7).

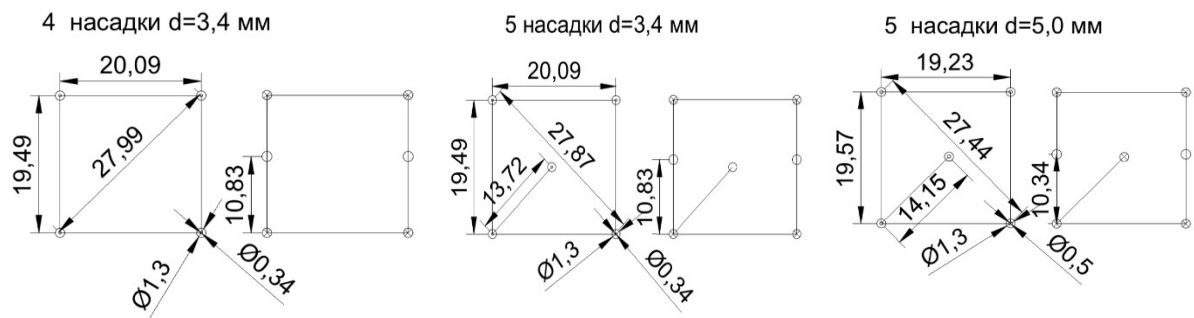


Рисунок 3.7 – Размещение потокоформирующих элементов на коллекторе

Для создания противотоков применялись конуса с углами 60° , 110° , 122° длиной 14 мм, 10 мм, 5 мм и расстояния от насадки до конуса - 0,045; 0,04; 0,035; 0,03; 0,025; 0,02; 0,015 м. соответственно. Коллектор потокообразователя прямоугольный размером $0,35 \times 0,5 \text{ м}^2$ выполнен по форме водоприемного окна, на котором размещаются насадки по 2-м схемам (рисунок 3.3).

Исследования параметров мобильного рыбозащитного устройства выполнялись в 3-х кратной повторности с использованием критерия по Фишера.

3.4 Методика исследования технологических параметров мобильного рыбозащитного устройства

Исследовались технологически параметры бесконтактного экологического мобильного рыбозащитного устройства: угол наклона потокообразователя; плотность противотока у водоприёмного окна; параметры насадки; схемы расстановки насадков на коллекторе; угол конуса. Определялось эффективность защиты мобильного рыбозащитного устройства гидробионтов (имитаторов) от попадания в мелиоративное водозаборное устройство. Исследовалось 6 групп физических моделей имитаторов, сформированных в группы по весу и длине (таблица 3.1).

Формирование объёмного противотока выполнялись одиночными насадками и конусами с применением различных схем защиты молоди рыб. Исследования объёмного противотока и место размещения (расстояние от коллектора) гидравлического экрана у водозаборного окна позволяют определить потерю энергии противотока опытным путём и из уравнения (2.2.23), у которого скапливаются гидробионты (имитаторы), которые далее транзитным потоком будут отводятся в безопасное место малого водотока.

Для разработки нового мобильного рыбозащитного устройства исследовались гидравлические и геометрические параметры. К гидравлическим параметрам рыбозащитного устройства относятся: давление в коллекторе; коэффициент расхода; скорость струи при истечении из насадков; скорости схода струи с конуса; струйные объёмные противотоки; форма объёмного противотока, его диаметр и длина. К основным геометрическим параметрам относятся: форма насадки; размеры и угол конуса; расстояние от насадки до конуса.

С учётом гидравлических и геометрических параметров конструируются размеры потокообразователя и его потокоформирующих элементов, а именно: размеры коллектора и его форма; количество и тип насадков, а также конфигурация их установки на коллекторе, расстояние от насадки до конуса и их количество; геометрические формы конусов; место установки рыбозащитного устройства.

Выполнено обоснование геометрических параметров конусов из условия: пропуска максимального расхода водозабора; объёмный противоток обеспечивает максимальную плотность; обеспечения максимальной энергии объёмного противотока; защита потокообразователя от донных наносов и мусора;

За конусами исследуются струйные течения, которые образуют противоток. Опыты проводятся при установившемся движении жидкости. Продолжительность каждого опыта в среднем составляет 3-5 мин., каждой серии опытов – 100 мин.

Исследование потокоформирующих элементов

В водоприемном окне закрепляется потокообразователь - коллектор, на котором поочередно исследуются потокообразующие элементы: насадки диаметром 3,4 мм и 5 мм с соосно установленными конусами 60° , 110° , 122° на расстояниях 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 и 4,5 см, соответственно. При истечении из насадков в атмосферу исследуются противотоки при дискретном возрастающем давлении в коллекторе, которое создаётся насосом GRUNDFOS DK-8850 SKALA2-3-45. Насос поддерживает давление в диапазоне 0,1-0,4 МПа.

В лотке выполняются измерения параметров противотока: длина факела противотока (факела) измеряется сантиметровой металлической линейкой с ценой деления 1 мм. Вершина конуса является началом факела. Диаметр факела определялся с помощью шпигельмасштаба на расстояниях 0,1; 0,2; и 0,3 м от вершины конуса. Сверху на лотке закрепляется лист размером 0,5x1,2 м из плексигласа толщиной 10 мм с отверстиями диаметром 12 мм размеченными по площади 0,1x0,1 м. Расстояние от насадки до конуса измеряется штангенциркулем с точностью 0,1 мм.

Исследуется коэффициент расхода насадки в зависимости от числа Re и давления в коллекторе. Расход при истечении из насадки определяется объёмным способом. Для этого используется тарированная емкость с ценой деления 1 мм и объёмом 5 л. Время истечения определяется образцовым секундомером с точностью 0,01 с. Погрешность опыта не превышает 3,5 %. Опыты выполняются в 3-х кратной повторности.

Исследование угла наклона потокообразователя

Исследовались 2 схемы потокообразователя: рядная с 4 насадками и шахматная – с 5 насадками. Насадки были приняты диаметрами 3,4 и 5 мм. Давление в коллекторе находилось в диапазоне 0,098-0,324 МПа. Скорость потока

водозабора изменялась от 0,1 до 0,2 м/с. Потокообразователь устанавливался навстречу потоку водозабора под фиксированными углами: 60°, 70°, 80°, 90°.

Эффективность противотоков (K_{ef} , %) находится как отношение количества рыб, гибель которых предотвращается, к числу рыб, которые погибли бы в устройстве мелиоративного водозабора без оборудования МРЗУ.

Эффективность рыбозащиты определялась при различных углах потокообразователя по количеству имитаторов, прошедших через мелиоративный водозабор. Эффективность МРЗУ определяется по формуле [94]:

$$K_{ef} = \frac{N_0 - N_i}{N_0} \cdot B \cdot 100, \quad (3.2)$$

где K_{ef} – эффективность бесконтактного экологического водозабора, %, N_0 – количество рыб в потоке воды, направленном в водоприемник, при отсутствии рыбозащитного сооружения; N_i – количество рыб каждой группы в потоке воды, направленном в водоприемник, при работе рыбозащитного сооружения; B – коэффициент выживаемости рыб после контакта с элементами конструкции рыбозащитного сооружения.

При бесконтактной экологической рыбозащите практически вся молодь рыб остаётся живой, поэтому коэффициент выживаемости $B = 1,0$. Исследовалось 6 групп имитаторов, отличающихся по весу и размеру. Для каждой группы имитаторов рыб присваивается индикатор N_i , например, для 4 группы соответствует индикатор – N_4 .

Исследовалась эффективность 2-х схем для 1-6 группы имитаторов. Выпускалось в поток 60 шт. имитаторов у потокообразователя на расстоянии 0,8 м, которые под действием потока водозабора двигались к нему. В каждой группе было по 20 шт. имитаторов. В первой серии опытов скорости подхода поддерживались 0,1 м/с. Во второй серии опытов скорости подхода были равны 0,2 м/с. В водоприемном окне (рисунок 3.7) поочередно исследуется потокообразователь, изготовленный по рядной и шахматной схемам. Коллектор

потокообразователя изготавливается прямоугольными $0,35 \times 0,5 \text{ м}^2$. Конуса используются с углами 60° , 110° и 122° . В поток водозабора на расстоянии $1,0 \text{ м}$ от коллектора выпускаются поочередно 6 групп имитаторов.

При истечении из насадков исследуется эффективность объёмного противотока на расстояниях $0,3-1,0 \text{ м}$ от конуса, где формируются защитные гидравлические экраны. В коллекторе поддерживается постоянное дискретное давление $0,1-0,4 \text{ МПа}$. Насадки диаметрами $3,4 \text{ мм}$ и 5 мм устанавливаются соосно конусу 60° и поочередно закрепляются на расстояниях $1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0$ и $4,5 \text{ см}$, соответственно. Затем конус заменяется на 110° и 122° и опыт повторяется 3-х кратной повторности. Устанавливается почётно эффективность рыбозащитного устройства при углах установки потокообразователя $60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$.

Исследование плотности экрана противотока

Исследовалась рядная и шахматная схема расстановки насадков и конусов на коллекторе, которая влияет на плотность гидравлического экрана, который создаёт сопротивление противотока. Скорости водозабора была $0,1 \text{ м/с}$ и $0,2 \text{ м/с}$. Опыты были проведены для насадков $3,4$ и $5,0 \text{ мм}$, установленные на расстоянии $0,03 \text{ м}$ от конуса с углом 122° .

Плотность противотока устанавливается 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 плотность противотока.

Коэффициент плотности гидравлического экрана определится по формуле:

$$K = \sum_1^n \omega i / \Omega , \quad (3.3)$$

где K – коэффициент плотности гидравлического экрана; Ω – живое сечение потока у водоприёмного окна, м^2 . где n – количество насадков на коллекторе,

шт., ω – площадь экрана, создаваемая насадком при соударении с конусом на расстоянии l , м².

$$\Omega = b h , \quad (3.4)$$

где b – ширина входной части водоприёмного окна, м; h – глубина потока у водоприёмного окна, м.

При истечении из насадков струи воздействуют на конусы, образуя факела распыла из множества струе, которые создают объёмные противотоки, направленные от водоприёмного окна навстречу потоку водозабора. Вектора скоростей противотока суммируются на участке длиной l , где формируется гидравлические экраны различной плотностью K . Чем ближе экран к потокообразователю, тем меньшей плотностью он обладает. В конце участка плотность достигает максимальной величины, но при этом энергия противотока ослабевает и наступает баланс между энергией противотока и энергией потока водозабора, что доказано теоретически (раздел 2). Для установления баланса между энергией противотока и энергией потока водозабора потребуется n насадков на потокообразователе (2.23). При этом гидравлический экран плотностью K можно рассматривать как технологический параметр для формирования противотоков различной плотности.

Установим при каком значении коэффициента плотности гидравлического экрана наиболее эффективнее выполняется защита водозабора. Исследовались конуса 60° ; 110° 122° . Исследована плотность экранов при истечении из насадков, которые устроены на потокообразователе по 2-м схемам. Опыты были поставлены для 4 насадков по рядной схеме и для 5 насадков, устроенных в шахматном порядке.

3.5 Планирование эксперимента

Модель ПЭФ [82] представлена в виде матрицы (таблица 3.2). Математическая обработка экспериментальных данных выполнялась по 3 факторам:

давлению 0,2-0,3 МПа; расстоянию $\Delta = 0,01-0,045$ м при интервале варьирования 0,05м; угол конуса $\beta = 122^\circ, 90^\circ$ и 60° .

Таблица 3.2 - Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X_1	X_2	X_3	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Диаметр факела	
1	97	90	0,010	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,1592	ФЭП
2	97	60	0,025	-	+	+	-	-	+	+	+	+	0,1935	
3	217	60	0,010	+	-	+	-	+	-	+	+	+	0,5702	
4	337	60	0,025	-	-	+	+	-	-	+	+	+	0,6132	
5	217	60	0,040	+	+	-	+	-	-	+	+	+	0,3318	
6	97	120	0,025	-	+	-	-	+	-	+	+	+	0,3621	
7	337	120	0,025	+	-	-	-	-	-	+	+	+	0,3721	
8	217	90	0,025	-	-	-	+	+	+	+	+	+	0,4257	
9	97	90	0,040	+	0	0	0	0	0	+	0	0	0,1893	Звездные точки
10	337	90	0,010	-	0	0	0	0	0	+	0	0	0,5534	
11	217	90	0,025	0	+	0	0	0	0	0	+	0	0,2786	
12	217	90	0,025	0	-	0	0	0	0	0	+	0	0,5614	
13	217	120	0,040	0	0	+	0	0	0	0	0	+	0,3521	
14	337	90	0,040	0	0	-	0	0	0	0	0	+	0,3497	
15	217	120	0,010	0	0	-	0	0	0	0	0	-	0,3587	

При различных сочетаниях параметров опыта определялся диаметр факела гидравлического экрана, который находился в диапазоне (0,159-0,613) м.

Математическая анализ экспериментальных данных по первому фактору для оценки зависимости диаметра факела распыла от давления позволила получить уравнение регрессии:

$$Y = 57,7047 + 14,5147x_1 + 4,3423x_2 - 6,2822x_3 - 1,494x_1x_2 + 0,03887x_1x_3 - 0,04326x_2x_3 - 2,2842x_1^2 + 0,6168x_2^2 + 0,03764x_3^2, \quad (3.5)$$

где Y – диаметр факела распыла.

Формулы перевода действительных значений переменных в нормализованные:

$$x_1 = \frac{P-217}{0,45}, \quad x_2 = \frac{L-0,25}{0,5}, \quad x_3 = \frac{\angle-90}{31} \quad (3.6)$$

где P - давление, см; β - угол конуса, градусы.

Достоверность коэффициентов в уравнение регрессии проверялась по критерию Стьюдента, а само уравнение по критерию Фишера. Продифференцировав уравнения по каждой из переменных, и приравняв производные к

нулю получили систему линейных уравнений, решение которых дают координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,19478$; $x_2 = 1,1441$; $x_3 = 1,12635$.

Находится величина параметров оптимизации в центре поверхности отклика, который будет: $Y_s=58,1066033$, где Y_s – значение отклика в новом начале координат (свободный член канонического уравнения, в см).

Определяется угол поворота оси координат поверхности отклика (старых осей) до совмещения с главными осями фигуры. Угол α равен 12,22.

Уравнение регрессии в канонической форме будет иметь вид:

$$Y-58,1066033=0,2526*x_1^2 +0,5828*x_2^2 +2,438* x_3^2 \quad (3.7)$$

или

$$\frac{(x_1)^2}{\frac{Y-58,1066033}{0,2526}} + \frac{(x_2)^2}{\frac{Y-58,1066033}{0,5828}} + \frac{(x_3)^2}{\frac{Y-58,1066033}{2,438}}=1. \quad (3.8)$$

Поверхность отклика представляет гипербола.

Для более детального представления о поверхности отклика она изучается с помощью двумерных сечений. Рассмотрим сечение плоскостью X_1SX_2
 $Y_{12}=50,68245-14,5584x_1-4,3374x_2 - 1.494x_1x_2 - 2.2842x_1^2 + 0.6168x_2^2$ (3.9)
 где Y_{12} – длина факела распыла, при взаимодействии 1 и 2 фактора, 3-й фактор центральный

Выполняя канонические преобразования, и решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1=0,1947; x_2=1,4411$$

Подставляя найденные параметры в уравнение (3.9), определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_3=1,2635$:

$$Y_{S12}=42,3771$$

Угол поворота осей α равен 40,2934 градуса, а коэффициенты регрессии в канонической форме равны $B_{11}=-0,2455$; $B_{22}=-0,9455$.

Уравнение регрессии в канонической форме:

$$Y_{12}-42,3771=-0,2455x_1^2+0,9455x_2^2. \quad (3.10)$$

Поверхность отклика представляет собой гиперboloид, её центр мини-макс поскольку коэффициенты канонического уравнения имеют разные знаки (рисунки 3.7 и 3.8).

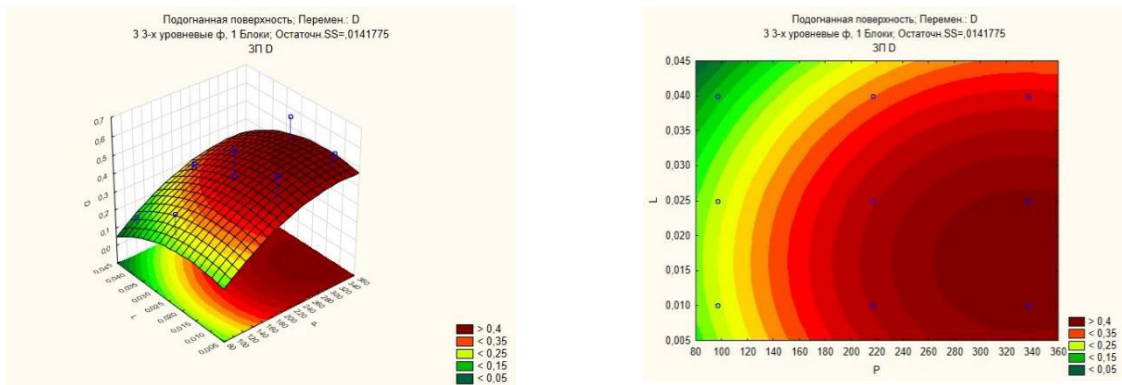


Рисунок 3.8 – Поверхность, описываемая уравнением регрессии в сечении X_1SX_2

Анализируем двухмерное сечение видно, что поверхность отклика представляет собой эллипсоид, а ее центр – экстремум (максимум), т.к. коэффициенты канонического уравнения имеют отрицательные знаки.

Далее рассмотрим сечение поверхности отклика X_1SX_3 . Для этого в исходное уравнение (3.5) подставим $x_2=1,4411$:

$$Y_{13}=59,74009+13,8557x_1-6,30128x_3+0,0389x_1x_3-2,8842x_1^2+0,03764x_3^2 \quad (3.11)$$

Выполнив канонические преобразования и решая систему линейных уравнений, находим координаты центра отклика:

$$x_1=-0,1947, x_3=1,2635.$$

Подставляя найденные значения в уравнение (3.11), определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика, когда $x_2=1,4411$.

$$Y_{13}=57,685.$$

Угол поворота осей α равен $6,07^\circ$, так как уравнение не имеет парных взаимодействий, а коэффициент регрессии в канонической форме равен: $B_{11}=0,2819$; $B_{33}=-2,3319$.

Уравнение регрессии в канонической форме:

$$Y_{13}-57,685=0,2819x_1^2-2,3319x_3^2. \quad (3.12)$$

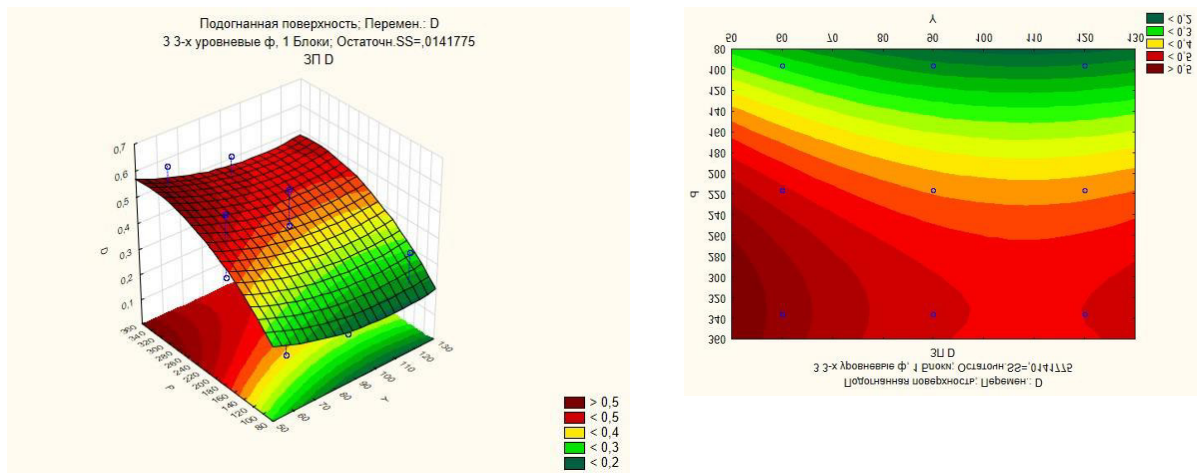


Рисунок 3.9 – Поверхность, описываемая уравнением регрессии в сечении X_1SX_3

Поверхность отклика представляет собой гиперболоид, а ее центр минимакс, поскольку коэффициенты канонического уравнения имеют разные знаки. Анализируя двухмерное сечение рисунок (3.9) видим, что значительное изменения происходят от давления т.к. гиперболы вытянутый по той оси, которой соответствует меньшее по абсолютной величине значение коэффициента в каноническом уравнении.

Рассмотрим сечение поверхности отклика X_2SX_3 . Для этого в исходное уравнение (3.5) подставим $x_1=0,1947$, тогда уравнение принимает вид:

$$Y_{23}=60,444+4,6332x_2-6,2752x_3-0,0432x_2x_3 + 0.6168x_2^2 + 0.03764x_3^2.(3.13)$$

Выполнив канонические преобразования и решая систему линейных уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_2 = 1,4411, \quad x_3 = 1,2635.$$

Подставляя найденные значение в уравнение (3.13) определяем значение параметра оптимизации в центре поверхности от века, когда $x_1=0,1947$:

$$Y_{S12}=60,4534.$$

Угол поворота осей α равен $6,07^\circ$, тогда коэффициенты в канонической форме будут: $B_{22}=0,5828$; $B_{33}=-2,438$.

Уравнение регрессии канонической формы примет вид:

$$Y_{12} - 60,0034 = 0,5828x_2 - 2,438x_3.$$

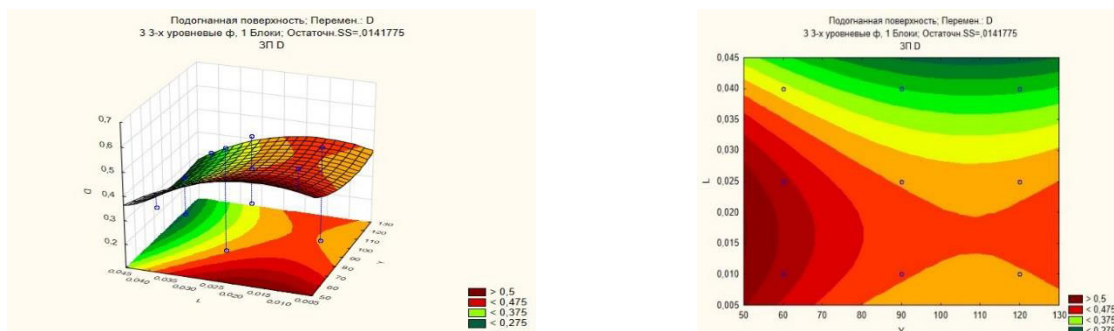


Рисунок 3.10 – Поверхность, описываемая уравнением регрессии в сечении X_2SX_3

Анализируя двумерное сечения поверхности (рисунок 3.10) видим, что на диаметр распыла более влияет расстояние конуса до насадки, чем угол конуса, т.к. поверхность отклика — гиперболоид, а её центр минимакс, поскольку коэффициенты имеют разные знаки. Гиперболы вытянуты по той оси, которой соответствует меньшее по абсолютной величине значение коэффициента в каноническом уравнении.

Для определения наиболее значимого фактора построим карту Парето, по которой определим наиболее значимый фактор влияния на отклик. На рисунке 3.11 приведена карта Парето.

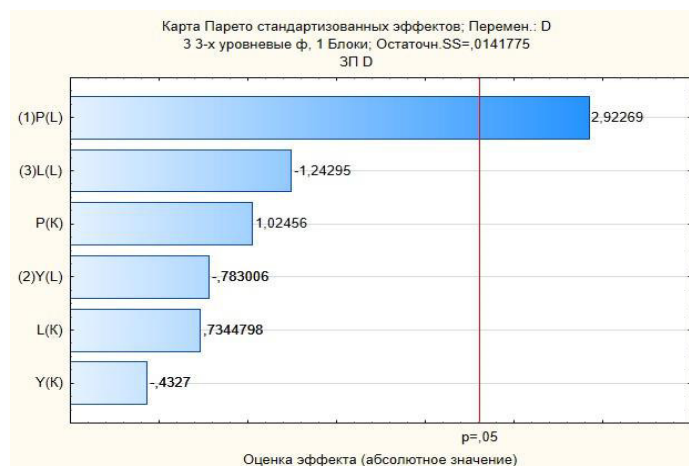


Рисунок 3.11 – Диаграмма Парето

Из диаграммы Парето (рисунок 3.7) – это будет фактор давления, который оказывает наибольшее влияние P (Δ) на формирование геометрических параметров гидравлического экрана за счет струеформирующих параметров.

По данным расчета критических значений [82] в таблице 3.3 приводится диапазон параметров для исследования мобильного рыбозащитного устройства, который необходимо создать для выполнения эксперимента, чтобы получить максимальную эффективность рыбозащиты на мелиоративном водозаборном сооружении.

Таблица 3.3 – Оптимальные значения конструктивных параметров МРЗУ для мелиоративного водозаборного сооружения

Диапазон давления в МРЗУ P , МПа	0,20-0,34
Угол конуса, который формирует гидравлический, град	110-125
Расстояние между насадкой и конусом, ΔL (м)	0,025-0,03

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНОГО РЫБОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА

4.1 Исследование формирования объемного противотока

Вода под давлением 0,09-0,35 МПа подаётся центробежным насосом в коллектор. Интервал давления принимается принимался 0,04 МПа. Необходимо было установить влияние давления в коллекторе при истечении воды из насадки на форму гидравлического экрана противотока в потоке мелиоративного водозабора, создаваемого потокоформирующими устройствами.

В таблице 4.1 представлены результаты исследования противотока для насадки диаметром $d_n = 0,0034$ м, $\Delta = 0,045$ м и углом конуса $\beta = 122^\circ$ в зависимости от давления в коллекторе.

Таблица 4.1 – Формирование противотока для насадки $d_n = 0,0034$ м и конуса $\beta = 122^\circ$ в зависимости от давления в коллекторе при $\Delta = 0,045$ м

l_0 , м	P , МПа	Q , м ³ /с	Расстояние, м		Диаметр, м		μ	V_0 , м/с	Re 10^4
			l_1	l_2	D_1	D_2			
0,045	0,112	0,000121	0,1	0,2	0,222	0,513	0,891	13,341	4,536
	0,169	0,000148			0,245	0,533	0,887	16,318	5,548
	0,212	0,000162			0,260	0,561	0,867	17,861	6,073
	0,282	0,000184			0,273	0,573	0,854	20,287	6,897
	0,322	0,000191			0,289	0,588	0,830	21,058	7,160

Установлено, что давление оказывает влияние на формирование противотока (гидравлического экрана), чем выше давление, тем размеры факела и его диаметр больше. При увеличении давления от 0,112 до 0,322 МПа (таблица 4.1) диаметр гидравлического экрана увеличиваются от 0,513 м до 0,588 на расстоянии 0,2 м, при этом скорости истечения из насадки возрастают с 13,34 до 21,05 м/с.

Противоток формируется после конуса на расстоянии 0,2 м и полностью занимает поперечное сечение водоприёмного окна водозабора. Форма гидравлического экрана является продолжением формы конуса с $\beta = 122^\circ$.

Исследования показывают, что при истечении из насадки $d_n = 0,0034$ м в центр конуса при $\beta = 122^\circ$ формируется противоток из множества плоских струек за конусом, рисунок 4.1.

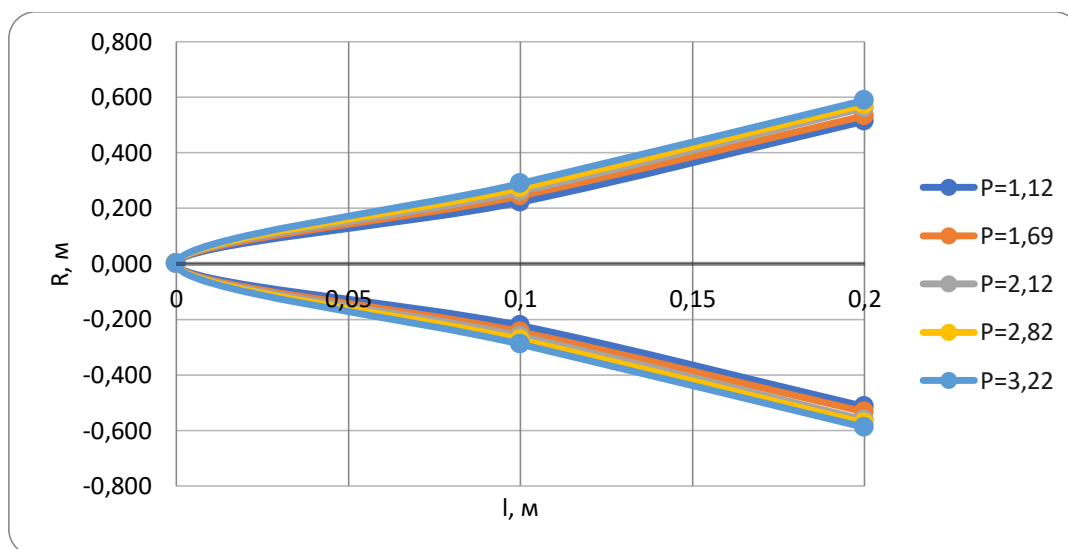


Рисунок 4.1 – Формирование объемного противотока в зависимости от расстояния l при постоянных параметрах ($d_n = 0,0034$ м, $\beta = 122^\circ$, $\Delta = 0,045$ м) давления

Установлено, что давление оказывает влияние на формирование противотока, чем выше давление, тем размеры гидравлического экрана и его диаметр больше. 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 $\beta = 122^\circ$, $\Delta = 0,045$ м и $P = 0,282$ МПа получена зависимость изменения диаметра струйных плоских течений противотока по длине факела, где вершина гидравлического экрана находится в центре конуса. (рисунок 4.1). При изменении давления в диапазоне 0,112-0,322 МПа форма факела остаётся постоянной, повторяя форму конуса.

Проводилось исследование, как повлияет параметр Δ на формирование противотока. При уменьшении расстояния до $\Delta=0,04$ м ($d_n=0,0034$ м, $\Delta = 0,04$ м и $\beta =122^0$) получены аналогичные результаты, которые даны в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Формирование противотока для насадки $d_n=0,0034$ м и конуса $\beta =122^0$ в зависимости от давления в коллекторе при $\Delta= 0,04$ м

l_0 , м	P , МПа	Q , м ³ /с	Расстояние, м		Диаметр, м			μ	V_0 , м/с	Re 10 ⁴
			l_1	l_2	D_1	D_2	D_3			
0,04	0,122	0,000127	0,1	0,2	0,232	0,514	-	0,896	14,002	4,761
	0,172	0,000149			0,265	0,543	-	0,886	16,428	5,585
	0,223	0,000168			0,270	0,569	-	0,877	18,523	6,298
	0,279	0,000176			0,283	0,574	-	0,821	19,405	6,598
	0,317	0,000186			0,280	0,528	-	0,814	20,507	6,972

Давление изменялось от 0,122 до 0,317 МПа. По длине противотока с повышением давления увеличивается его диаметр, чем больше давление, тем размеры факела в диаметре больше. Опытные показывают, что формирование гидравлического экрана алогично предыдущему опыту при $\Delta = 0,045$ м. При изменении давления в диапазоне 0,112-0,322 МПа форма факела остаётся постоянной, повторяя форму конуса $\beta =122^0$. Графически опытные данные для $\Delta=0,04$ м представлены на рисунке 4.2.

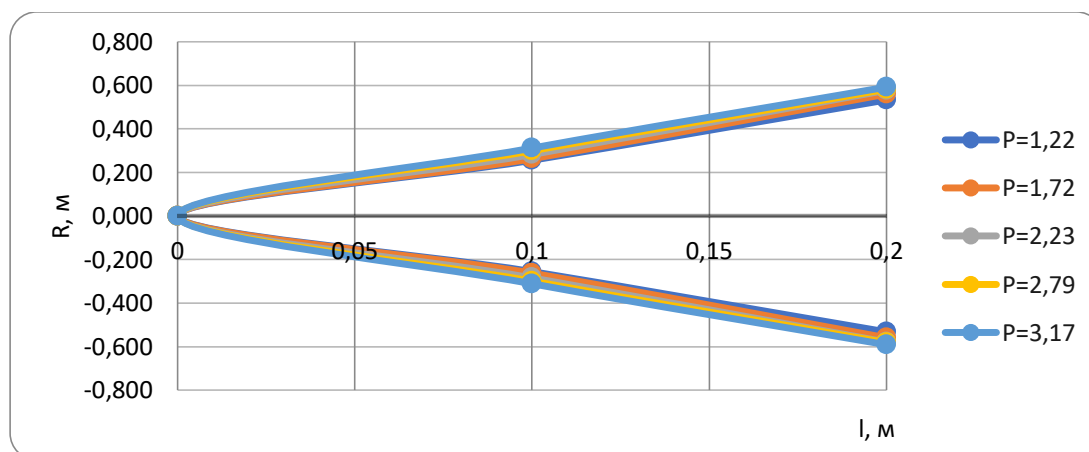


Рисунок 4.2 – Формирование объемного противотока в зависимости от расстояния l при постоянных параметрах (d_n 0,0034 м, $\beta = 122^0$, $\Delta = 0,040$ м) давления

При уменьшении расстояния от насадки до конуса 0,04 м размеры гидравлического экрана практически не меняются. Исследования показывают, что при формировании объёмного противотока наблюдаются плоские струйные течения, которые перекрывают сечение водоприёмного окна водозабора.

Расстояние от насадки до конуса на 0,03 м. Исследование выполняли при постоянных параметрах, что для $\Delta = 0,04$ м и 0,045 м. Угол конуса был $\beta = 122^\circ$, диаметр насадки $d_n = 0,0034$ м. Результаты приводятся в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Формирование противотока для насадки $d_n = 0,0034$ м и конуса $\beta = 122^\circ$ в зависимости от давления в коллекторе при $\Delta = 0,03$ м

Δ , м	P , МПа	q_n , м ³ /с	Расстояние, м			Диаметр, м			μ	v_n , м/с	Re 10 ⁴
			l_1	l_2	l_3	D_1	D_2	D_3			
0,03	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

Установлено, что давление в коллекторе также оказывает наибольшее влияние на формирование гидравлического экрана, чем насадки, расположенные на расстоянии $\Delta = 0,04$ м и 0,045 м от конуса. Диаметры факела противотока на одних и тех же расстояниях практически в 2 раза больше и равны 0,6842 м и 1,2264 м на расстояниях 0,1 м и 0,2 м от конуса при $P = 0,321$ МПа.

По результатам опытов получен график противотока при $\Delta = 0,03$ (рисунок 4.3).

Противоток формируется после конуса на расстоянии 0,2 м и занимает поперечное сечение окна водозабора. Форма гидравлического экрана противотока является продолжением конуса $\beta = 122^\circ$. Наблюдается равномерное распределение плоских течений на расстоянии 0,2 м, которое обуславливается истечением струи из насадки, которая направляется в центр конуса. После расстояния 0,2 м струи гидравлического экрана приобретают хаотичное движение и занимают все сечение водозабора.

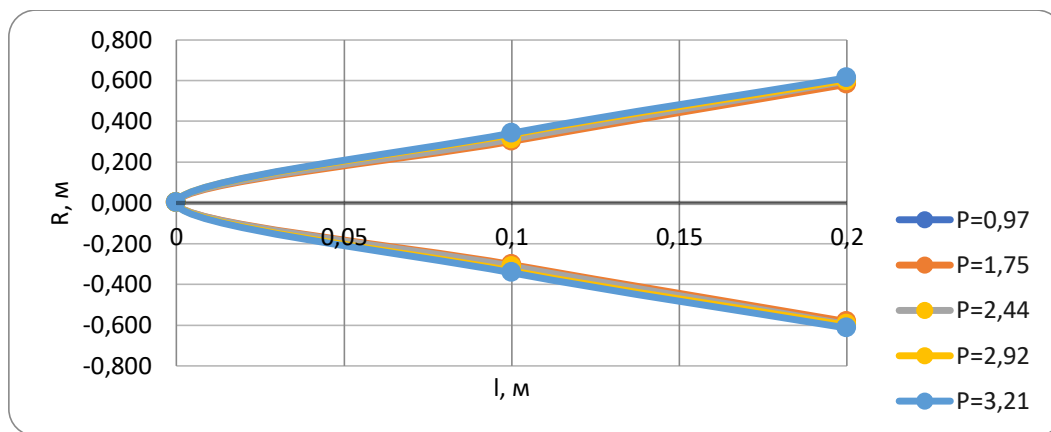


Рисунок 4.3 – Формирование объемного противотока в зависимости от расстояния l при постоянных параметрах ($d_n = 0,0034$ м, $\beta = 122^\circ$, $\Delta = 0,030$ м) давления

При постоянных параметрах истечения $d_n = 0,0034$ м, угле конусности $\beta = 122^\circ$, $\Delta = 0,03$ м получена зависимость диаметра струйных плоских течений противотока по длине, где вершина факела находится в центре конуса.

Коэффициент расхода описывается кривой, которая аналогична для всех Δ в диапазоне 0,03-0,045 м. На рисунке 4.4 проводится график для $\mu = f(Re)$.

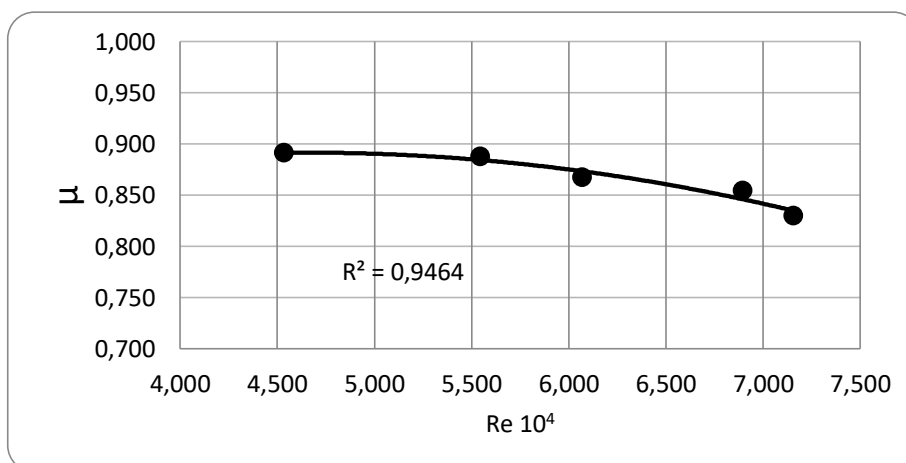


Рисунок 4.4 – Зависимость коэффициента расхода μ от числа Рейнольдса для насадки $d_n = 0,0034$ м при истечении в центр тарелки $\beta = 122^\circ$

Коэффициент расхода конического насадка изменяется от 0,89 до 0,82 и является новым параметром при истечении струи из насадки в центр конуса при

$\beta = 122^\circ$. Зависимости коэффициента расхода от числа Рейнольдса для $\Delta = 0,03-0,045$ м описывается эмпирической формулой:

$$\mu = -0,9 \cdot 10^2 Re + 0,0843 Re + 0,695. \quad (4.1)$$

Зависимость (4.1) 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 МРЗУ.

Выполнены исследования по формированию гидравлического экрана с углами конуса $\beta = 60^\circ$ и 110° . Результаты показывают, что объёмные противотоки имеют меньшие диаметры практически в 1,5-2 раза. Диаметры гидравлических экранов по длине потока мелиоративного водозабора увеличиваются, но незначительно (рисунки 4.5 и 4.6).

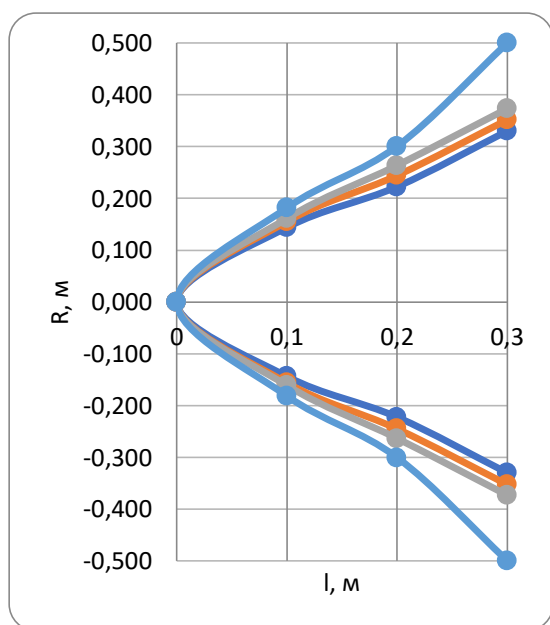


Рисунок 4.5 - Зависимость радиуса факела гидравлического экрана от расстояния установки конуса (угол конуса 110° ; $d_n=0,0034$; при $\Delta = 0,03$ м)

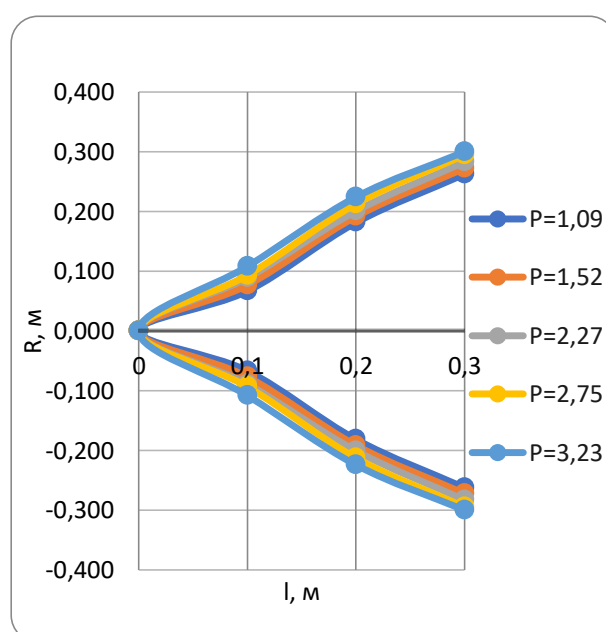


Рисунок 4.6 - Зависимость радиуса факела гидравлического экрана от расстояния установки конуса (угол конуса 60° ; $d_n=0,0034$; при $\Delta = 0,03$ м)

Как видно графиков (рисунки 4.5-4.6), на размеры факела при истечении из насадки диаметром 0,0034 м наибольшее влияние оказывает давление в коллекторе и угол конуса, что наглядно показывают графики.

Следовательно, потокообразователь со струеформирующим устройством конуса $\beta = 122^\circ$ и конически сходящимся насадком 0,034 мм, расположенными на расстоянии друг от друга $L = 0,03$ м будем считать наилучшими технологическими параметрами для мобильного рыбозащитного устройства, который будет использован в дальнейших исследованиях.

Исследовалось формирование объёмного противотока для конуса $\beta = 60^\circ$; 110° и 122° ; расстояния установки насадки до конуса 0,045; 0,04; 0,035; 0,03; 0,025; 0,02; 0,015 м и насадки $d_n = 5$ м. Приводятся результаты исследования только для конуса 122° и $L = 0,03$ м. Результаты опытов даны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Формирование противотока для насадки $d_n=5$ мм, конуса $\beta = 122^\circ$ в зависимости от давления в коллекторе при $L = 0,03$ м

L _о , м	P, МПа	q _н , м ³ /с	Расстояние, м			Диаметр, м			μ	v _н , м/с	Re
			L ₁	L ₂	L ₃	D ₁	D ₂	D ₃			
0,03	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 при увеличении давления от 0,069 до 0,287 МПа (таблица 4.4) скорости истечения из насадки возрастают с 11,735 до 18,878 м/с, коэффициент расхода снижается с 0,999 до 0,788 при увеличении числа Рейнольдса от $5,867 \cdot 10^4$ до $9,439 \cdot 10^4$. Данная закономерность характерна для конически сходящегося насадка с углом конусности 13° . Давление оказывает влияние на формирование противотока, чем больше давление, тем размеры гидравлического экрана в диаметре также больше. На графике (рисунок 4.7) приводятся результаты формирования противотока при истечении из насадки диаметром 0,05 м.

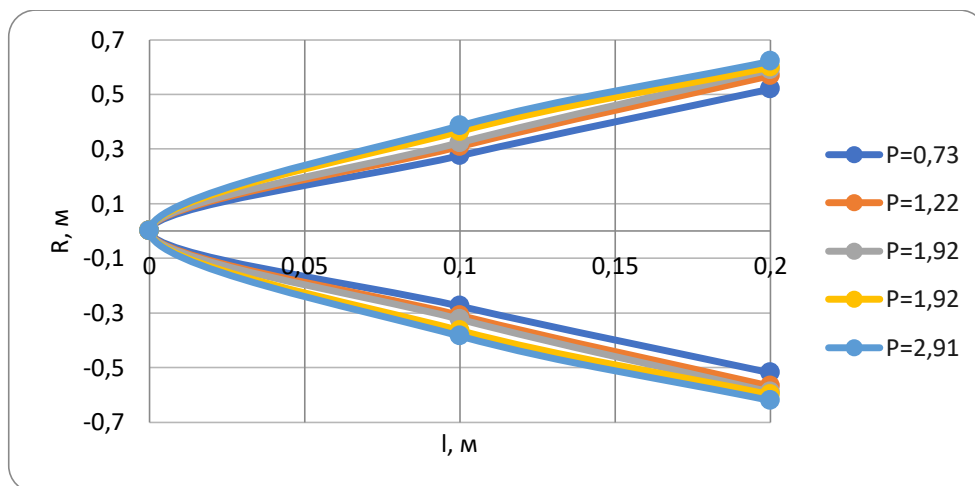


Рисунок 4.7 – Формирование объемного противотока в зависимости от расстояния l при постоянных параметрах (d_n 0,0034 м, $\beta = 122^0$, $\Delta = 0,030$ м) давления

Из опытных данных установлено, что при увеличении давления от 0,069 до 0,287 МПа диаметры факела увеличиваются с 1,0372 м до 1,242 м на расстоянии 0,2 м, при этом скорости истечения из насадки возрастают с 11,73 до 18,87 м/с. Противоток формируется после конуса на расстоянии 0,2 м и далее хаотично, занимает поперечное сечение окна мелиоративного водозабора. Форма гидравлического экрана является продолжением конуса $\beta = 122^0$. Расход истечения из насадки $d_n = 5$ мм увеличивается с 0,23 л/с до 0,37 л/с при изменении давления в коллекторе от 0,069 до 0,287 МПа, соответственно. С увеличением давления в коллекторе до 0,29 МПа размеры факела в диаметре достигают 1,242 м, что больше размера водоприёмного окна. При уменьшении давления до 0,073 МПа в коллекторе кривые на графике практически не меняются. Аналогичные кривые противотока были получены для остальных параметров, которые приводятся вначале постановки опытов.

Получен обобщённый график для коэффициента расхода насадки диаметром 0,005 м и конуса 122^0 в зависимости от числа Рейнольдса для различных параметров Δ . Параметр Δ находится в диапазоне 0,015-0,045 м (рисунок 4.8).

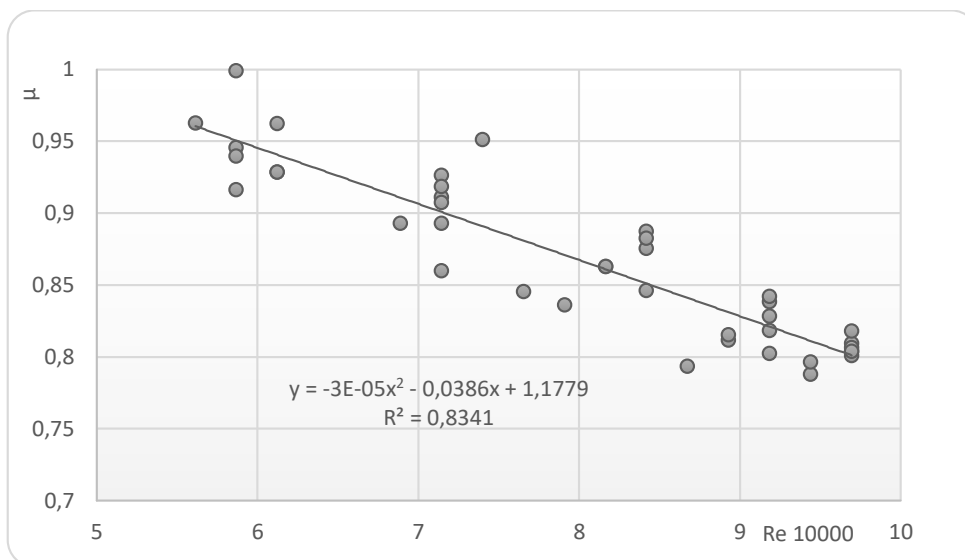


Рисунок 4.8 – Зависимость коэффициента расхода μ от числа Рейнольдса ($\beta = 122^\circ$; $d_n = 0,005\text{ м}$)

Обобщённый график (рисунок 4.8) показывает о наличии связи коэффициента расхода от числа Рейнольдса (скорости истечения). На истечение оказывает влияние расстояние от насадки до конуса. Максимальный коэффициент расхода получается при $\Delta = 0,03$ м для постоянных давлений в коллекторе. Аналогичные графики получены для насадки диаметром 3,4 мм.

4.2 Обоснование количества потокоформирующих элементов мобильного рыбозащитного устройства

Решим уравнение (2.23) относительно параметра Nc , при котором будет выполняться условие равновесия между противотоком и потоком водозабора:

$$Nc = a Q v / A q_n v_n \quad , \quad (4.2)$$

где a – коэффициент Кориолиса; Q – расход водозабора, $\text{м}^3/\text{с}$.

Из насадки струя, направленная в центр конуса, растекаясь по нему создаёт объёмные противотоки. Плоские струи противотоков, направленные против течения водозабора создают сопротивления гидробионтам. Струи при истечении из насадки имеют скорости 12-21 м/с (таблицы 4.1- 4.3) и являются критически

для гидробионтов. Для создания противотоков со скоростями меньше критических будем применять конусы 60° ; 110° и 122° .

Расход мелиоративного водозабора во время опытов поддерживался постоянным $0,0403 \text{ м}^3/\text{с}$, а расход из насадки диаметром 5 мм изменялся от $0,23\text{-}0,37 \text{ л/с}$ при давлении в коллекторе $0,1\text{-}0,3 \text{ МПа}$ и параметрах конуса $\beta = 122^{\circ}$; $\Delta = 0,03 \text{ м}$. Расход насадки диаметром 3,4 мм изменялся от $0,113\text{-}0,189 \text{ л/с}$ при давлении $0,097\text{-}0,321 \text{ МПа}$ и параметрах конуса $\beta = 122^{\circ}$; $\Delta = 0,03 \text{ м}$.

Для определения скорости схода с конуса воспользуемся уравнением неразрывности для плоского потока, которое имеет вид:

$$\kappa_1 d_n^2 v_n = \pi D_K \delta v_l \quad (4.3)$$

где d_n – диаметр насадка, м; v_0 – скорость истечения из насадки, м/с; D_K – диаметр конуса, м; δ – толщина слоя воды на конусе, м; v_l – скорость схода плоского потока с конуса (скорость формирования объёмного противотока), м/с; $\kappa_1 = 0,785$.

Толщина слоя воды определяется шпигенмасштабом. В таблицах 4.5 и 4.6 приводятся данные по толщине слоя при сходе струи с конуса в зависимости от угла конуса при давлении в коллекторе $0,3 \text{ МПа}$.

Таблица 4.5 – Толщина слоя для насадки 3,4 мм

Опыт	Конус 60° , слой воды, мм	Конус 110° , толщина слоя воды, мм	Конус 122° , толщина слоя воды, мм
Среднее значение, мм	0,252	0,32	0,454
среднеквадратичное отклонение	0,00242	0,00233	0,00223

Таблица 4.6 – Толщина слоя для насадки 5 мм

Опыт	Конус 60° , слой воды, мм	Конус 110° , слой воды, мм	Конус 122° , слой воды, мм
Среднее значение, мм	0,39	0,54	0,69
Среднеквадратичное отклонение	0,00053	0,00645	0,01363

Установлено при постоянном давлении в коллекторе 0,3 МПа с увеличением угла конуса толщина слоя возрастает. Так при угле конуса 60° средняя толщина слоя составляла 0,252 мм, которая увеличивалась до 0,454 мм для угла конуса 122° и насадки $d_n=3,4$ мм. Аналогично получено, что для насадки 5 мм и угла конуса 60° средняя толщина слоя с 0,40 мм увеличивалась до 0,694 мм при угле конуса 122° . Толщина слоя была измерена в 5-ти кратной повторности, т.к. при сходе струи с конуса наблюдается пульсация скоростей. Для исследования скорости схода с конуса применялось уравнение неразрывности потока [34]:

$$v_l = \omega_0 v_n / \pi D_k \delta, \quad (4.4)$$

где D_k - диаметр конуса найдём, как: $D_k = 2 l_k \operatorname{tg} \beta$.

На рисунке 4.9 дана зависимость скорости схода с конуса от давления для насадок диаметрами 3,4 мм и 5 мм.

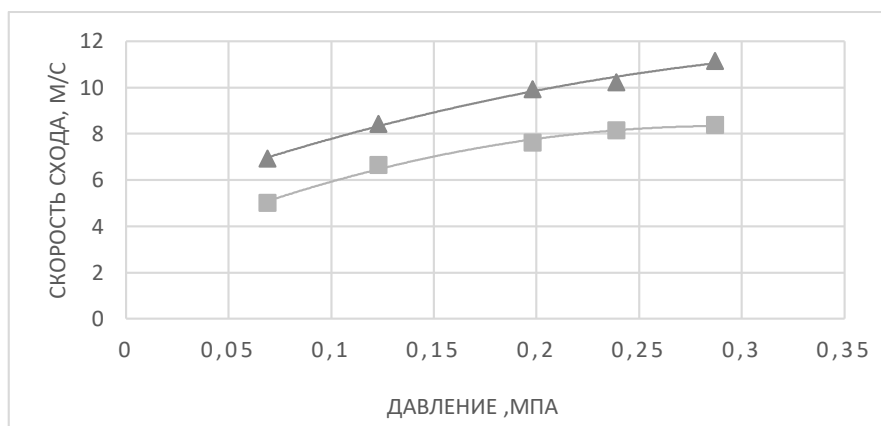


Рисунок 4.9 – Зависимость скорости схода с конуса 122° от давления для диаметра насадка 3,4 мм и 5 мм

Скорость схода находится в допустимых значениях, которые не превышают критические скорости для молоди рыб для насадков 3,4 и 5 мм и конуса 122° . Определим скорость схода потока с конуса для конического насадка диаметром 3,4 мм при угле 60° и толщине слоя 0,252 мм: $P_{max} = 0,321$ МПа: $v_l = 12,97$ м/с; $P = 0,244$ МПа: $v_l = 11,80$ м/с; $P_{min} = 0,175$ МПа: $v_l = 10,29$ м/с. Скорость схода для конуса 60° находится в диапазоне (10,29 – 12,97) м/с, что выше

критических. Для уменьшения скорости схода нужно увеличить основание конуса за счёт его длины.

Количество насадков принимаются из уравнения (2.23), в которое входит безразмерный коэффициент А:

$$A = \varepsilon d_n / \Delta - d_n^2 \cos \beta_1 / 4 D_k \delta_k. \quad (4.5)$$

Исследуем коэффициент А. Установим параметры, входящие в уравнение (4.5). Принимаем $\varepsilon = 6$, диаметр насадки 0,005 м (5 мм); $\Delta = 0,03$ м; $\cos \beta_1 = 122^0$; $D_k = 0,0104$ м; толщина слоя 0,000454 м. Для определения количества насадков используются таблицы 4.5–4.6.

$$A = 6 \cdot 0,005 / 0,03 - 0,000025 \cdot 0,484 / 4 \cdot 0,0184 \cdot 0,000454 = 1 - 0,362 = 0,638.$$

$$N_c = 1,1 \cdot 0,0403 \cdot 0,2 / 0,638 \cdot 18,877 \cdot 0,00037 = 1,98 \text{ шт.}$$

$$N_c = 1,1 \cdot 0,0403 \cdot 0,2 / 0,638 \cdot 16,837 \cdot 0,00033 = 2,50 \text{ шт.}$$

$$N_c = 1,1 \cdot 0,0403 \cdot 0,2 / 0,638 \cdot 14,286 \cdot 0,00028 = 2,60 \text{ шт.}$$

Полученное количество насадков не обеспечивает необходимую плотность экрана. В формуле (4.5) принимаем $\varepsilon = 4$. Для насадки 5 мм, расхода 0,00037 л/с и $P=0,287$ МПа, получаем $N_c = 4,15$ шт.

Для исследования гидравлического экрана принимаем линейную схему с 4-мя насадками и шахматную схему с 5-ю насадками, которые полностью обеспечивают перекрытие водозаборного окна мелиоративного водозабора.

Для насадки диаметром 0,0034 м установим параметры, входящие в уравнение (4.5). Принимаем $\varepsilon = 4$, диаметр насадки 0,0034 м; $\Delta = 0,03$ м; $\cos \beta_1 = 122^0$; $D_k = 0,0104$ м; толщина слоя 0,000254 м (таблица 4.5).

Воспользуемся данными таблицы 4.6.

$$A = 4 \cdot 0,0034 / 0,03 - 0,000012 \cdot 0,484 / 4 \cdot 0,0184 \cdot 0,00069 = 0,454 - 0,114 = 0,34. N_c = 1,1 \cdot 0,0403 \cdot 0,2 / 0,34 \cdot 21,058 \cdot 0,000191 = 3,34 \text{ шт.}$$

Для исследования противотока так же, как и для насадки 5 мм принимаем линейную схему с 4-мя насадками и шахматную схему с 5-ю насадками.

4.3 Исследование эффективности мобильного рыбозащитного устройства

Серия 1. В опытах последовательно устанавливались углы наклона потокообразователя 90° ; 80° ; 70° ; 60° , установка потокоформирующих элементов была принята по шахматной схеме с 5 насадками конусом $\beta = 122^{\circ}$. Скорость подхода к окну водозабору $0,1$ м/с.

Эффективность мобильного РЗУ определялся по формуле (3.2). Исследовались 3 группы имитаторов (4-6 группы, в каждой группе по 20 шт. имитаторов). Результаты опытов приведены в таблице 4.7-4.10 для угла конуса 122° и насадки $d_n = 3,4$ мм

Таблица 4.7 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 90°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	K_{ef} , %
90	0,103	60	2	4	2	8	86,6
	0,179		2	5	2	9	85,0
	0,223		1	4	1	6	90,0
	0,274		1	3	1	5	91,6
	0,301		0	3	1	4	93,3

N_0 -количество имитаторов, прошедших потокообразователь

Таблица 4.8 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 80°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	K_{ef} , %
80	0,990	60	1	3	2	6	90,0
	0,168		1	2	3	6	90,0
	0,221		0	1	1	2	96,6
	0,292		0	1	0	1	98,3
	0,321		0	0	0	0	100

Таблица 4.9 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 70°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	K_{ef} , %
70	0,098	60	0	2	3	5	91,6
	0,171		0	1	2	3	95,0
	0,223		0	0	0	0	100
	0,289		0	0	0	0	100
	0,322		0	0	0	0	100

Таблица 4.10 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 60°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	K_{ef} , %
60	0,099	60	1	3	3	7	88,3
	0,126		1	2	4	7	88,3
	0,189		1	2	1	4	93,3
	0,221		0	1	0	1	98,3
	0,298		0	0	0	0	100

Установлено, что уменьшении угла наклона потокообразователя с 90° до 70° при скорости 0,1 м/с происходит увеличение эффективности защиты гидробионтов с 88,3 % до 100 %. При дальнейшем уменьшении угла потокообразователя до 60° снижается эффективность защиты гидробионтов до 88,3 %.

Следовательно, угол наклона МРЗУ влияние на эффективность мелиоративного водозабора при шахматной схеме с 5 насадками 3,4 мм. При угле наклона потокообразователя 70° получен максимальный экологический эффект 97,32 % при давлении в коллекторе от 0,098 до 0,322 МПа.

Серия 2. Определим эффективность водозабора для скорости подхода к окну водозабору 0,2 м/с, при угле конуса 122° и диаметре насадки 3,4 мм.

При снижении угла наклона с 90° до 80° происходит повышение эффективности МРЗУ. Эффективность возрастает 85 до 98,3 % при максимальном давлении перед насадками 0,302 МПа.

Таблица 4.11 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 90°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
90	0,121	60	4	7	8	19	68,3
	0,192		3	5	7	15	75,0
	0,225		3	4	6	13	78,3
	0,288		2	3	5	10	83,3
	0,302		1	4	4	9	85,0

Таблица 4.12 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 80°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
80	0,118	60	2	5	5	12	80,0
	0,191		1	4	4	9	85,0
	0,225		1	3	4	8	86,6
	0,287		1	1	3	5	91,6
	0,302		0	0	1	1	98,3

Сравним опыты для угла потокообразователя 70° (таблица 4.9) с результатами опытов для того же угла 70° при скорости подхода 0,2 м/с к водозаборному окну (таблица 4.13).

Таблица 4.13 - Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 70°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
70	0,099	60	1	1	3	4	93,3
	0,175		1	0	1	2	96,6
	0,223		0	0	1	1	98,3
	0,289		0	0	0	0	100
	0,321		0	0	0	0	100

При увеличении скорости до 0,2 м/с к потокообразователю и давления в коллекторе с 0,099 до 0,321 МПа получается средняя эффективность, которая достигает 97,6 %.

При дальнейшем уменьшении угла наклона потокообразователя эффективность рыбозащиты снижается, из-за наклона плоских течений противотока, которые на наш взгляд прижимаются ко дну (таблица 4.14).

Таблица 4.14 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле потокообразователя 60°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
60	0,121	60	1	3	3	7	88,3
	0,189		1	2	2	5	91,6
	0,221		1	2	2	5	91,6
	0,291		1	1	1	3	95,0
	0,321		0	0	1	1	98,3

При угле наклона потокообразователя 60° происходит снижение эффективности до 92,96 %.

Серия 3. На потокообразователе устанавливались 5 насадков $d_n = 5$ мм и угол конуса 122° по шахматной схеме, скорость подхода была постоянной 0,1 м/с во всех опытах. Результаты исследований даны в таблицах 4.14-4.17.

Таблица 4.14 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле потокообразователя наклона 90°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
90	0,103	60	3	4	3	10	83,3
	0,179		4	4	4	12	77,4
	0,223		2	3	3	8	86,6
	0,274		1	5	2	8	86,6
	0,301		3	5	3	8	86,6

Получено, что при угле потокообразователя 70° наблюдается максимальная эффективность мобильного рыбозащитного устройства, которая в среднем составляет 98,64 %.

Таблица 4.15 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 80°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
80	0,098	60	1	5	2	7	88,3
	0,157		0	4	2	6	90,0
	0,224		0	3	1	4	93,3
	0,288		0	1	0	1	98,3
	0,320		0	0	0	0	100

Таблица 4.16 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 70°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
70	0,103	60	0	1	0	1	98,3
	0,178		0	1	0	0	98,3
	0,221		0	1	0	1	98,3
	0,288		0	1	0	1	98,3
	0,321		0	0	0	0	100

Таблица 4.17 – Эффективность мобильного рыбозащитного устройства при угле наклона потокообразователя 60°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
60	0,103	60	0	3	1	4	93,3
	0,178		0	2	0	2	96,6
	0,221		0	1	0	1	98,3
	0,288		0	1	0	1	98,3
	0,321		0	1	0	1	98,3

Установлено, что при уменьшении угла наклона потокообразователя с 90° до 70° при скорости подхода к отверстию водозаборного окна 0,1 м/с происходит увеличение эффективности защиты гидробионтов. При уменьшении угла потокообразователя до 60° снижается эффективность экологической защиты гидробионтов до 93,3 %.

Серия 4. Скорость водозабора 0,2 м/с. На коллектор устанавливаются 5 шт. конических насадков диаметром 5 мм при угле конуса 122° по шахматной схеме. Угол наклона потокообразователя принимается дискретным: 60° ; 70° ; 80° и 90° . Результаты по эффективности мелиоративного водозабора приводятся в таблицах 4.18-4.21.

Таблица 4.18– Эффективность МРЗУ при угле потокообразователя 90°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
90	0,102	60	6	4	6	16	73,3
	0,157		5	3	5	13	78,3
	0,197		5	3	4	12	77,4
	0,254		6	2	3	11	81,6
	0,304		5	2	3	10	83,3

Таблица 4.19 – Эффективность при угле наклона потокообразователя 80°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
80	0,0121	60	1	6	5	12	77,4
	0,0191		1	5	4	10	83,3
	0,0225		1	4	3	8	86,6
	0,0288		0	4	3	7	88,3
	0,0321		0	3	1	4	93,3

Таблица 4.20 – Эффективность при угле наклона потокообразователя 70°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
70	0,097	60	0	1	3	4	93,3
	0,154		0	1	2	3	95,0
	0,201		0	1	1	2	96,6
	0,289		0	0	1	1	98,3
	0,321		0	0	2	2	96,6

Таблица 4.21 – Эффективность при угле наклона потокообразователя 60°

Угол, град	P , МПа	N_0 , шт.	N_4 , шт.	N_5 , шт.	N_6 , шт.	N , шт.	Эффективность, %
60	0,101	60	0	3	1	4	93,3
	0,173		0	3	1	4	93,3
	0,225		2	1	0	3	95,0
	0,278		0	1	1	2	96,6
	0,298		0	1	2	3	95,0

При угле наклона потокообразователя 70° получен максимальный эффект 98,3 % при давлении в коллекторе 0,289 МПа. Угол наклона потокообразователя мобильного рыбозащитного устройства оказывает наибольшее влияние на экологическую эффективность водозабора по шахматной схеме с 5-ю насадками $d_n=5$ мм. Аналогичные исследования выполнили с имитаторами 1-3 группы имитаторов, исследовалась экологическая эффективность мобильного рыбозащитного устройства.

4.4 Исследование влияния противотока на защиту гидробионтов

Противоток гидравлического экрана обеспечивает сопротивление продвижению имитаторов (гидробионтов) в потоке к водоприёмному окну водозабора. Влияние противотока выражается через расстояние L , где останавливаются имитаторы у окна мелиоративного водозабора.

В 1 серии опытов скорость потока водозабора была постоянной 0,1 м/с, во 2 серии – 0,2 м/с.

Серия 1. Исследовался противоток, создаваемый потокообразователем с 4 насадками и конусами, расположенными по рядной схеме. В таблицах 4.22-4.25 приводятся результаты опытов для $L = 0,03$ м для имитаторов 1-3 групп.

Таблица 4.22 – Потокообразователь под углом 90° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,098	0,27	4	1	0	5	91,6
0,142	0,28	3	3	0	6	96,6
0,133	0,31	2	0	0	2	96,6
0,231	0,42	0	2	0	2	96,6
0,258	0,44	0	0	0	0	100

Таблица 4.23 – Потокообразователь под углом 80° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность,%
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,099	0,39	3	3	0	6	90,0
0,132	0,41	3	3	0	6	90,0
0,184	0,44	1	0	0	1	98,3
0,221	0,52	0	0	0	0	100
0,259	0,54	0	0	0	0	100

Таблица 4.24– Потокообразователь под углом 70° с насадками $d_n=3,4$ мм

P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность,%
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,092	0,41	3	3	0	6	90,0
0,127	0,43	2	2	0	4	93,3
0,193	0,47	1	2	0	3	95,0
0,219	0,52	0	0	0	0	100
0,260	0,59	0	0	0	0	100

Таблица 4.25 – Потокообразователь под углом 60° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление P, бар	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,096	0,31	3	3	0	0,96	88,3
0,032	0,33	2	2	0	1,32	91,6
0,190	0,36	1	2	0	1,90	95,0
0,222	0,33	0	0	0	2,22	100
0,273	0,43	0	0	0	2,73	100

Наибольшая эффективность наблюдается для имитаторов 3 группы, у которых средний вес составляет 0,30-051 г. По весу имитаторов 3 группы определяется расстояние от водоприёмных окон до сечения, где энергия гидравлического экрана минимальна. Имитаторы 1 и 2-ой группы скапливаются у экрана и не преодолевают энергию противотока при давлениях более 0,231 МПа. Наилучший эффект наблюдается при угле наклона потокообразователя 70° к оси набегающего потока. Эффект достигает 100 %, при $P \geq 0,223$ МПа.

При давлении в коллекторе от 0,240 до 0,275 МПа расстояние от водозаборного окна до гидравлического экрана увеличивается на 0,14 м или 21,3 % при наклоне потокообразователя 70° . Струя истечения из насадки ударяет в цент конуса, где происходит растекание струи, где на расстоянии 0,67 м формируется гидравлический экран. Имитаторы не преодолевают гидравлический экран.

Следовательно, для защиты гидробионтов необходимо поддерживать давление в коллекторе 0,250-0,275 МПа при истечении из насадки диаметром 3,4 мм. Конус располагается на расстоянии от насадки 0,03 м.

Конструкция коллектора с 5-ю насадками по шахматной схеме: диаметр насадки 3,4 мм; конус 122° ; удаления конуса 0,03 м. Скорость потока водозабора 0,1 м/с. Результаты исследования представлены в таблицах 4.26-4.29.

Таблица 4.26 – Потокообразователь под углом 90° с насадкам $d_n=3,4$ мм

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,098	0,34	3	1	0	4	93,3
0,137	0,39	2	2	0	4	93,3
0,181	0,45	1	1	0	2	96,6
0,241	0,51	0	0	0	0	100
0,267	0,59	0	0	0	0	100

Таблица 4.27 – Потокообразователь под углом 80° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,088	0,39	2	2	0	4	93,3
0,121	0,45	1	1	0	2	96,6
0,189	0,50	0	0	0	0	100
0,241	0,57	0	0	0	0	100
0,269	0,61	0	0	0	0	100

Таблица 4.28 – Потокообразователь под углом 70° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,088	0,39	2	2	0	4	93,3
0,121	0,45	1	1	0	2	96,6
0,189	0,50	0	0	0	0	100
0,241	0,57	0	0	0	0	100
0,269	0,61	0	0	0	0	100

Таблица 4.29 – Потокообразователь под углом 60° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,085	0,42	2	2	0	4	93,3
0,139	0,46	1	2	0	3	95,0
0,196	0,51	0	1	0	1	98,3
0,224	0,58	0	0	0	0	100
0,271	0,61	0	0	0	0	100

Результаты опытов, представленные на графике 4.10 показывают о влиянии давления в коллекторе на расстояние, где задерживаются имитаторы 1-3 групп у потокообразователя при скорости потока водозабора 0,1 м/с.

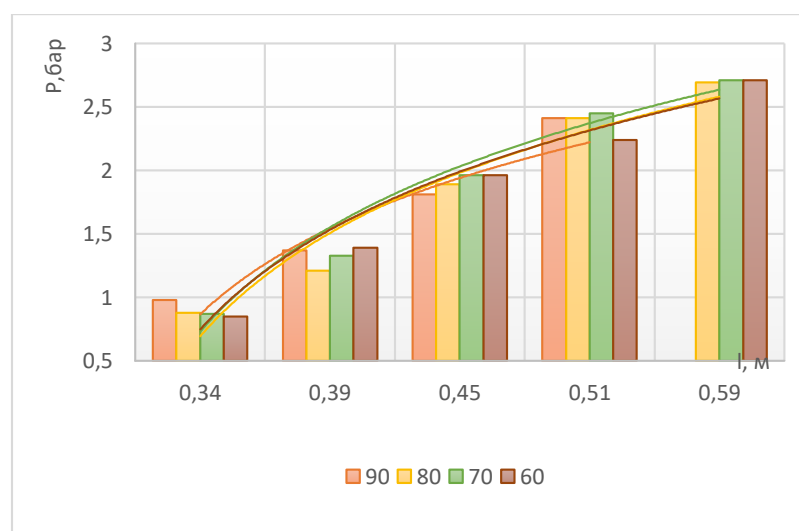


Рисунок 4.10 – Расстояние, на котором задерживаются имитаторы у водоприёмного окна в зависимости от давления в коллекторе (0,1 м/с и $\Delta = 0,03$ м)

Следовательно, давление в коллекторе должно быть не менее 0,223 МПа. При этом расстояние составляет 0,59 м. Положение гидравлического экрана у водозабора можно описать эмпирическим выражением:

$$L = - 0,0386 p^2 + 0,711p + 0,154, \quad (4.6)$$

где L – расстояние от водоприёмного окна до экрана, м; p – давление в МПа.

Серия 2. Конструкция потокообразователя с 5-ю насадками диаметром 3,4 мм, конусами 122°. Расстояние установки от конуса до насадки 0,03 м. Скорость потока водозабора 0,2 м/с.

В таблицах 4.30-4.31 приводятся результаты по эффективности МРЗУ и расстоянию, где скапливаются имитаторы.

Таблица 4.30– Потокообразователь под углом 70° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление Р, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,091	0,31	3	2	0	5	91,6
0,132	0,39	2	1	0	3	95,0
0,181	0,42	1	1	0	2	96,6
0,246	0,48	0	0	0	0	100
0,261	0,52	0	0	0	0	100

Таблица 4.31 – Потокообразователь под углом 90° с насадками $d_n=3,4$ мм

Давление Р, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,092	0,19	4	3	0	7	88,3
0,122	0,26	3	2	0	5	91,6
0,187	0,31	2	1	0	3	95,0
0,223	0,37	1	0	0	1	96,5
0,252	0,41	0	0	0	0	100

Результаты опытов, подтверждаются данными таблицы 4.28 при скорости 0,2 м/с, где эффективность достигается 100 % при $P \geq 0,223$ МПа для угла 70° . На рисунке 4.11 даются данные по расстоянию экрана до водоприемного окна.

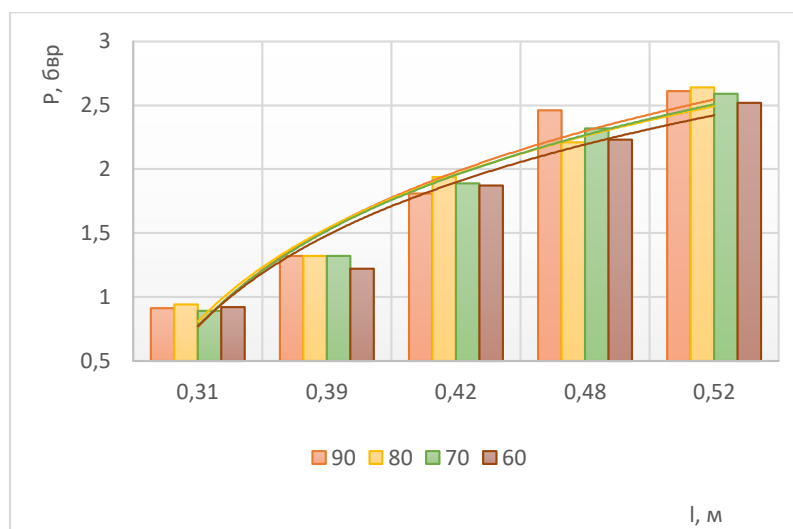


Рисунок 4.11 – Расстояние, на котором задерживаются имитаторы у водоприёмного окна в зависимости от давления в коллекторе при 0,2 м/с и $\Delta = 0,03$ м

При угле 70° и скорости 0,2 м/с эффективность достигает 100 % при $P = 0,246$ МПа, расстояние составляет 0,54 м.

Серия 3. Исследовались насадки диаметром 5 мм при условиях 1 серии опытов. Скорость в водоприёмном окне увеличивается до 0,2 м/с. Исследуется влияние угла наклона потокообразователя на эффективность защиты и формирование гидравлического экрана на участке расширения струи противотока, где потери энергии противотока уравниваются энергией потока водозабора.

В таблицах 4.32-4.33 приводятся результаты исследования потокообразователя для углов 90° и 70° при скорости потока 0,2 м/с для 4-х насадков.

Таблица 4.32 – Потокообразователь под углом 90° с насадками $d_n = 5$ мм

Давление Р, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,098	0,14	6	2	0	8	86,6
0,142	0,17	4	2	0	6	90,0
0,133	0,22	3	2	0	5	91,6
0,231	0,33	2	2	1	5	91,6
0,258	0,39	0	0	0	0	100

Таблица 4.33 – Потокообразователь под углом 70° с насадками $d_n = 5$ мм

Давление Р, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,092	0,28	5	3	0	8	86,6
0,127	0,34	2	3	0	5	91,6
0,193	0,41	1	2	0	3	95,0
0,219	0,49	1	1	0	2	96,6
0,260	0,51	0	0	0	0	100

Результаты исследования показывает, что при скорости потока 0,2 м/с снижается эффективность при угле наклона потокообразователя 90° . По результатам опытов 3 группы определялось расстояние от водоприёмных окон до сечения, где энергия противотока уравнивается энергией потока.

Имитаторы 1-ой и 2-ой группы находятся у гидравлического экрана и не преодолевают энергию противотока при максимальном давлении в коллекторе 0,252 МПа. На рисунке 4.12 дан график формирования экрана в зависимости от давления в коллекторе и угла потокообразователя 90° .

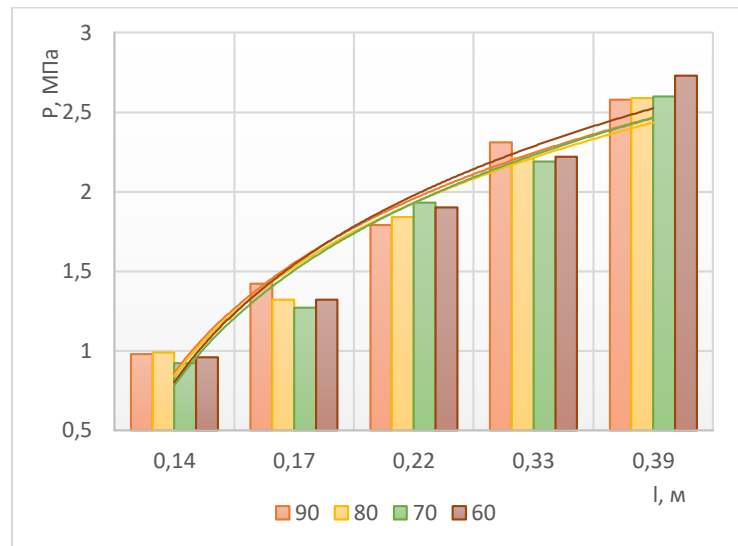


Рисунок 4.12– Расстояние, на котором задерживаются имитаторы у водопроницаемого окна в зависимости от давления в коллекторе (0,2 м/с и $\Delta = 0,03$ м)

Из графиков видно, что формирование гидравлического экрана наблюдается на участке длиной 0,39 м при давлении в коллекторе 0,252 МПа.

Следовательно, потокообразователь надо размещать под углом 70° и создавать давление в коллекторе не менее 0,25-0,30 МПа, при этом эффективность рыбозащиты будет возрастать до 96,6-100 %.

Серия 4. Исследовались имитаторы 4-6 группы. Потокообразователь с 5-ю насадками диаметром 5мм, расположенными на коллекторе в шахматном порядке; конус 122° ; расстояние удаления насадки от конуса 0,03 м.

Исследования выполнялись для углов установки потокообразователя 60° ; 70° ; 80° ; 90° , результаты представлены только для углов 70° и 90° при скорости потока 0,1 м/с (таблицы 4.34-4.35).

Результаты исследования показывают, что при скорости потока 0,1 м/с и истечении через насадки диаметром 5 мм, расположенные на коллекторе по шахматной схеме при одинаковых гидравлических и геометрических параметрах, рыбозащита более эффективна по сравнению с истечением чем через насадки диаметром 3,4 мм (таблица 4.35).

Таблица 4.34 – Потокообразователь под углом 90°

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,099	0,31	4	1	0	5	91,6
0,134	0,37	3	3	0	6	90,0
0,188	0,42	3	2	0	5	91,6
0,232	0,49	0	2	0	2	96,6
0,257	0,52	0	0	0	0	100

Таблица 4.35 – Потокообразователь под углом 70°

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,087	0,43	2	2	0	4	93,3
0,121	0,51	1	1	0	2	96,6
0,189	0,58	0	1	0	1	98,3
0,222	0,61	0	0	0	0	100
0,264	0,66	0	0	0	0	100

Серия 5. Исследовались имитаторы 4-6 групп. Потокообразователь с 5-ю насадками диаметром 5мм, расположенными на коллекторе в шахматном порядке; конус 122°; $\Delta = 0,03$ м. Исследования выполнялись для углов установки потокообразователя 60; 70; 80; 90°, результаты представлены для углов 70° и 90°, остальные данные приведены на графике (рисунке 4.13). Исследования выполняются при скорости потока 0,2 м/с (таблицы 4.36-4.37).

Таблица 4.36 – Потокообразователь под углом 90°

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,088	0,23	4	2	0	6	90,0
0,123	0,31	3	2	0	5	91,6
0,185	0,39	1	2	0	3	95,0
0,234	0,42	0	1	0	1	96,5
0,253	0,50	0	0	0	0	100

Таблица 4.37– Пототокообразователь под углом 70°

Давление P, МПа	Расстояние, м	Количество имитаторов, прошедших через водоприёмное окно водозабора			N, шт.	Эффектив- ность, %
		N ₁ , шт.	N ₂ , шт.	N ₃ , шт.		
0,096	0,17	5	3	0	8	86,6
0,131	0,21	4	1	0	5	91,6
0,191	0,28	2	1	0	3	95,0
0,222	0,32	1	0	0	1	96,6
0,277	0,37	0	0	0	0	100

По опытным данным таблиц 4.36, 4.37 получены графики (рисунок 4.13) зависимости дальности отлёта имитаторов 4-6 групп от давления в коллекторе при различных углах установки потокообразователя.

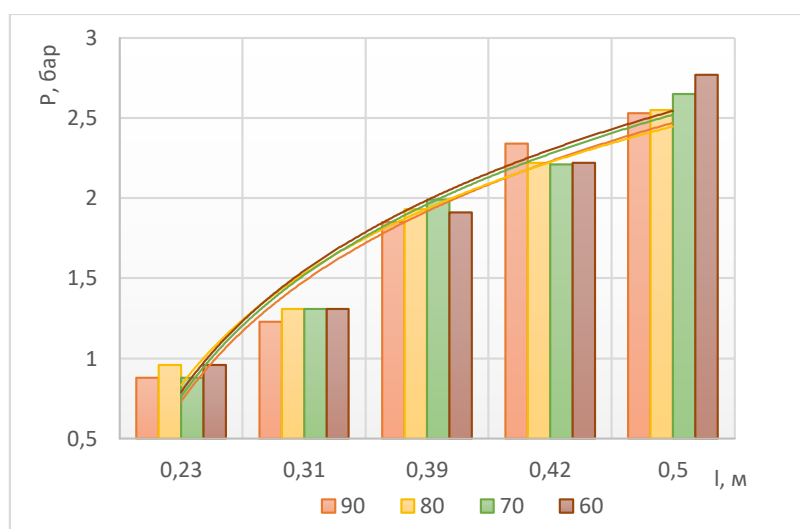


Рисунок 4.13 – Расстояние, на котором останавливаются имитаторы у водоприёмного окна в зависимости от давления в коллекторе (0,2 м/с и $\Delta l = 0,03$ м)

Исследования показывают, что скорость водозабора должна находиться в диапазоне 0,1-0,2 м/с. При скорости потока 0,2 м/с имеются наихудшие гидравлические условия на мелиоративных водозаборах, хотя и создаются условия рыбозащиты на МРЗУ.

4.5 Исследование плотности объёмного противотока

Установим при каком значении коэффициента плотности гидравлического экрана (3.3) выполняется эффективная защита мелиоративного водозабора. Исследовались истечение из насадков на конус 60° ; 110° 122° . Опытами ранее было установлено, что расстояние $\Delta = 0,03$ м наиболее эффективно для всех схем потокообразователя с углом конуса 122° .

Исследована плотность гидравлических экранов при истечении из насадков, которые устроены на потокообразователе по 2-м схемам. Опыты были поставлены для 4 насадков по рядной схеме и для 5 насадков, установленных в шахматном порядке. Схемы истечения даны на рисунке 3.3.

Обработка результатов по плотности гидравлических экранов выполнена для технологических схем по формуле (3.3). Результаты приводятся в таблицах 4.38 – 4.41 и на рисунках 4.14- 4.17.

В таблице 4.38 приводятся результаты исследований для коэффициента плотности гидравлического экрана при истечении из насадки диаметром 3,4 мм на конус 122° и для рядной схемы.

Таблица 4.38 – Влияние рядного размещения насадков $d_n=3,4$ мм (4 шт.) на коэффициент плотности противотока у приёмного окна водозабора

Δ , м	P , МПа	L_1 , м	L_2 , м	D_1 , м	D_2 , м	ω_1 , м ²	ω_2 , м ²	K_1	K_2
0,03	0,097	0,1	0,2	0,5882	1,1404	0,272	1,021	4,213	15,836
	0,175			0,6056	1,1658	0,288	1,067	4,466	16,549
	0,244			0,6244	1,1942	0,306	1,120	4,747	17,365
	0,292			0,669	1,2042	0,352	1,139	5,450	17,657
	0,321			0,6842	1,2264	0,368	1,181	5,700	18,314

Коэффициент плотности противотока на расстоянии 0,1 м изменяется незначительно. На расстоянии 0,2 м площадь гидравлического экрана возрастает $\omega_2 > \omega_1$ с формированием плоских струйных течений, которая на расстоянии 0,2 м достигает $1,811$ м² по сравнению с площадью $0,368$ м² на расстоянии 0,1 м от конуса. Коэффициент плотности возрастает с 5,700 до 18,314 при давлении в

коллекторе 0,321 МПа. На рисунке 4.14 дана графическая интерпретация расширения противотока от давления в коллекторе.

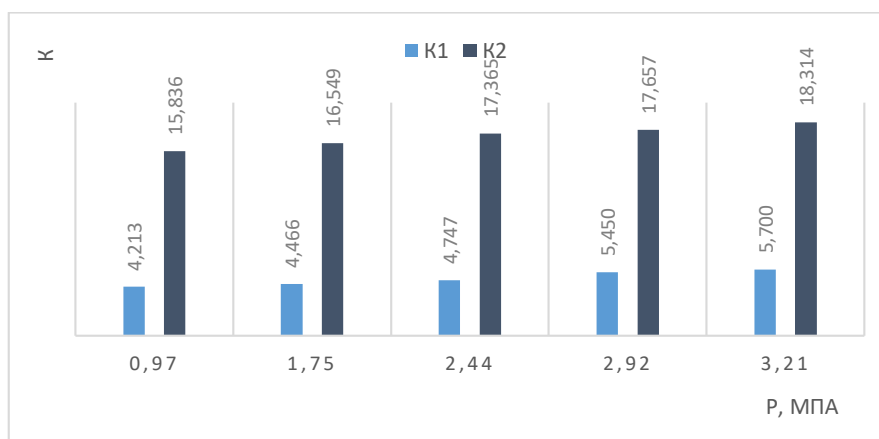


Рисунок 4.14 – Зависимость коэффициента плотности противотока от давления в коллекторе при истечении из 4 насадков при конусе 122°

При конусе 122° давление в коллекторе практически не оказывает влияние на формирование гидравлического экрана на расстоянии 0,2 м, что видно из рисунка 4.14. Коэффициент плотности плавно увеличивается от 15,83 до 18,31 или на 13,5 % от K_1 до K_2 .

В таблице 4.39 приводятся результаты исследований для коэффициента плотности гидравлического экрана при истечении из насадки диаметром 5 мм на конус 122° и для рядной схемы.

Таблица 4.39 – Влияние рядного размещения насадков $d_n = 5$ мм (4 шт.) на коэффициент плотности противотока у приёмного окна водозабора

Δ , м	P, МПа	L_1 , м	L_2 , м	D_1 , м	D_2 , м	ω_1 , м ²	ω_2 , м ²	K_1	K_2
0,03	0,081	0,1	0,2	0,5716	1,1132	0,257	0,973	3,978	15,090
	0,119			0,6076	1,1562	0,290	1,050	4,495	16,278
	0,179			0,6218	1,2188	0,304	1,167	4,708	18,088
	0,242			0,6976	1,3016	0,382	1,331	5,926	20,629
	0,293			0,7382	1,3396	0,428	1,409	6,636	21,851

При конусе 122° и диаметре насадки 5 мм коэффициент плотности гидравлического экрана увеличивается по сравнению с рядной схемой размещения

насадков диаметром 3,4 мм при давлении в коллекторе 0,081-0,293 МПа, что отражается на рисунке 4.15.

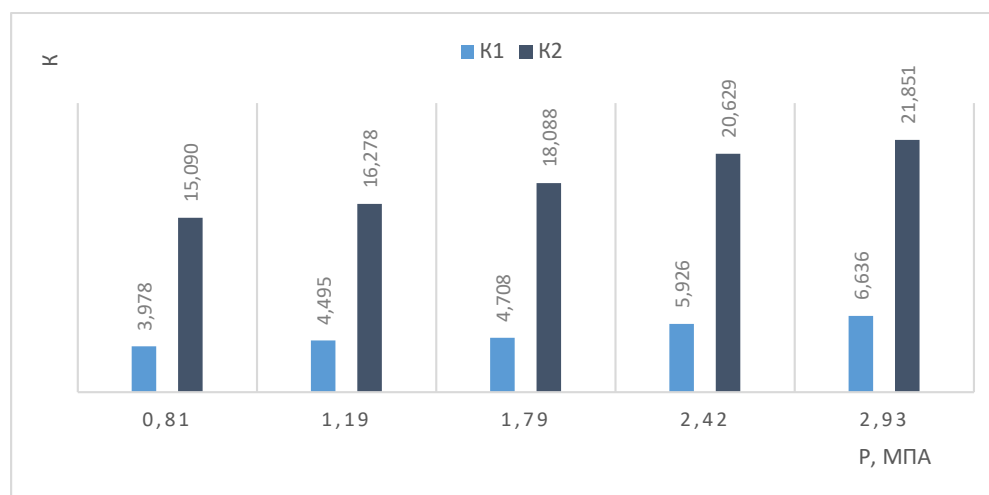


Рисунок 4.15 – Зависимость коэффициента плотности гидравлического экрана от давления в коллекторе при истечении из 4 насадков при конусе 122°

Коэффициент плотности увеличивается с 15,09 до 21,85 или на 30,9 % для K_2 . Расстояние 0,1 м от конуса до насадки практически не влияет на коэффициент плотности гидравлического экрана при конусе 122° .

Исследовался коэффициент плотности гидравлического экрана при размещении насадков на потокообразователе по шахматной схеме (рисунок 3.3). В таблице 4.40 приводятся результаты исследований для коэффициента плотности гидравлического экрана при истечении из насадки диаметром 3,4 мм на конус 122° .

Таблица 4.40 – Влияние шахматного размещения насадков $d_n=3,4$ мм на коэффициент плотности противотока у приёмного окна водозабора

Δ , м	P , МПа	L_1 , м	L_2 , м	D_1 , м	D_2 , м	ω_1 , м ²	ω_2 , м ²	K_1	K_2
0,03	0,097	0,1	0,2	0,5882	1,1404	0,272	1,021	5,266	19,795
	0,175			0,6056	1,1658	0,288	1,067	5,582	20,687
	0,244			0,6244	1,1942	0,306	1,120	5,934	21,707
	0,292			0,669	1,2042	0,352	1,139	6,812	22,072
	0,321			0,6842	1,2264	0,368	1,181	7,125	22,893

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что гидравлические струи формируются сразу после конуса в потоке водозабора. Коэффициенты плотности противотока достигают 19,795-22,893, что является достаточным для получения экрана с высокой плотностью.

В таблице 4.41 приводятся результаты исследований для коэффициента плотности гидравлического экрана при истечении из насадки диаметром 5 мм на конус 122° и для шахматной схемы.

Таблица 4.41 – Влияние шахматного размещения насадок $d_n = 5$ мм на коэффициент плотности противотока у приёмного окна водозабора

Δ , м	P , МПа	L_1 , м	L_2 , м	D_1 , м	D_2 , м	ω_1 , м ²	ω_2 , м ²	K_1	K_2
0,03	0,081	0,1	0,2	0,5716	1,1132	0,257	0,973	4,973	18,862
	0,119			0,6076	1,1562	0,290	1,050	5,619	20,347
	0,179			0,6218	1,2188	0,304	1,167	5,885	22,610
	0,242			0,6976	1,3016	0,382	1,331	7,407	25,787
	0,293			0,7382	1,3396	0,428	1,409	8,294	27,314

Результат показывают, что плотность экрана еще выше и достигает 27,314 на расстоянии 0,2 м.

Аналогичные исследования выполнили для конусов 60° и 110° . Наилучший эффект получен для конуса 122° .

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 4

Выполнены исследования основных технологических параметров МРЗУ на опытной установке согласно методике и планированию эксперимента:

1. Исследованы объёмные противотоки при истечении из насадков с относительной длиной 5, диаметрами 3,4 мм и 5 мм и углом конусности 13° . Потокформирующий конус (конус) был с углом вершине $\beta = 60^{\circ}$ 110° , 122° и устанавливался на расстояние от насадков $\Delta = 0,045$; 0,04; 0,035; 0,03; 0,025; 0,02;

0,015 м в каждой серии опытов. Во всех вариантах получены объёмные противотоки, которые создавали гидравлический экран при давлении в коллекторе МРЗУ 0,097-0,321 МПа.

2. Получена обобщённая формула (4.1.1) для конически сходящегося насадка с относительной длиной 5 для определения коэффициента расхода диаметром 5 мм, который устанавливается на коллектор МРЗУ с конусом 122^0 и расстоянием от конуса 0,03 м для создания объёмных противотоков.

3. Скорость схода с конуса была меньше критической для молоди рыб и не превышала 10 м/с для угла конуса 122^0 при давлении в коллекторе 0,1-0,3 МПа. Для насадков 3,4 мм скорость схода уменьшается до 8,37 м/с.

4. При решении уравнения (2.23) следует учитывать величину константы ε , для определения коэффициента A , входящего в выражение (4.2.4), определяющее количество насадков на коллекторе потокообразователя. Константу ε необходимо находить в диапазоне 4-6.

5. Установлено, что для технологических процессов экологической бесконтактной рыбозащиты на МРЗУ следует принимать схему установки потокоформирующих элементов по шахматной схеме, при которой достигается максимальная эффективность рыбозащиты, которая устанавливается при угле потокообразователя 70^0 и конусе $\beta = 122^0$ для всех 6 групп имитаторов.

6. Получено, что при уменьшении угла потокообразователя с 90^0 до 70^0 при скорости подхода к отверстию водозаборного окна 0,1 м/с происходит увеличение эффективности защиты гидробионтов с 85 % до 100 %. При дальнейшем уменьшении угла потокообразователя до 60^0 снижается эффективность защиты гидробионтов до 88,3 %.

7. Рекомендуется скорость в окне для потокообразователя с насадками 5 мм поддерживать не более 0,1 м/с, которая создаёт экологический рыбозащитный эффект на мелиоративном водозаборе, достигающем – 99,7 %.

8. При давлении 0,25-0,30 МПа наблюдается наибольший эффект рыбозащиты, имитаторы для всех 6 групп останавливаются у окна водозабора на рас-

стоянии 0,66 м и не попадают в него. Наиболее эффективно шахматное размещение потокоформирующих элементов с углом наклона 70° с параметрами конуса 122° и диаметром насадки 5 мм для расстояния между ними 0,03 м.

9. Величина плотности противотока определяет эффективность гидравлического экрана – рыбозащиты, которая зависит от основных параметров: давления в коллекторе, угла конуса, диаметра насадки, расстояния между насадком и конусом, количества насадков. Гидравлические струи противотока после конуса в потоке водозабора формируют плотность противотока, которая достигает $K_2 = 19,795-22,893$ максимальном давлении. Плотность противотока начинает проявляться для конуса 122° на расстоянии 0,1 м, что важно при конструировании потокообразователя.

10. Получены наиболее эффективные технологические параметры мобильного рыбозащитного устройства, при которых обеспечивается рыбозащита 90 % и более, когда потокообразователь МРЗУ со струеформирующими устройствами имеет конус $\beta = 122^{\circ}$ и конические сходящиеся насадки 3,4 мм и 5 мм, расположенными на расстоянии $\Delta = 0,03$ м.

5 ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОБИЛЬНОГО РЫБОЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЗАБОРА

5.1 Методика расчета

Определяется количество водоприемных окон в зависимости от скорости в водозаборе на входном участке по зависимости (2.2):

$$N = Q_в / q = Q_в / v_d \omega \quad (5.1)$$

Расход водозабора находится из графика водоподачи на мелиоративную систему с учетом расхода 75 % обеспеченности ОС. Скорость воды на входном участке принимается из условия размеров защищаемой молоди [94]. Размеры водоприёмного окна водозабора назначаются по критическим скоростям для молоди рыб, которые не превышают 10 l , (где l – минимальный размер длины тела рыбы, защищаемой на водозаборе [112]). Расход водозаборного окна с учетом скорости подхода, перепада уровней, глубины аванкамеры, коэффициента расхода для короткой трубы будет находится из формулы (2.2):

$$q = \mu_{mp} \omega \sqrt{2gZ} \quad , \quad (5.2)$$

Перепад уровней не более 0,05-0,1 м для малого водотока. Общие потери трубы будут:

$$\sum \zeta = \zeta_p + \lambda \frac{l}{d} + \zeta_{вх} + \zeta_{вых} \quad . \quad (5.2)$$

Коэффициент сопротивления приточной решетки коллектора 2,19-3,80 [29]. Коэффициент трения определяется в зависимости от области сопротивления. Предварительно находится область сопротивления, методика определения даётся в справочной литературе. Для квадратичной области сопротивления λ находится из формулы Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 (A/d). \quad (5.3)$$

Для докватратичной области сопротивления λ определяется по формуле А.Д. Альтшуля [34]:

$$\lambda = 0,11 (\Delta/d - 68/Re). \quad (5.4)$$

где Δ – шероховатость стенок трубы водозабора, мм.

Для размещения насадков используется коллектор, который служит в качестве потокообразователя. Коллектор выполняется в виде полой приточной решетки, расположенной на входе приёмного окна. Принимается шахматная схема расстановки насадков на коллекторе (рисунок 3.3). На коллекторе устраиваются конические сходящиеся насадки диаметром 3,4 или 5 мм с углом конусности 13° с относительной длиной 3-5. Коэффициент расхода принимается из графика 4.1.8 или рассчитывается по формуле:

$$\mu = - 0,9 \cdot 10^{-2} Re + 0,0843 Re + 0,695. \quad (5.5)$$

Находится скорость истечения из насадков при давлении в коллекторе. Давление в коллекторе определяется в диапазоне 0,1-0,3 МПа. Используется формула (2.8) для расчёта расхода одной насадки. Каждому насадку соосно устанавливается конус 120° на расстоянии 3 см от насадки.

В водоприёмном окне устраивается потокообразователь (он же коллектор, струегенератор), который по периметру каждой стороны меньше водоприёмного окна на 5-10 см. Потокообразователь принимается круглой или прямоугольной формы. Принимается прямоугольный потокообразователь. Расход коллектора, на котором в шахматном порядке устраиваются насадки, равен сумме расходов насадков:

$$Q_k = \sum q_n. \quad (5.6)$$

Напор на насосе $H_{нс}$ определяется по формуле:

$$H_{НС} = 0,05-0,1 (H_K + h_\phi + h_l), \quad (5.7)$$

где H_K – напор в коллекторе, м; 0,05-0,1 – местные потери напора, принимаются как доля потерь напора по длине; h_ϕ – потери напора на фильтре, м; h_l – потери напора по длине в подающих шлангах, м

Напор в коллекторе принимается 0,3 МПа. Потери на фильтре принимаются из справочной литературы [34] в зависимости мощности насосной установки и загрязнения водных ресурсов. Потери по длине рассчитываются по методике для длинных трубопроводов.

Для определения количества насадков на коллекторе используется формула (2.23):

$$N_c = m Q v / A q_n v_n, \quad (5.8)$$

где m – коэффициент запаса, учитывающий повышение скорости подхода к водозаборному окну и конструктивные особенности потокообразователя принимается равным 1,05-1,1.

Коэффициент $A = \varepsilon d_n / \Delta - d_n^2 \cos \beta_1 / 4 D_k \delta_k$ определяется по формуле (4.3) для каждого конуса отдельно по скорости истечения и расходу насадки (таблицы 4.5 и 4.6). Коэффициент A учитывает скорости схода с конуса, которые не превышают критические для молоди рыб. В результате выполненных исследований получили основные технологические и технические параметры МРЗУ, которые приводятся в таблице 5.1

Таблица 5.1 Основные технологические и технические параметры МРЗУ

Технические параметры назначение	Показатели
1 Малые реки	степные и горные
2 На водозаборных сооружениях	боковые и тупиковые
3 Низкая металлоёмкость	до 20 кг
4 Высокая мобильность	в пределах водозабора
5 Равномерность и высокая плотность противотоков	экран на расстоянии 0,5-0,7 м, коэффициент плотности ≥ 20
6 Скорости схода с конусов	до 10 м/с
7 Не зависит от расхода головной НС	не требует возврата расхода
8 Потребляемый расход менее 2 %	от расхода водозабора
9 Бесконтактная экологическая рыбозащита молоди до 12 мм всех видов.	молодь рыб не соприкасается с водозабором
10 Скорость в водозаборном окне	0,1-0,2 м/с
11 Габаритные размеры плоского потокообразователя	меньше на 0,05-0,1 м водоприёмного окна, толщина не более 0,15 м
12 Крепится шарнирно ко дну	угол поворота $60^0 - 90^0$
13 Насадки, конуса	конически сходящиеся 3,4-5 мм, конус углом 122^0
14 Промывка от мусора водорослей	промывные скорости 12-20 м/с
15 Фильтр грубой очистки	промывка чистой водой
16 Количество насадков принимается расчетом	уравнение баланса энергии (2.23)

Диаметр коллектора при подводе воды с одной стороны определяется по формулам гидравлики переменной массы, когда скорости в начале равны максимальному значению, а конце коллектора нулю. При подводе воды с 2-х сторон диаметр коллектора по периметру определяется по формуле:

$$D_{кол} = 0,25 \sqrt{Q} . \quad (5.9)$$

Диаметр коллектора принимается не менее 25 мм. Диаметры поперечных трубок, на которых устраиваются насадки, принимаются равными: 0,4-0,5 $D_{кол}$.

5.2 Исследования мобильного рыбозащитного устройства на Новокубанском канале

МРЗУ проходило испытание на Новокубанском канале в ООО «Союз - Агро» Гулькевичского района на мелиоративном водозаборе в июне 2020 г. (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Полевые исследования опытного МРЗУ на мелиоративном водозаборе Новокубанского канала в ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района

Транзитная скорость потока в канале находилась в диапазоне 0,6-0,8 м/с на расстоянии от уреза 0,4-0,5 м. Скорость на входе в мелиоративный водозабор была не более 0,1 м/с.

Размер струегенератора (коллектора) был принят 0,9х0,9 м². На коллекторе устанавливались конические насадки диаметром 5 мм. Соосно насадкам крепились конуса 120⁰. Конус устанавливался на расстоянии 0,03 м от насадки.

Максимальный расход воды на водозаборе через 1 трубу 0,20 м³/с. По формуле (5.8) определяется количество конически сходящихся насадков с относительной длиной 5 и углом конусности 13⁰.

Для расчета количества насадков технологической схемы использовались опытные данные, полученные эмпирическим путём на лабораторной установке и представленные разделе 4.

Для определения расхода насадки на коллекторе использовали формулу (2.8) и таблицы 4.1-4.12, в которых даются результаты исследований, полученные при давлении в коллекторе 0,069-0,287 МПа. Для расчета МРЗУ применялось уравнение (2.23) при $\epsilon=4$, $A = 0,304$.

$$N_c = 1,1 \cdot 0,20 \cdot 0,20 / 0,304 \cdot 18,878 \cdot 0,00037 = 20,7 \text{ шт.}$$

Из условия максимальной эффективности защиты гидробионтов на водозаборе принимается потокообразователь под углом 70⁰.

Для технологичной схемы мобильной рыбозащиты конструктивно принимались 22 насадка диаметром 5 мм и 22 конуса с углом 120⁰ и расстоянием между конусом и насадки 0,03 м.

Суммарный расход истечения через насадки составит 8,1 л/с. Или 1,94 % от расхода мелиоративного водозабора.

Диаметр коллектора потокообразователя принимался 25 мм.

Видовой состав молоди рыб для малых рек бассейна р. Кубань приведен в приложении 2.

5.3 Эколого-экономическая эффективность мобильного рыбозащитного устройства

Исследования на Новокубанском канале выполнялись утром с 08.00 ч до 9.30 ч и после обеда с 16.00 ч до 17.30 ч в июне 2021 г. Требовалось установить экологическую эффективность бесконтактного экологического способа защиты гидробионтов при работе конструкции МРЗУ на мелиоративном водозаборе ООО «Союз Агро».

Выполнялось сравнение 2-х рыбозащитных устройств РОП, установленного на водозаборе, и с новым МРЗУ. Опыты проводились в 4 кратной повторности через каждые 30 мин. в течение 5 мин. 2-мя ловушками Х-80 размером 0,5x0,5 м².

МРЗУ и РОП устанавливались у водоприёмных окон. Устройства обеспечивали защиту зоопланктона, ихтиопланктона, личинок и молоди рыб на входе в аванкамеру водозабора. Пробы гидробионтов отбирались у выхода воды из трубы в аванкамеру головной насосной станции при работающих рыбозащитных устройствах.

На фото (рисунок 5.1) приводятся полевые исследования на Новокубанском канале. Исследования выполнялись по общепринятой методике. Расчет ущерба водным биологическим ресурсам и среде их обитания,

Расчёты производятся для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна: фитопланктон – $P/V=320$; $K_2 = 20$; $K_3 = 50 < 1 >$ (зоопланктоном) зоопланктон – $P/V = 30$; $K_2 = 15$; $K_3 = 20-40$.

Средние значения биомассы фитопланктона в рассматриваемом районе за сезон составили 0,9 г/м³. Средние значения биомассы зоопланктона в рассматриваемом районе за сезон составили 0,55 г/м³. При расчёте вреда, наносимого водным биоресурсам, проводились расчёты их потерь от гибели фитопланктона и от гибели зоопланктонных организмов.

Расчёт потерь от гибели организмов зоопланктона в забираемых объёмах воды. Гибель кормовых организмов зоопланктона выполнено по формуле:

$$N = B \times (1+P/B) \times W \times K_E \times K_3/100 \times d \times 10^{-3}, \quad (5.10)$$

где N - потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг; B – средняя многолетняя для данного сезона (сезонов, года) величина общей биомассы кормовых планктонных организмов, г/м³; P/B – коэффициент для перевода биомассы кормовых организмов в продукцию кормовых организмов; W – объем воды в зоне воздействия, в котором прогнозируется гибель кормовых планктонных организмов, м³; K_E – коэффициент эффективности использования пищи на рост (доля потребленной пищи, используемая организмом на формирование массы своего тела); K_3 – средний для данной экосистемы (района) и сезона (года) коэффициент (доля) использования кормовой базы, %; d – степень воздействия, или доля количества гибнущих организмов от общего их количества, в данном случае отношение величины теряемой биомассы к величине исходной биомассы, в долях единицы; 10^{-3} – показатель перевода граммов в килограммы.

Таблица 5.2 - Расчет потерь зоопланктона в период водозабора

Месяц	B	$1+P/B$	W	K_E	$K_3/100$	d	10^{-3}	N , кг
Июнь	0,55	41	350000	1/15	40/100	1	0,001	2,104

Расчет ущерба водным биоресурсам от потерь продукции и гибели фитопланктона. Определение потерь водных биоресурсов от гибели фитопланктона производится с учетом средних суточных объемов водозабора ($W_{сут.}$), суточного P/B -коэффициента для соответствующего сезона (или сезонов) по формуле:

$$N = B \times (1+P/B_{сут.}) \times W_{сут.} \times t_{сут.} \times K_E \times K_3/100 \times d \times 10^{-3}, \quad (5.11)$$

где N – потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг; B – средняя за период воздействия (месяцы, сезоны) величина общей биомассы кормовых планктонных организмов, г/м³; $P/B_{сут.}$ – средний суточный продукционный перевод биомассы кормовых организмов в их продукцию (для данного сезона или сезонов); $W_{сут.}$ – средний суточный объем забора воды, м³; $t_{сут.}$ – продолжительность забора воды, сутки; K_E – коэффициент эффективности использования пищи на рост (для пищевой цепи "фитопланктон - рыбы" либо

объединенный для пищевой цепи "фитопланктон - зоопланктон - рыбы"); K_3 – средняя для данной экосистемы (района) и сезона доля использования кормовой базы (для пищевой цепи "фитопланктон - рыбы" либо объединенная для пищевой цепи "фитопланктон - зоопланктон - рыбы"), %; d – степень воздействия, или доля количества (в данном случае биомассы) гибнущих организмов от общего их количества, в долях единицы; 10^{-3} – показатель перевода граммов в килограммы.

Значение $P/V_{сут.}$: $P/V_{сут.} = 180 / 30 = 6$.

Согласно опубликованным материалам Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), среднее значение использование кормовой базы белым толстолобиком при зарыблении водоёмов не превышает 17 %, минимальное же составляет 5 % [Цуникова, 2006]. Коэффициент использования кормовой базы фитопланктона рыбами (K_3) составляет 10 %.

Таблица 5.3 - Расчет потерь фитопланктона в период водозабора

Месяц	V	$1+P/V_{сут.}$	$W_{сут.}$	$t_{сут.}$	K_E	$K_3/100$	d	10^{-3}	N , кг
Июнь	0,9	1+6	11666	30	1/20	10/100	1	0,001	11,024

Результаты расчётов от потерь фитопланктона и зоопланктона суммируются.

Таблица 5.4 - Ежегодные потери пелагических компонентов кормовой базы в результате водозабора

Месяц	Потери фитопланктона, кг	Потери зоопланктона, кг	Потери кормовой базы, кг
Июнь	11,02	2,104	13,128

Определение годовых потерь водных биоресурсов (молоди рыб) от их гибели при заборе воды из водного объекта рыбохозяйственного значения производится по формуле:

$$N = n_{пм} \times W \times [(100 - K_0) / 100] \times (K_1 / 100) \times p \times \Theta \times 10^{-3}, \quad (5.12)$$

где N - потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг или т; $n_{пм}$ - средняя за период встречаемости данной стадии или весовой категории (численность) рыб

в зоне водозабора, экз./м³; W - объем воды, забираемой водозабором за расчетный период, м³; K_o - коэффициент эффективности рыбозащитного сооружения (РЗС) на водозаборном сооружении, определяемый как отношение количества рыб, гибель которых предотвращается РЗС, к числу рыб, которые погибли бы в водозаборном сооружении без оборудования его РЗС, %; K₁ - коэффициент пополнения промыслового запаса (промысловый возврат), %; p - средняя масса рыб промысловых размеров, г, кг; Θ - величина повышающего коэффициента, учитывающего длительность негативного воздействия намечаемой деятельности и время восстановления (до исходной численности, биомассы) теряемых водных биоресурсов

Согласно данным рыбохозяйственной характеристики р. Синюха, ранняя пелагическая молодь рыб на стадии экзогенного питания в период водозабора (производится с мая по сентябрь включительно) будет находиться в реке в период с мая по июль включительно, в т. ч.: личинки на стадии экзогенного питания – в мае – июне, молодь массой 0,2–1,5 г – в мае – июле. Коэффициент Θ рассчитывается по формуле:

$$\Theta = T + \sum K_{B(t=i)}, \quad (5.13)$$

где T – показатель длительности негативного воздействия, в течение которого невозможно или не происходит восстановление водных биоресурсов и их кормовой базы, в результате нарушения условий обитания и воспроизводства водных биоресурсов.

В данном случае T = 1,0; длительность восстановления (i лет) с момента прекращения негативного воздействия для рыб – средний возраст достижения ими промысловых размеров:

- для уклейи – 2-3 года (в среднем 2,5 года), следовательно $\sum K_{t=i} = 0,5i = 0,5 \times 2,5 = 1,25$; $\Theta = 1 + 1,25 = 2,25$;

- для плотвы – 3-4 года (в среднем 3,5 года), следовательно $\sum K_{t=i} = 0,5i = 0,5 \times 3,5 = 1,75$; $\Theta = 1 + 1,75 = 2,75$;

- для сазана – 3-5 лет (в среднем 4 года), следовательно $\Sigma K_{t=i} = 0,5i = 0,5 \times 4,0 = 2,0$; $\Theta = 1 + 2,0 = 3,0$.

- для прочих видов рыб – 3,5 года, следовательно $\Sigma K_{t=i} = 0,5i = 0,5 \times 3,5 = 1,75$; $\Theta = 1 + 1,75 = 2,75$.

Определяется эффективность для 2-х рыбозащитных устройств: РОП и МРЗУ.

Таблица 5.5 - Эффективность рыбозащитного сооружения – 70 %. (РОП)

Вид рыб	$n_{пм},$ экз./м ³	W, м ³	100-К ₀ / 100	К ₁	р, кг	Θ	Потери рыбопро- дукции, кг
июль (молодь)							
Уклея	0,039	350000	0,3	0,03	0,15	2,25	41,46
Плотва	0,007	350000	0,3	0,03	0,20	2,75	12,12
Сазан	0,001	350000	0,3	0,02	1,5	3,0	9,45
Прочие	0,032	350000	0,3	0,03	0,15	2,75	41,58
Итого	0,079	350000	0,3	–	–	–	104,64

Таблица 5.6 -Эффективность рыбозащитного сооружения – 90 %. (МРЗУ)

Вид рыб	$n_{пм},$ экз./м ³	W, м ³	100-К ₀ / 100	К ₁	р, кг	Θ	Потери рыбопро- дукции, кг
июль (молодь)							
Уклея	0,039	350000	0,1	0,03	0,15	2,25	13,82
Плотва	0,007	350000	0,1	0,03	0,20	2,75	4,04
Сазан	0,001	350000	0,1	0,02	1,5	3,0	3,15
Прочие	0,032	350000	0,1	0,03	0,15	2,75	13,86
Итого	0,079	350000	-	–	–	–	34,87

Эффективность МРЗУ защиты молоди рыб и личинок по сравнению с РОП составляет $104,64 - 34,87 = 69,77$ кг.

При расчёте потери водных биоресурсов и их кормовых организмов в результате негативного воздействия намечаемой деятельности, его последствия определяются по наибольшему из двух этих компонентов.

Таблица 5.7 - Сравнение потерь молоди рыб произведено с потерями их кормовой базы – фитопланктон, зоопланктон

Месяц	Потери кормовой базы, кг	Потери молоди рыб, кг	Потери, используемые в дальнейших расчётах, кг
Июнь	13,128	34,87	34,87

Мероприятия по компенсации наносимого вреда водным биоресурсам и среде их обитания. В качестве компенсационного мероприятия рекомендуется осуществить искусственное воспроизводство и разовый выпуск рыбоводной продукции. в результате негативного воздействия такой деятельности.

Расчёт количества личинок или молоди рыб, необходимого для восстановления нарушаемого состояния водных биоресурсов посредством их искусственного воспроизводства, выполняется по формуле:

$$N_m = N / (p \times K_1), \quad (5.14)$$

где N_m – количество воспроизводимых водных биоресурсов (личинок, молоди рыб, других водных биоресурсов), экз.; N – потери (размер вреда) водных биоресурсов, кг или т; p – средняя масса одной воспроизводимой особи водных биоресурсов в промысловом возврате, кг; K_1 – коэффициент пополнения промыслового запаса (промысловый возврат), %.

Компенсационные мероприятия по восстановлению потерь водных биоресурсов водотоков Азово-Черноморского бассейна целесообразно проводить путём искусственного воспроизводства и выпуска в водные объекты молоди рыб:

- русский осётр средней навеской не менее 2,5 г;
- севрюга средней навеской не менее 1,5 г;
- белый амур средней навеской не менее 25,0 г.

Расчёт необходимого количества молоди проводится на основании установленного коэффициента промыслового возврата от молоди *русского осетра* навеской 2,5–3,0 г, равного 0,6 %, и средней массы производителей – 15 кг.

Для получения ежегодного промыслового возврата в объёме 34,87 кг необходимо осуществить в качестве компенсационного мероприятия выпуск:

$(34,87 / 15 \text{ кг}) \times (100 / 0,6) = 387$ шт. сеголеток *русского осетра* средней навеской не менее 2,5 г.

Расчёт необходимого количества молоди проводится на основании коэффициента промыслового возврата от молоди *севрюги* навеской 1,5 г, равного 0,5 %, и средней массы производителей – 9,5 кг. Для получения ежегодного промыслового возврата в объёме 538,709 кг необходимо осуществить в качестве компенсационного мероприятия выпуск:

$(34,87 \text{ кг} / 9,5 \text{ кг}) \times (100 / 0,5) = 611$ шт. сеголеток *севрюги* средней навеской не менее 1,5 г.

Для получения ежегодного промыслового возврата в объёме 34,87 кг необходимо осуществить в качестве компенсационного мероприятия выпуск:

$(34,87 \text{ кг} / 5,5 \text{ кг}) \times (100 / 2,5) = 1056$ шт. сеголеток *белого амура* средней навеской не менее 25 г.

Затраты на восстановительные мероприятия по воспроизводству русского осетра при цене молоди средней навеской 2,5–3,0 г – 27,80 руб./шт. составят:

$$27,80 \text{ руб./шт.} \times 387 \text{ экз.} = 10758,6 \text{ руб.}$$

Затраты на восстановительные мероприятия по воспроизводству севрюги при цене молоди навеской не менее 1,5 г – 16,00 руб./шт. составят:

$$16,00 \text{ руб./шт.} \times 611 \text{ экз.} = 9776 \text{ руб.}$$

Затраты на восстановительные мероприятия по воспроизводству молоди белого амура при цене сеголетки навеской 25,0 г – 3,0 руб./шт. составят:

$$3,0 \text{ руб./шт.} \times 3918 \text{ экз.} = 3168 \text{ руб.}$$

Эколого-экономический эффект от МРЗУ составит $10758,6 + 9776 + 3168 = 23702,6$ руб. за июнь месяц за 2022 г.

Годовой эколого-экономический эффект от эксплуатации МРЗУ будет: 284431,2 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

- 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 натуральных 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 потребления водных ресурсов и энергоресурсов. В составе МРЗУ следует использовать механическую очистку воды, это обеспечит 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 экологических водоресурсных систем на водозаборах коммунального хозяйства и промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абраменко, С. Ю. Результаты исследований эффективности запани с рыбоотводящем лотком / С.Ю. Абраменко, Н.Н. Крылова // Актуальные проблемы мелиорации на Северном Кавказе: Сборник научных трудов КГАУ, Краснодар, 2004. – С. 104–107.
2. Аверкиев, А.Г. Современное состояние научно – технических основ проектирования водозаборных сооружений в связи с применением рыбозащитных устройств и задачи предстоящих исследований / А.Г. Аверкиев, Л.М. Нусенбаум // Труды, координационное совещание по гидротехнике. – Л.: 1965. – Выпуск XXIV. С. 14 – 24.
3. Анализ работы Александровского ковшового водозабора с учетом руслового режима и рыбоводно-биологических показателей реки Дон / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, А. Н. Богачев, М. М. Мордвинцев // Инженерный вестник Дона: [электрон. журн.]. - 2015. - № 4. - URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_Fesenko.pdf_e7bb2e55be.pdf
4. Анохин, А.М. Основы мелиораций вод и водных объектов / А.М. Анохин, М.М. Мордвинцев, В.Н. Шкура. – Новочеркасск, 2001. – 290 с.
5. Баженов, В.И. Разработка и численное моделирование рыбозащитных сооружений на основе потокообразующих устройств / В.И. Баженов, В.И. Петров, К.Д. Бухаров [и др.]. // Гидротехника. – 2014. – № 1. – С. 108–112.
6. Барекян, А.Ш. Гидравлические основы расчета и проектирования рыбозащитных оголовков водозаборных сооружений / А.Ш. Барекян [и др.] // Гидравлика русловых потоков. Калинин: изд. Калининского ГУ, 1986. – с. 89 – 105.
7. Барекян, А.Ш., Павлов, Д.С., Рипинский, И.И. Экологический способ защиты рыб на повороте струй открытого потока / А.Ш. Барекян, Д.С. Павлов, И.И. Рипинский // М.: Наука, 1982. – 112 с.
8. Барекян, А.Ш., Рипинский И.К., Павлов Д. С, Нездолий В. К. Теоретические и экспериментальные исследования территорий ската молоди рыб

на повороте русла реки в связи с созданием водозаборов с большими расходами воды / А.Ш. Барекян, И.К. Рипинский, Д.С. Павлов [и др.]. // Гидравлика сооружений и русловые процессы. Калинин, КГУ, 1979. – 120 с.

9. Болеев, А.А. Предотвращение биологического обрастания металлических конструкций оголовка водозаборных сооружений [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.04 / Болеев Александр Андреевич. – Волгоград, 2013. – 19 с.

10. Бондаренко, В. Л. Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем / В. Л. Бондаренко, А. И. Илясов, Е. Д. Хецуриани // Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО ДГАУ; Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2019. – 115 с.

11. Бондаренко, В. Л. Оценка экологического состояния бассейновой геосистемы в процессах использования водных ресурсов / В. Л. Бондаренко, В. Б. Дьяченко // Проблемы региональной экологии. – 2005. - №2. – С. 86–92

12. Вдовин, Ю.И. Требования СНиПов и практика рыбозащиты на водозаборах / Вдовин Ю.И., Анисимов А.В. [и др.] // Сб. материалов II междунар. н.-т. конф. Природно-ресурсный потенциал и устойчивое развитие регионов. Пенза : МНИЦ, 2002. – С. 61–70.

13. ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. М.: Стройиздат, 1990. – 256 с.

14. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ.

15. Водозаборно-очистные сооружения и устройства / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова, И. А. Лушкин. – Москва: Изд-во АСВ, 2003. – 569 с.

16. Водозаборы из поверхностных источников: состояние, проблемы, тенденции, совершенствования // Е. Д. Хецуриани, Ю. И. Вдовин, И. А. Лушкин, Р. К. Халиков // Вестник СГАСУ. Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 2. – С. 55– 61.

17. Волошков, В.В. Расчет геометрических параметров рыбозащитного оголовка / В.В. Волошков, В.Н. Шкура, Ю.А. Попова // Тр. Академии водохозяйственных наук «Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны» вып.2. Новочеркасск, 1999. – С. 50–55.
18. Гайдаш, И.В. Обоснование эффективных технических средств на мелиоративных водозаборах для охраны водных и биоресурсов/ И.В. Гайдаш [и др.] // Сборник статей по материалам I Международной научной экологической конференции. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – С. 58–62.
19. Гидравлика / Кременецкий Н.Н., Штеренлихт Д.В., Алёншев В.М., Яковлева Л.В. – М.: Энергия, 1980. – 384 с.
20. Дегтярева, Н.Г. О влиянии турбулентности потока на горизонтальное распределение молоди рыб / Н.Г. Дегтярева. – Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. Труды Академии водохозяйственных наук Новочеркасск, 1997. – Вып. 1. – С. 124-132.
21. Драгунова, С.М. Проблемы экосистемного водопользования на водозаборах Нижней Кубани/ С.М. Драгунова, В.В. Данилов, Н.Н. Крылова // Сборник статей по материалам I Международной научной экологической конференции. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – С. 73–75.
22. Журба, М.Г. Очистка воды в водозаборном узле / М.Г. Журба, Е.А. Мезенева, С.М. Чудновский // Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. № 5. – С. 12–14.
23. Зарубин, В. В. Методы водораспределения в каналах оросительных систем / В. В. Зарубин, А. А. Ткачев // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: сб. тр. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения). Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова. – Новочеркасск, 2017. – С. 229–232.
24. Иванов, А.В. Входной оголовок рыбопропускного сооружения. / А.С. СССР № 1788137, Б.И. № 2, 1993.

25. Иванов, А.В. Обеспечение безопасности объектов защиты молоди рыб от попадания в водозаборы / А.В. Иванов // Безопасность энергетических сооружений. Вып. 6. М.: НИИЭС, 2000 – С. 219–227.
26. Иванов, А.В., Филиппов Г.Г., Эрслер А.Л. / Рыбозащитное устройство. Патент РФ № 2221105, Б.И. № 1, 2004.
27. Иванов, А.В. Перспективы использования водяных струй для предотвращения попадания молоди рыб и мусора в водозаборные сооружения / А.В. Иванов [и др.]. – М.: Электрические станции. 2006. – № 1. – С. 26-30.
28. Иванов, П.В. Эксплуатационная надежность рыбозащитных устройств мелиоративных водозаборов / П.В. Иванов, Г.Н. Пурас // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. Труды Акад. Водохозяйственных наук. – Новочеркасск, 1997. – Вып. 1. – С. 15-21.
29. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Госэнергоиздат, 1960. – 463 с.
30. Извольский, И.С. К вопросу об определении эффективности рыбозащитных устройств / И.С. Извольский, А.Л. Эрслер // Применение рыбозащитных и рыбопропускных сооружений. – М., 1978. – С. 49–56.
31. Инновационные конструктивные решения по обеспечению экологической безопасности на водозаборных технологических комплексах систем много-целевого водоснабжения / В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, Н. Г. Моисеенко и др. // Технологии очистки воды Техновод-2019: материалы XII Между-нар. науч.-практ. конф., г. Москва, 22-23 окт. 2019 г. Юж. -Рос. гос. поли-техн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск : Лик, 2019. – С. 42–47.
32. Инструкция о порядке осуществления контроля за эффективностью рыбозащитных устройств и проведению наблюдений за гибелью рыбы на водозаборных сооружениях. М.: Комитет РФ по рыболовству, ЦУРЭН Главрыбвода, 1995. – 20 с.

33. Ихтиологические исследования на водоемах: учеб. пособие для студентов эколого-биологического и агротехнического факультетов / Л. П. Рыжков, И. М. Дзюбук, Т. Ю. Кучко. – Петрозаводск : Изд-во Петр ГУ, 2013. – 72 с.
34. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам // М.: Госэнергоиздат, 1957. – с. 252.
35. Клёпов, В.И. Определение дефицита отдачи водно-ресурсной системы в маловодных условиях / В.И. Клёпов // Использование и охрана природных ресурсов в России. НИА Природа. – 2010. – №1. – С. 16–19.
36. Клёпов, В.И. Безопасность и риск при управлении речной системой в условиях маловодного периода / В.И. Клёпов // VII научно практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Красная Поляна», 2007. – С.61–62.
37. Колганов, А.В. Проблемы управления и совершенствования информационного обеспечения в мелиоративной отрасли / А. В. Колганов, В. Н. Щедрин, В. И. Коржов // Мелиорация и водное хозяйство, 2000. – № 6. – С. 13-15.
38. Комплекс рыбозащитных мероприятий при эксплуатации водозаборного сооружения на реке Пшеха / Килиди А.И., Прокопенко В.В., Кузнецов Е.В., Килиди Х.И. // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 75-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2019 год, 2020. – С. 176–178.
39. Конструктивно-технологическая система обеспечения экологической безопасности водозаборных технологических комплексов / Е. Д. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, А. И. Ылясов, Т. Е. Хецуриани // Инженерно-строительный вестник Прикаспия, 2020. – № 1 (32). – С. 25–35.
40. Конструктивные схемы и методики гидравлического расчёта элементов рыбоводных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В.Н. Шкура, О.А. Баев, А.Ю. Гарбуз, Ю.М. Косиченко. – Новочеркасск : РосНИИПМ, 2018. – 43 с.

41. Концепция формирования новых экологических рыбозащитных сооружений и бесконтактных устройств / Кузнецов Е.В., Моторная Л.В. // Приоритетные направления развития сельскохозяйственной науки и практики в АПК. материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – пос. Персиановский, 2021. – С. 267–272.

42. Кузнецов, Е. В. Комплексная ресурсосберегающая адаптированная технология восстановления Краснодарского водохранилища / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, Л. В. Моторная, А. А. Тратникова // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование, 2022. – С. 16–20.

43. Кузнецов, Е. В. Особенности конструирования мелиоративных водозаборных сооружений на малых реках / Е. В. Кузнецов, Л. В. Моторная // Год науки и технологий 2021. Сборник тезисов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар, 2021. – С. 259.

44. Кузнецов, Е.В. Исследование коэффициента расхода водослива водоподпорного сооружения на каналах / Е. В. Кузнецов, М. Хасан, А. Алматар, Л. В. Моторная // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, 2021. – № 1 (81). – С. 110–116.

45. Кузнецов, Е.В. Современное состояние охраны рыбных ресурсов в Азово – Кубанском рыбопромысловом районе / Е.В. Кузнецов [и др.] // Труды АВИ «Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны». – Новочеркасск, 2001 – Вып. 3. – С. 145.

46. Кузнецов, Е.В. Методика разработки физической модели рыбозащитного сооружения на водозаборах для оптимизации водопользования / Е. В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – 23 с.

47. Кузнецов, Ю.А. К вопросу об использовании воздушных завес в рыбном хозяйстве // Рыбное хозяйство, 1968. – № 2. – с. 48-50.

48. Леви, И.И. Моделирование гидравлических явлений. Л.: Энергия, 1967. – 236 с.

49. Логвинович, Г.В. Гидродинамика плавания рыб // Изв. Сиб. Отд. АН СССР, 1973. – №8. – Серия техн. наук. – Вып. 2. – С. 2–8.
50. Лупандин, А.И. Роль гидравлической неоднородности среды в поведении и распределении пресноводных рыб // Диссертация д.б.н. в виде научного доклада. М.: 2006. – 60 с.
51. Лушкин, И.А. Зарубежный опыт биологического и инженерного обоснования конструкций рыбозащитных устройств водозаборных сооружений. ЦБНТИ МиВХ СССР. – М., 1982. – 96 с.
52. Мелиорация земель в СССР. Т. 3. Рыбохозяйственное значение водных ресурсов / Под ред. Б.Г. Штепа. - М.: Колос, 1975. – 129 с.
53. Милович, А.Я. Теория динамического взаимодействия тел и жидкостей. – М.: Изд. Минречфлота, 1949. – С. 29.
54. Михаликова, С.Н. Функциональный анализ комплексных рыбозащитных сооружений // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. Вып. 3. – Новочеркасск, 2001. – с. 118–128.
55. Михеев, П.А. Защита молоди рыб при водозаборе // Учебное пособие. Новочеркасск, 2004. – 112 с.
56. Михеев, П.А. Рыбозащитные сооружения и устройства. М.: «Рома», 2000. – 405 с.
57. Михеев, П. А. Выбор рыбозащитного сооружения / П. А. Михеев, А. Л. Эрслер // Рыбоводство и рыболовство, 2000. – № 4. – С. 25.
58. Михеев, П. А. Научно-техническое обоснование рыбозащитных сооружений / П. А. Михеев. – Новочеркасск : НГМА, 2000. – 43 с. – Деп. в ВИНИТИ, № 140700343.
59. Михеев, П. А. Экологические показатели надежности рыбозащитных сооружений / П. А. Михеев // Проблемы ирригации в Ростовской области: тез. докл. науч.-теорет. конф. – Новочеркасск, 1995. – С. 235–236.
60. Многолетняя динамика и современные тенденции изменения химического состава воды в акватории Павловского водохранилища / А.Р. Хафизов,

С.А. Валитов, Л.А. Камалетдинова, Р.А. Низамова // Водное хозяйство. – 2000. – С. 30–36.

61. Мотинов, А.М. Материалы натурного обследования ряда водозаборов / А.М. Мотинов и др. // Тр. ВНИИ ВОДГЕО. Водозаборные и водопропускные сооружения. – М., 1981. – С. 64, 77, 103.

62. Моторная, Л.В., Хаджиди, А.Е. / Способ защиты молоди рыб от попадания в водозабор. Патент на изобретение 2783237 С1, 10.11.2022. Заявка № 2021135069 от 29.11.2021.

63. Моторная, Л. В. Кузнецов, Е.В. / Мобильное рыбозащитное устройство. Патент на изобретение № 2786534 С1, 21.12.2022. Заявка № 2021135073 от 29.11.2021.

64. Муравенко, С.Г. Взаимодействие молоди рыб с сеткой и струей / С.Г. Муравенко, А.И. Симоненко, В.Е. Синеок // Гидротехнические сооружения в мелиоративном строительстве. – Новочеркасск, 1977. – Вып.10. – С. 72–82.

65. Мускевич, Г.Е. Выживаемость молоди рыб в эжекторных рыбоподъемниках / Г.Е. Мускевич, Ю.В. Минкин // Рыбное хозяйство, № 9. –1982. – С.28–30.

66. Нормативно-правовое и методическое обеспечение рыбоохранных мероприятий при водохозяйственном строительстве / Н.Н. Михайлов, С.Н. Саленко, А.Л. Эрслер и др. // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 6. – С. 43–46.

67. Нусенбаум, Л.М. О суточном ритме ската молоди рыб в связи с ее попаданием в водозаборные сооружения / Л.М. Нусенбаум, А.П. Кулиш // Научн. техн. бюл. ГосНИОРХ, – 1960. – №11. – С. 64 – 67.

68. Образовский, А.С. Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников / А.С. Образовский, Н.В. Ереснов, Е.А. Казанский, В.Н. Ереснов. – М.: Стройиздат, 1976. – 368 с.

69. Ольгаренко, В.И. Комплексная оценка технического уровня гидро-мелиоративных систем / В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 8-11.

70. Особенности конструирования мелиоративных водозаборных сооружений на малых реках / Кузнецов Е.В., Моторная Л.В. // Год науки и технологий 2021. Сборник тезисов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. – Краснодар, 2021. – С. 259.

71. Павлов, Д.С. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды. -М.: Наука, 1979. – 319 с.

72. Павлов, Д.С. Особенности миграций молоди полупроходных рыб // Вопр. ихтиологии – 1966. – Т. 6, вып. 3. – С. 528 – 539.

73. Павлов, Д.С., Пахоруков А.М. Биологические основы защиты молоди рыб от попадания в водозаборные сооружения / Д.С. Павлов, А.М. Пахоруков // 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Легкая промышленность, 1983. – 320 с.

74. Патент РФ № 2515682 Комбинированное двухконтурное рыбозащитное устройство / С.Н. Салиенко; 20.07.2020. Заявка № 2012124759/13 от 09.09.2014.06.2012.

75. Патент RU 2219308 С2 Рыбозащитное устройство. А.В. Иванов А.В., Г.Г. Филиппов, Эрслер А.Л. 2003.

76. Патент РФ № 2318094 С1 Рыбозащитное сооружение водозабора. Чистяков А.А., Шкура В.Н., Михеев П.М. 2008.

77. Патент РФ № 2608023 С1 Комплексное рыбозащитное устройство. Салиенко С.Н., 2017.

78. Патент РФ № 2608023 С1 Комплексное рыбозащитное устройство. Салиенко С.Н., 2015.

79. Пахоруков, А.М. К методике опытно-производственных испытаний рыбозащитного устройства с воздушной завесой и поверхностными потокообразователями: Сб. научных трудов. М.: АН СССР ИЭМЭЖ, 1984. – С.85-97.

80. Пахоруков, А.М. Влияние турбулентности потока на вертикальное распределение молоди рыб / А.М. Пахоруков, И.И. Рипинский // Труды Водгео, М.:1985. – № 6. – С. 40–44.

81. Петрашкевич, В.В. Рыбозащитные сооружения водозаборов «Экологоградиентные компоненты механизма защиты, обзор отечественного и зарубежного опыта и технические решения». М.: ПО «Совинтервод», 1992. – 147 с.
82. Питерский, А. М. Основы математического планирования эксперимента: учеб. пособие для обучающихся по программе магистратуры, бакалавриата и послевузовского образования / А. М. Питерский. – Новочерк. гос. мелиор. акад.; каф. строит. дела, осн. и фундаментов. – Новочеркасск, 2012. – 165 с.
83. Повышение эффективности рыбозащитных сооружений мелиоративных водозаборов // С.М. Драгунова, Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 9. – С. 69–73.
84. Пороло, Л.В. Воздушно-газовые подъемники жидкости // – М.: Машиностроение, 1969. – 160 с.
85. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений / Ред. Г.Я. Волченков. – М.: Транспорт, 1992. – С. 220–231.
86. Пособие по проектированию рыбопропускных и рыбозащитных сооружений (к СНиП 2.06.07-87). М.: Гидропроект, 1988. – 198 с.
87. Постановление Правительства РФ от 20.04.2013 № 380 «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания».
88. Практикум к проведению лабораторных работ по гидравлике / Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди, П.Ю. Шугай и др. // ФГОУ ВПО КубГАУ : Краснодар. – 2005. – 88 с.
89. Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов, О. В. Воеводин, А. Л. Кожанов, А. С. Штанько, С. Л. Жук; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2014. – 171 с. – Деп. в ВИНТИ 14.04.14, № 96-В 2014.

90. Правительство Российской Федерации. Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания [Текст]: Постановление утв. 29 апреля 2013 г. N 380.

91. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, Е. А. Семёнова, А. В. Алиферов, О. В. Клименко / Южно-Российский государственный политехнический университет. – Новочеркасск : ЮРГПУ(НПИ), 2016. – 204 с.

92. Проблемы работы мелиоративных водозаборов во время "цветения" воды / А. Н. Богачев, Е. Д. Хецуриани, А. С. Териков, И. А. Лапина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2014. – Вып. 54. – С. 115–117.

93. Радаков, Д.В. Скорости движения рыб //Скорости движения и некоторые особенности зрения рыб – М.: 1964, – С. 1 – 28.

94. Разработка компенсационных мероприятий для возмещения ущерба водным биологическим ресурсам при отборе воды на орошение / Сасикова Н.С., Хаджиди А.Е., Кузнецов Е.В., Кравченко Л.В. // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65. № 2. С. 1–7.

95. Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидродинамического рыбозащитного устройства / П. А. Михеев, Е. Д. Хецуриани, В. П. Боровской, В. Н. Шкура //Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск : Темп, 2006. – 18 с.

96. Рекомендации по проектированию рыбозащитных устройств на водозаборах мелиоративных систем. – М.: Союзводпроект, 1983. – 102 с.

97. Решение экологических проблем при проектировании гидротехнических сооружений (на примере бассейновой геосистемы Верхней Кубани): монография / В. Л. Бондаренко, В. В. Приваленко, А. В. Кувалкин и др. – Ростов-на-Дону : изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 306 с.

98. Рипинский, И.И. Рыбозащитные устройства для водозаборных сооружений (Пособие по проектированию, эксплуатации и экспертизе) Ассоциация гидроэкологов СССР ПО «СОВИНТЕРВОД» М., 1991. – 206 с.

99. Румянцев, И. С. Использование методов инженерной биологии в практике гидротехнического и природоохранного строительства / И. С. Румянцев, Р. Кромер; под редакцией И. С. Румянцева. – Москва : изд-во МГУЦ, 2003. – 259 с.
100. Рыбозащитное сооружение / Драгунова С.М., Кузнецов Е.В. // Патент на изобретение 2726421 С1, 14.07.2020. Заявка № 2019128517 от 09.09.2019.
101. Рыбозащитное устройство водозаборного сооружения: А.С. №1612044 СССР /Р.А. Бальбеков, А.Т. Перельман. Оpubл. в Б.И.1990, № 45.
102. Рыбозащитные вооружения на основе потокообразующих устройств // Иванов А.В., Филиппов Г.Г. / «Институт Гидропроект» им. С.Я. Жука. – ЗАО ВИВ – Москва, 2017. – С. 34–38.
103. Рыбозащитный оголовок: А.С. №1606598 СССР Е.П. Якимов. – Оpubл. в Б.И. – 1990, № 42.
104. Сасикова, Н. С. Повышение экологической безопасности гидробионтов на мелиоративных водозаборах / Н. С. Сасикова, Л. В. Моторная, А. Е. Хаджиди, Л. В. Кравченко // Сб. статей межд. Конференции. – Ростов. – 2022. – С. 25–30.
105. Сатаров, В.В. Анализ покатной миграции молоди рыб Нижней Кубани и рекомендации по ее охране в условиях интенсивного водопользования // Труды АВИ «Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны» – Новочеркасск. – 2001. – Вып. 3. – 145 с.
106. Сатаров, В.В. Некоторые особенности пространственного распределения молоди рыб в водотоке // Исслед. рыбопропуск. и рыбозащ. Сооружений : Тез. докл. – Новочеркасск. – 1984. – С. 56–58.
107. Синельников, А.Ф. Рыбозащитные сооружения и их влияние на конструкцию водозабора // Тр. ГрузНИИГиМ. Тбилиси, 1960. – С. 312–319.

108. Собуренков, С.Н. О скоростях движения рыб / С.Н. Собуренков, Ю.Н. Сбикин, Д.С. Павлов // Сб. научн. тр. Поведение рыб в зоне гидротехнических сооружений. – М.: 1967. – С. 124–135.

109. Создание комплексных сооружений в составе природно-технических систем многоцелевого водоснабжения для обеспечения экологической безопасности водопользования / Т. Е. Хецуриани, В. Л. Бондаренко, Е. Д. Хецуриани, А. Н. Пикалов // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, г. Ростов-на-Дону, 11-12 дек. 2018 г. / Азовский научно исследовательский институт рыбного хозяйства. - Ростов-н/Д.: изд-во Аз-НИИРХ, 2018. – С. 362–367.

110. Соколовская, И. Ю. Полный факторный эксперимент: метод. указ. для самостоятельной работы студентов / И. Ю. Соколовская. – Новосибирск: НГАВТ, 2010. – 36 с.

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

112. СП 101.13330.2012 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07–87 // М.: Минрегион России, 2012. – 74 с.

113. Технология удаления биообрастаний на водозаборных сооружениях систем водоснабжения / Е. Д. Хецуриани, Л. Н. Фесенко, Н. Г. Моисеенко и др. // Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 5, № 4 (17). – С. 234–237.

114. Ткачев, А.А. Комплексное использование прибрежных зон водохранилищных гидроузлов сельскохозяйственного назначения / А.А. Ткачев //

Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России. Материалы Национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 561–565.

115. Ткачев, А.А. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем / А.А. Ткачев, И.В. Ольгаренко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – Т. 11. № 2. – С. 1–23.

116. Федеральный закон «О животном мире» от 11.11.2003 г. № 148-ФЗ.

117. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 22.08.2004 № 122.

118. ФЗ. Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ.

119. Фомичев, О.А. Влияние некоторых факторов среды на распределение молоди рыб в прибрежье рек / О.А. Фомичев // Охрана и возобновление гидрофлоры и ихтиофауны. – Вып. 3. – Новочеркасск, 2001. – С. 13–17.

120. Химицкий, К.Ф. Состояние рыбозащиты в береговых водозаборах с плоскими и ленточными сетками / К.Ф. Химицкий // Водоснабжение и сан. техника. – 1971. – № 10. – С. 19–25.

121. Чистяков, А.А. Комплексный подход при конструировании рыбозащитных сооружений и устройств / А.А. Чистяков, К.В. Мирхаликов // Гидротехническое строительство. – Вып. 1. – Новочеркасск, 2003. – с. 160–168.

122. Шкура, В.Н. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения / В.Н. Шкура, П.А. Михеев // Уч. пособие. – Новочеркасск, 1986. – 79 с.

123. Щедрин, В.Н. Стратегические направления развития мелиоративного сектора в АПК / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев // Стратегические направления развития АПК стран СНГ: материалы XVI Междун. науч.-практ. конф., Бар-наул, 27–28 февраля 2017 г. – Новосибирск : СФНЦА РАН, 2017. – Т. 2. – С. 167–169.

124. Щедрин, В.Н. Рыбоводный комплекс на базе оросительного канала и малой реки / В.Н. Щедрин, В.Н. Шкура, О.А. Баев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 38–43.

125. Экологическая безопасность в природообустройстве, водопользовании и строительстве: оценка экологического состояния бассейновых геосистем: монография / В. Л. Бондаренко, Г. М. Скибин, В. Н. Азаров, и др. // Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 419 с.

126. Яковлев, С.Д. Влияние расположения входа воды в самотечные трубы на вовлечение наносов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1936. – № 12. – С. 34–40.

127. Development of the Water Management Complex by Increasing Water Availability of Small Watercourses of the Krasnodar Territory / A. Khadzhidi, I. Boukhanef, L. Motornaya, A. Kurtnezirov, A. Tratnikova, L. Kravchenko // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – 575. - P. 263–271.

128. Clay, C. Desing of fish ways and other fish facilities. The Departmens of Fisheries of Canada. Ottawa. – 1961. – P. 309–319.

129. Cohen de G. Coefficient de perte de Charge en milieu poreux base sur l'equi-libre hydrodynamique d'un massif. La Honille Blanche. - Mars-april. – 1955. – N2. – P. 166–177.

130. Cohen de Lara G. E'tudede l'infiltration Dans les Dignes en enrochements Application an Casdes Batardeaux de coupure. Les E'nergies de la Mer Cample rendu des guatriemes Soumeeste riidrauligue. - Paris. – 1959. – June. – Tome 1. – P. 49–63.

131. Conceptual basis of methodology of improving the technology of water use for irrigation and watering systems / S. M. Vasiliev, V. L. Bondarenko, G. A. Senchu-kov, V. D Gostischev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conf. on Innovations in Agricultural and Rural development, Kurgan State Agricul-tural Academy, 18–19 apr. 2019. – Vol. 341. – conf. 1. – P. 012102. - DOI : 10.1088/1755-1315/341/1/012102.

132. Degtyareva, O. G. The base soil local sagging zones' influence assessment on the water retaining structure's operability / O. G. Degtyareva, S. M. Vasiliev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 11 Sept. – 2020. – Vol. 913, Is. 2. – Article number 022055. – DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022055.

133. Elder, H.G. Biological effects of water utilization by hydroelectric schemes in relation to fisheries with special reference to Scotland. Proc. Royal Soc. Edinburgh. – 1965. – N 3-4. – P. 246.271.

134. Technology of Restoring Degraded Water Objects / Kuznetsov, E., Khadzhide, A., Motornaya, L., Kravchenko, L., Tratnikova, A. In: Guda, A. (eds) Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 509. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_161.

135. Investigating the effectiveness of a fish-protection structure of the reclamation water intake / S. Dragunova, E. Kuznetsov, A. Khadzhide, A. Koltsov, N. Sharaby // E3S Web of Conferences. 8. Сер. «Innovative Technologies in Science and Education, ITSE 2020». – 2020. – P. 07008.

136. Kopplin, M. Siebfilterkassette zur Grobfiltering von Oberfl@chen Wasser fur die Beregnung. Melior. Land - Wirtschaft-Bau. – 1980. – Jg 14. – H.6.1. – S. 270–279.

137. Laycock, A. Irrigation Systems: Design, Planning and Construction / A. Laycock. – Wallingford, 2007. – 320 p.

138. Lisetskii, F. N. Basin organization of nature management for solving hydroecological problems / F. N. Lisetskii, Ya. V. Pavlyuk, Zh. A. Kirilenko, V. I. Pichura // J Russian Meteorology and Hydrology. – 2014. – V. 39, № 8. – P. 550–557. – DOI: 10.3103/S106837391408007X.

139. Justification of the underflow intake design in the mountainous gardening conditions for the drip irrigation system / E. Kuznetsov, A. Khadzhide A., Motornaya L., Kilidi Kh., A. Kurtnezirov, L. Kravchenko // В сборнике: E3S Web of

Conferences. 8. Cep. «Innovative Technologies in Science and Education, ITSE 2020» 2020. – № 210. - 05007.)

140. Method of restoring water level of small rivers / E. Kuznetsov, A. Khadzhibi, L. Motornaya, Kh. Kilidi, M. Filimonov, L. Kravchenko // 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. C. 05007.

141. Measures to Preserve the Environmental Sustainability of Biocenoses of Small Rivers During the Construction of Reclamation Water Intakes / N. Sasikova, A. Khadzhibi, E. Kuznetsov, L. Motornaya//Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – 575. – P. 199–208.

142. Quinn, N. W. T. Environmental decision support system development for seasonal wetland salt management in a river basin subjected to water quality regulation / N. W. T. Quinn // Agricultural Water Management. – 2009, Febr. – Vol. 96, iss. 2. – P. 247–254.

143. Ruggles, C. An investigation of louvers as a method of guiding juvenile Pacific salmon / C. Ruggles, P. Ryan // Canad. Fish Culturist. – 1964. – N 33. – P. 301–313.

144. Shchedrin, V.N. Meliorative institutional environment: The area of state interests/ V.N. Shchedrin, S.M. Vasilev, A.V. Kolganov, L.N. Medvedeva, A.A. 129. Kupriyanov // Espacios. – 2018. – Vol. 39. – № 12. – P. 28.

145. Van den Brock U.L.F. A seasonal survey of fish population in the lower Medway Estuary, Kent, based on power station screen samples. Estuarine and Coast, Mar. Sci., – 1979. – № 1, p. 1–18.

146. Wales J.H. Handly J. Perforated plate fish screen / J.H. Wales, E.W. Murphy // Calif. Fish, and Game. – 1960. – V.36, № 4. – P. 390–405.

147. Wegelin, M. Particle Removal by Horizontal How Roughing Filtration. – Aqua. – 1987. – № 2. – P. 80–88.

148. Wegelin, M. Horizontal How Roughing Filtration. – Aqua. – 1987. – № 2. – P. 80.

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет
имени И.Т. Трубилина»

«*А. Кошаев*» 2022 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор
ООО «Союз-Агро»



«*М. В. Рыбалкин*» 2022 г.

Внедрение научной разработки: «Мобильное рыбозащитное устройство», выполненной на кафедре гидравлики и с/х водоснабжения Кубанского ГАУ, на мелиоративном водозаборе в ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района Краснодарского края

Настоящим актом подтверждается, что учёными университета зав. кафедрой, профессором Кузнецовым Е.В., аспиранткой Моторной Л.В., профессором Хаджиди А.Е., в 2022г внедрено и испытано на мелиоративном водозаборном сооружении Новокубанского канала в ООО «Союз-Агро» Гулькевичского района Краснодарского края мобильное рыбозащитное устройство.

Для рыбозащиты использовался потокообразователь с потокоформирующими элементами в виде насадок и конусов, которые создавали бесконтактный ток воды навстречу водозабора. Установлен эффект защиты молоди рыб более 90 %. Исследования выполнялись 3 раза в каждую декаду июня месяца. Орудиями лова молоди и личинок рыб служили сачки с сетным полотном ячейкой 1х1 мм².

На мелиоративном водозаборе для испытаний рыбозащитного устройства использовалась мобильная насосная станция с механическим фильтром грубой очистки воды. Экономия электроэнергии, с применением «Мобильного рыбозащитного устройства», на действующем мелиоративном водозаборе составила около 6 %.

ООО «Союз-Агро»

директор *Рыбалкин* Рыбалкин М.В.
зам. директора по мелиорации... *Лебедев* ... Лебедев П. Б.

Кафедра гидравлики и с.х. водоснабжения ФГБОУ ВО «Кубанский
ГАУ им. И.Т. Трубилина»:

зав кафедрой, профессор *Кузнецов* Кузнецов Е.В.
профессор *Хаджиди* Хаджиди А.Е.
аспирантка *Моторная* Моторная Л.В.

Краткая морфо-биологическая характеристика видов рыб предгорных малых рек бассейна р. Кубань

В рассматриваемом бассейне р. Кубань и участках водоресурсной экосистемы, где находятся мелиоративные водозаборы на р. Синюха и Новокубанском канале обитают 8 видов рыб. Состав ихтиофауны реки на участке водозабора: - семейство карповые (Cyprinidae): сазан - *Cyprinus carpio*, кавказский голавль - *Leuciscus cephalus orientalis*, плотва обыкновенная - *Rutilus rutilus*, уклея - *Alburnus alburnus*, северокавказский пескарь - *Romanogobio pentatrichus*, кубанский усач - *Barbus tauricus kubanicus*, русская быстрянка *Alburnoides bipunctatus rossicus*, - семейство окунёвые (Percidae): речной окунь - *Perca fluviatilis*.

По срокам нереста все виды рыб, обитающих на анализируемом участке, входят в группу весенне-летненерестующих. Они откладывают икру в мае – июне. На рассматриваемом участке в реке обитают рыбы двух отрядов и двух семейств. Основу ихтиофауны составляют представители семейства карповые (Cyprinidae) - 7 видов (87,5 % от общего числа видов). Ещё одно семейство - окунёвые (Percidae), представлено одним видом - речным окунём.

Семейство карповые – cyprinidae. Сазан, карп - *Cyprinus caprio*. Ценная неприхотливая быстрорастущая рыба. Нерестится весной в прибрежной зоне. 96-1810 тыс. икринок. Длительность развития икры в зависимости от температуры воды, 3 - 8 дней. Длина личинки при выклеве 4,2-4,4 мм. По достижению 12-15 мм начинается их расселение и расширение ареала.

Кавказский голавль - *Leuciscus cephalus orient a lis*. У голавля веретенообразное, почти круглое в сечение тело с широкой толстой головой и широким ртом. Длина тела до 45 см, масса - до 4 кг. Ведёт стайный образ жизни. Нерест с апреля по июнь, икра откладывается обычно на каменистых местах. Плодовитость от 100 до 200 тыс. икринок. Время их развития - около недели.

Кубанский усач - *Barbus tauricus kubanicum*. Нерест усача проходит с мая

по июль на каменистых и галечных перекатах. Половозрелость наступает на втором году жизни. Икра клейкая, плодовитость - 10,0-20,0 тыс. штук.

Русская быстрянка - *Alburnoides bipunctatus rossicus*. Длина тела 8-10 см. Плодовитость 715-1350 икринок. Нерест порционный в мае-июне

Северокавказский пескарь - Romanogobio pentatrachus. Длина тела половозрелых особей 66—137 мм, максимально до 150 мм. Мечет икру в конце мая. Нерест порционный. Плодовитость 1,0-3,0 тыс. икринок.

Плотва - Rutilus rutilus. Нерест происходит в апреле - мае в течение 10-14 дней. Плодовитость до 100 тыс. икринок. Личинка 6-6,5мм.

Уклея – *Alburnus alburnus*. Нерест происходит в мае - июне при температуре воды не ниже 15-16 °С. Икринки клейкие, желтоватые, в диаметре 1,5-1,9 мм. Только что вылупившаяся личинка имеет в длину 4,4 4,5 мм.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2783237

Способ защиты молоди рыб от попадания в водозабор

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Моторная Лариса Васильевна (RU), Хаджиди Анна Евгеньевна (RU)*

Заявка № 2021135069

Приоритет изобретения 29 ноября 2021 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 10 ноября 2022 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 29 ноября 2041 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2786534

Мобильное рыбозащитное устройство

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Владимирович (RU), Моторная Лариса Васильевна (RU)*

Заявка № 2021135073

Приоритет изобретения **29 ноября 2021 г.**

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **21 декабря 2022 г.**

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **29 ноября 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов