

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Техническое перевооружение водозаборного ковша береговой
насосной станции ТЭЦ-10 Иркутской области с применением
рыбозащитных устройств

Обучающийся

В.А. Салеев

(инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. наук, доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ проблем водозаборов из поверхностных источников.....	8
1.1 Анализ факторов негативного воздействия на водозаборные сооружения	8
1.2 Анализ методов рыбозащиты водозаборных сооружений.....	13
1.3 Анализ существующих технических решений РЗУ на водозаборных сооружениях ковшевого типа	27
1.4 Положительный эффект применения водовоздушной завесы на водозаборных сооружениях ковшевого типа	33
Глава 2 Береговая насосная станция первого подъема в составе системы водоснабжения ТЭЦ-10 в городе Ангарске Иркутской области.....	38
2.1 Общая характеристика гидроузла	38
2.2 Результаты водолазного обследования объекта	44
2.3 Климатические характеристики района	48
2.4 Гидрологическая характеристика территории.....	51
2.5 Рыбохозяйственная характеристика территории.....	53
2.6 Обоснование выбора места установки РЗУ с водовоздушной завесой.....	55
Глава 3 Технологические решения рыбозащитного устройства с водовоздушной завесой на рассматриваемом объекте.....	59
3.1 Технологическая схема рыбозащитного устройства.....	59
3.2 Используемое оборудование	64
3.3 Методы и последовательность производства работ по устройству ВВЗ РЗУ	72
3.4 Негативное воздействие РЗУ на окружающую среду.....	72
Заключение	74
Список используемых источников.....	75

Введение

Академик А.В. Винтер определил Байкал и Ангару как «бесценный дар природы, правильное и разумное использование которого явится неиссякаемым источником огромного количества весьма дешевой, в высшей степени качественной электрической энергии, освобождающей мускульный труд миллионов людей и в изобилии рождающей богатства для удовлетворения жизненных потребностей народа и интересов нашего государства».

Водные объекты и их биологические ресурсы являются важной частью экосистемы, и законодательство Российской Федерации регулирует их использование и охрану. Эти законы направлены на сохранение водных экосистем, предотвращение истощения рыбных запасов, борьбу с браконьерством и обеспечение устойчивого использования водных биологических ресурсов.

«В настоящее время, на фоне все возрастающей интенсивности водопотребления из поверхностных источников водоснабжения всеми отраслями промышленности, наряду с модернизацией технологического оборудования водозаборных станций, возникает необходимость поиска решений проблемы обеспечения безопасности рыб на водозаборах» [13].

Актуальность работы заключается в решении данной проблемы, которая может привести в ближайшем будущем к глобальному истощению ихтиофауны и биоразнообразия внутренних водоёмов России.

Основным фактором, оказывающим антропогенное воздействие на окружающую среду, приводящим к существенной потере рыбопродукции водохранилищ и снижению уровня воспроизводства популяции рыб является негативное влияние на водные биоресурсы при эксплуатации водозаборов из поверхностных источников.

Подавляющее большинство водозаборных сооружений, как показывает практика, оказывает отрицательное воздействие на ихтиофауну водных

объектов [19]. «Анализ результатов биологических исследований отечественных и зарубежных авторов показывает, что основной причиной попадания молоди рыб в водозаборные сооружения является отсутствие условий для их ориентации в потоке воды и возможность сопротивляться течению в непосредственной близости от водоприемных отверстий, пассивный снос и затягивание во всасывающие патрубки насосов насосных станций. В связи с этим актуальным остается проектирование, создание и использование рыбозащитных устройств (в дальнейшем РЗУ), соответствующих современным требованиям экологической безопасности, имеющих высокую рыбозащитную эффективность и техническую надежность» [32].

В соответствии со статьей 61 Водного кодекса Российской Федерации водопользователи, использующие водные объекты для забора (изъятия) водных ресурсов, обязаны принимать меры по предотвращению попадания рыб и других водных биологических ресурсов в водозаборные сооружения [4].

«Обеспечение безопасности рыб на водозаборах» подразумевает создание условий, при которых особи рыб, их популяции и все водные биологические ресурсы защищены от негативных воздействий человеческой деятельности на окружающую среду, особенно связанных с забором воды для хозяйственных и промышленных нужд из водоемов, где обитает рыба.

В 2018 году «руководитель рабочей группы по совершенствованию законодательства о водоснабжении и водоотведении Андрей Марков отметил, что вопрос о совершенствовании законодательства для решения проблем водоснабжения в России в федеральном масштабе уже давно назрел. Скорейшее решение проблемы водоснабжения российских регионов согласуется с задачами, обозначенными в «майском» Указе Президента РФ Владимира Путина, в котором поставлены задачи по повышению качества питьевой воды для населения, модернизации систем водоснабжения и экологической реабилитации водных объектов» [7].

«Наиболее распространённым, эффективным и надёжным методом для предотвращения и снижения ущербов, наносимых рыбному хозяйству работой водозаборов, защиты рыб от попадания в водоприёмники, считается оборудование их рыбозащитными устройствами» [34]. Требование об установке эффективных рыбозащитных сооружений отражено в Постановлении Правительства РФ от 29.04.2013 г. №380 «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания».

В сфере водохозяйственной деятельности предприятий-водопользователей уже накоплен значительный опыт, включающий как успешные примеры, так и неудачные случаи внедрения и эксплуатации различных типов рыбозащитных устройств.

«Методология рыбозащиты предполагает следованию определенным принципам, которые впервые были сформулированы Л.М. Нусенбаумом (1967), затем Д.С. Павловым и А.М. Пахоруковым в монографии «Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборы» (1973, 1983)» [21] и закреплены в СП 101.13330.2023 «Свод правил. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. СНиП 2.06.07-87» [29].

Одним из основных требований к современным водозаборам является обеспечение их бесперебойной работы, независимо от климатических условий его местоположения, а также технологии забора воды.

Статистический анализ водозаборных сооружений показывает, что самыми многочисленными водозаборами в Российской Федерации, расположенных на территориях со сложными климатическими условиями эксплуатации, являются водозаборные сооружения ковшевого типа, вынесенными в водотоки, либо заглубленные вглубь берега.

В качестве исследуемого объекта диссертационной работы рассматривается водозаборный ковш береговой насосной станции Иркутской ТЭЦ-10, являющейся крупнейшей тепловой электростанцией

(теплоэлектроцентралью) Иркутской области, расположенная в городе Ангарске и входящая в состав ООО «Байкальская Энергетическая Компания».

Диссертационная работа выполнена в Тольяттинском государственном университете» в период 2023-2025 гг.

Объект исследования – водозаборные сооружения ковшевого типа.

Предмет исследования – рыбозащитные устройства водозаборного ковша береговой насосной станции.

Цель исследования – разработка мероприятий по сохранению водных биологических ресурсов и ихтиофауны за счет предотвращения попадания и гибели рыб в водозаборных сооружениях ковшевого типа.

Для достижения указанной цели выделены следующие задачи исследования:

- анализ факторов негативного воздействия на водозаборные сооружения ковшевого типа;
- анализ методов рыбозащиты ковшевого водозабора в зависимости от принципа создания отпугивающего эффекта;
- разработка мероприятий совершенствования рыбозащитных сооружений применительно к ковшевому водозабору;
- разработка технологических решений по оборудованию водозаборного ковша береговой насосной станции рыбозащитными устройствами.

Методы исследований.

Для реализации поставленных задач применялся аналитический метод, основанный на анализе существующих технических решений рыбозащитных устройств водозаборов ковшевого типа; анализ нормативно-технической документации.

Практическая значимость работы состоит в разработке мероприятий по техническому перевооружению водозаборного ковша береговой насосной

станции ТЭЦ-10 Иркутской области с применением рыбозащитных устройств.

Апробация результатов исследования.

Основные положения работы опубликованы в двух статьях автора:

- Салеев, В.А. Устройство водо-воздушных завес на водозаборных сооружениях ковшового типа / В.А. Салеев // Молодежь. Наука. Общество - 2023 : Сборник студенческих работ всероссийской студенческой научно-практической междисциплинарной конференции, Тольятти, 18–22 декабря 2023 года. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2024. – С. 118-123. – EDN UTTOGZ;
- Салеев В.А., Лушкин И.А. Физиологические способы защиты водозаборных сооружений – водо-воздушная завеса // Дни науки ТГУ: материалы научно-практической конференции. Тольятти. 2024. <http://hdl.handle.net/123456789/32832>.

Личный вклад автора заключается в активном участии в исследовании и обобщении российского и международного опыта использования водовоздушных завес на водозаборных сооружениях ковшевого типа, изучении устройства и принципов работы гидравлического кавитационного аэратора, анализе собранных данных, а также в определении темы, цели, задач и методов исследования.

На защиту выносятся технологические решения по оборудованию водозаборного ковша береговой насосной станции Иркутской ТЭЦ-10 на реке Ангара рыбозащитными устройствами с применением ВВЗ.

Структура и объем диссертации:

Диссертация структурирована следующим образом: введение, три главы, общие выводы и библиография, содержащая 40 наименований. Работа занимает 80 страницы, включая 38 иллюстрации и 5 таблиц.

Глава 1 Анализ проблем водозаборов из поверхностных источников

1.1 Анализ факторов негативного воздействия на водозаборные сооружения

Основным условием работы современного водозабора является обеспечение его бесперебойной работы, независимо от климатических условий его местоположения, а также технологии забора воды.

«Скорость воды в реке препятствует образованию льда. Поэтому при отрицательных температурах воздуха до образования ледостава осенью и после вскрытия льда весной вода переохлаждается, и ее температура вследствие турбулентности потока может стать отрицательной. Это вызывает образование внутриводного льда – шуги (рисунок 1), которая представляет собой беспорядочно движущиеся в воде кристаллы льда. В зависимости от количества образовавшейся шуги она может частично или полностью заполнять сечение русла реки, затрудняя водозабор» [1].



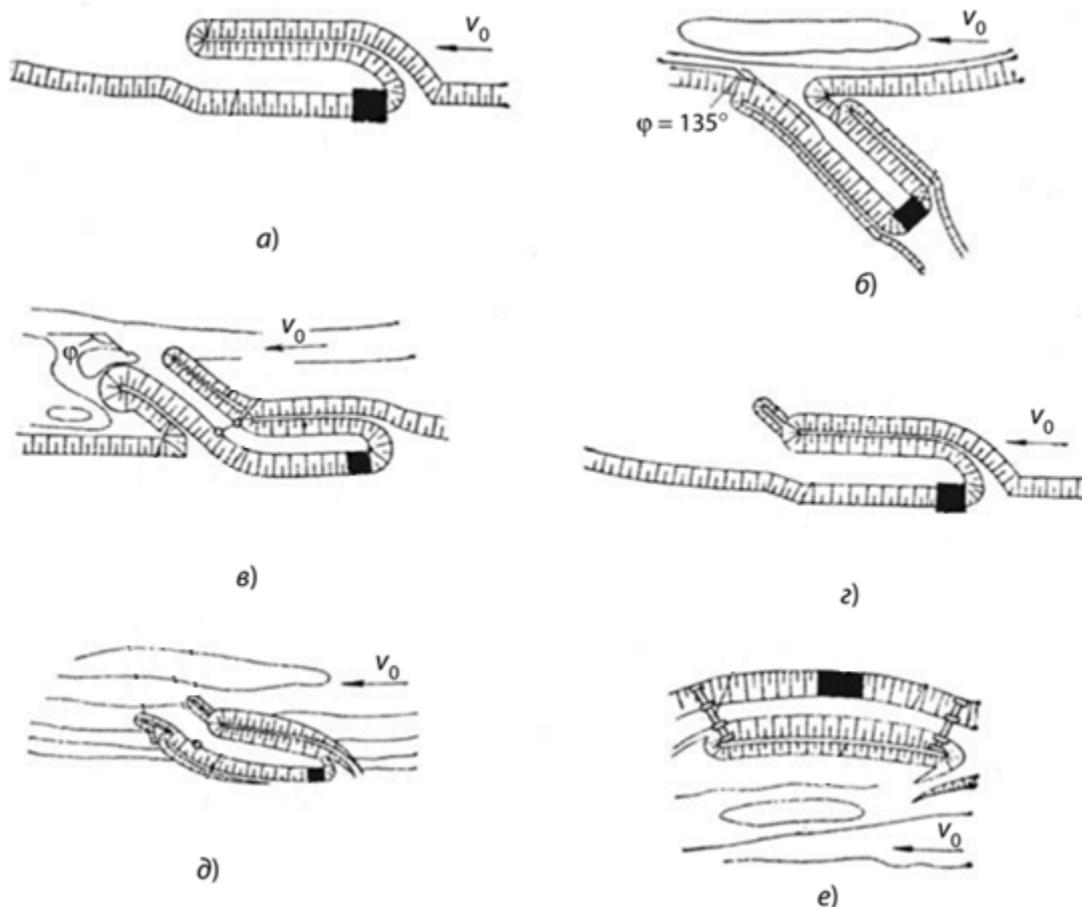
Рисунок 1 – Шуга на реке

В соответствии с СП 31.13330.2021 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» для борьбы с оледенением и закупоркой шугой водоприемников в тяжелых шуголедовых условиях следует предусматривать электрообогрев решеток, подвод к водоприемным отверстиям теплой воды либо сжатого воздуха или импульсную промывку в сочетании с обратной. Стержни сороудерживающих решеток должны быть изготовлены из гидрофобных материалов или покрыты ими. Для удаления шуги из береговых водоприемных колодцев и сеточных камер должны предусматриваться соответствующие приспособления [30].

«Методы борьбы с шугой направлены на устранение шуголедовых помех непосредственно у водоприемных окон, или на обеспечение раннего ледостава, исключая проникание шуги в акваторию водоприемных устройств» [1].

Статистический анализ водозаборных сооружений показывает, что самыми многочисленными водозаборами в Российской Федерации [5], расположенных на территориях со сложными климатическими условиями эксплуатации (шуголедовые явления), являются водозаборные сооружения ковшового типа (рисунок 2), вынесенными в водотоки, либо заглубленные вглубь берега.

Скорость движения воды в водоприемном ковше на порядок меньше скорости течения в самой реке, что при первых заморозках приводит к более раннему ледоставу в нем по сравнению с самой рекой. При этом нижний слой воды в ковше защищен от переохлаждения, тем самым исключая образование шуги и внутриводного льда [18]. Даже при попадании шуги в водоприемный ковш, происходит ее всплытие на поверхность воды, либо под установившийся ледяной покров, тем самым, исключая попадание шуги в водоприемные окна водозаборного сооружения в конце ковша [20].



а – частично или полностью выдвинутый в русло реки; б – полностью заглубленный в берег; в – частично заглубленный в берег; г – с затапливаемыми и незатапливаемыми дамбами с верхней шпорой; д – то же с верхней и низовой шпорами; е – с низовым входом, выдвинутым в русло реки.

Рисунок 2 – Типы водоприемных ковшей

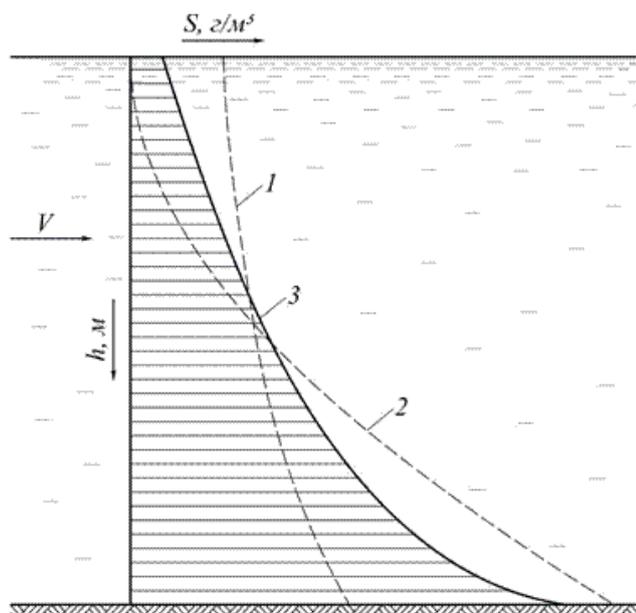
Часто для борьбы с шугой применяются водовоздушные завесы, способствующие отгону шугольда от фронта водозабора. Эффективность данного метода повышается при устройстве водовоздушных завес, ограждающих всю акваторию водоприемника.

Помимо шуголедовых явлений, на работу водозабора из поверхностных источников крайне негативное влияние также оказывают мигрирующие по реке в водном потоке различные виды наносов, тем самым создавая преграды для поступления воды в водоприемные окна и оголовки, существенно снижая эффективность его работы.

Наносами называют твердые частицы – продукты разрушения горных пород, почв, органических остатков, переносимые водотоками и оседаемые в области малоподвижной воды.

«Различают донные речные наносы, характерными чертами которых являются большие размеры и масса. Соответственно такой тип наносов перемещается в придонном слое, и на довольно короткие расстояния. Процент их среди всей массы речных наносов, как правило, не превышает 10 %. Остальные 90 % приходятся на взвешенный тип наносов. Они в свою очередь переносятся водным потоком во взвешенном состоянии ввиду относительно малых размеров и массы» [31].

Количественной характеристикой взвешенных наносов является их мутность (концентрация). В весенний период наблюдается рост концентрации взвешенных наносов в несколько раз. Изменение мутности также наблюдается при изменении глубины потока. В донной части мутность значительно больше, чем у поверхности. Эпюра изменения мутности по глубине потока представлена на рисунке 3.



1 – для мелких частиц; 2 – для крупных частиц; 3 – для частиц различной крупности

Рисунок 3 – Эпюра изменения мутности по глубине потока

Наносы существенно затрудняют водозабор на реках, частично или полностью перекрывают водоприемные отверстия и резко увеличивают износ насосов станции первого подъема.

Эффективным способом борьбы с наносами являются отстойники, роль которых успешно выполняют водоприемные береговые ковши, а устройство потокообразующих завес обеспечивает отвод донных наносов от водозабора.

Совместно с шугой и наносами, обеспечение защитных мер от попадания рыбы в водоприемники насосных станций является немаловажной задачей.

«Выбор устройств, обеспечивающих защиту рыб, и их эффективность во многом зависят от видов рыб на участках рек и связаны с размерами, стадиями жизни и размножения, поведением и предпочтительными маршрутами. Если требуется защитить мелкую рыбу, щели решеток должны быть сужены, а скорость доступа уменьшена, чтобы предотвратить ее всасывание. Сетка является основным элементом водозабора. Она обеспечивает защиту от доступа твердых материалов, рыбы, других примесей и плавающего мусора. С конструктивной точки зрения сетка состоит из металлических прутьев, вертикальных или наклонных под определенным углом, с прямоугольным поперечным сечением, соединенных в панели. Для металлических или железобетонных силовых балок, как правило, предпочтительна гидродинамическая форма. Чтобы избежать застревания рыб, отверстия сетки должны быть максимально уменьшены. Часто это невозможно из-за увеличения местных потерь напора, пропорционального скорости воды, кроме того, увеличивается риск засорения» [37].

«Как показывают многолетние исследования, состав рыб, попадающих в водозаборные сооружения и гибнущих в них, более чем на 90 % представлен ранней молодью рыб с длиной тела до 40 мм. На ранних стадиях развития рыбы физически не могут сопротивляться потоку и сносятся при скоростях, равных всего нескольким сантиметрам в секунду. Такая молодь

попадает в водозабор даже при наличии условий для ориентации. Более поздняя молодь в наибольшей степени попадает в водозабор ночью или при мутной воде, когда невозможно проявление реореакции (стремления перемещаться против тока воды, а не по течению) и рыба практически не сопротивляется потоку. Только при длине молоди 35-50 мм начинает функционировать механизм тактильной ориентации, и рыбы при низкой освещенности начинают проявлять реореакцию. Попадание более крупной молоди и взрослых рыб, имеющих достаточно высокую скорость плавания и развитую систему ориентации в потоке воды, носит либо случайный характер, либо связано с потерей жизнеспособности рыб в водоеме» [13].

1.2 Анализ методов рыбозащиты водозаборных сооружений

Оснащение водозаборных сооружений РЗУ способствует решению двух проблем – экологической и технологической. «Экологический аспект определяется требованием минимизации числа молоди рыб, погибающей при изъятии из открытых водоемов значительных объемов воды для технических и бытовых нужд. Технологический аспект связан с необходимостью защиты оборудования береговых насосных станций от посторонних включений (рыбы, ветки, водоросли, песок, ил и т.д.), которые при интенсивном потреблении воды снижают срок службы и надежность функционирования технологического оборудования» [39]. Становится очевидным, что РЗУ являются основным и важнейшим компонентом обеспечения безопасности как рыб, так и технологического оборудования при осуществлении хозяйственной деятельности на рыбообитаемых водных объектах.

На сегодняшний день сетчатые рыбозащитные устройства являются наиболее распространенными на водозаборах, хотя многие специалисты считают их морально устаревшими. Более 60 % всех рыбозащитных устройств составляют именно сетчатые РЗУ [40].

Стоит отметить, что большая «часть из применяемых рыбозащитных устройств имеют низкую эффективность по различным показателям, и часто не соответствуют современным требованиям, к числу которых относятся:

- низкая эффективность рыбозащиты ранней молоди рыб;
- высокая смертность молоди рыб после контакта с механическими частями рыбозащитных устройств;
- низкая надежность работы;
- высокие эксплуатационные издержки» [5].

При оптимальных материальных затратах предлагаемое техническое решение для строительства РЗУ должно удовлетворять требованиям СП 101.13330.2023 (СНиП 2.06.07-87) для сооружений данного назначения, в соответствии с которым эффективность рыбозащитных сооружений для рыб размером от 12 мм и выше должна быть не менее 70 % [28].

«Существуют три основных принципа предотвращения попадания молоди рыб в водозаборные сооружения: экологический, поведенческий и физический. Каждый принцип, в зависимости от характера воздействия на объект защиты является основополагающим при выборе способа защиты» [11]. Классификация принципов представлена в таблице 1 [3].

«Экологические способы защиты рыб, обладающие чрезвычайно большими потенциальными возможностями, связаны не столько с применением отдельных устройств, сколько с проведением определенных рыбозащитных мероприятий. Правильное расположение в водоеме водозаборов и их оголовков, регулирование времени водопотребления может оказаться эффективным средством защиты рыб, снижающим в сотни раз количество попадающей молоди. Вместе с тем, как правило, они не обеспечивают 100 % защиты молоди, и поэтому их следует рассматривать как предварительный этап рыбозащиты, направленный на резкое снижение числа рыб, которых необходимо защищать с помощью РЗУ.

Все экологические способы защиты связаны с регулированием изъятия воды во времени и пространстве» [21].

Физические способы защиты предусматривают отношение к рыбе как к физическому телу. Занимавшиеся этой проблемой инженеры считали единственной задачей рыбозащиты – не допустить рыбу в водозабор. Наиболее яркое проявление этого подхода нашло отражение в создании различного рода сеток и фильтров» [21].

«Поведенческие способы и устройства защиты рыб основаны на использовании их поведенческих реакций на те или иные раздражители, что связано с работой определенных рецепторов – зрения, слуха, органов боковой линии, осязания, барорецепторов. В основном, в рыбозащите применяются раздражители, вызывающие у рыб реакцию испуга и ухода из зоны их действия (реппеленты), хотя не исключена возможность использования некоторых раздражителей (света, звука), способствующих привлечению рыб (аппеленты). Применение аппелентов обусловлено необходимостью отвлечения рыб из зоны водозабора. Раздражители способствуют ориентации рыб в пространстве и, в частности, восстановлению ее в потоке у пассивных мигрантов» [17].

Таблица 1 – Классификация принципов, способов и групп по защите рыб от попадания в водозаборные сооружения

Принцип защиты	Подгруппа	Способ	Группы устройств и мероприятий
Экологический	Пространственные	Регулирование водопотребления по акватории	Ограничения изъятия воды на нерестилищах, на участках откорма и путях миграции
		Вертикальное регулирование водопотребления	Расположение оголовков в горизонте с минимальной концентрацией молоди; запани и отбойный козырек
	Временные	Суточное регулирование водопотребления	Ограничение ночного забора воды
		Сезонное регулирование водопотребления	Ограничение забора воды в пики попадания молоди

Продолжение таблицы 1

Принцип защиты	Подгруппа	Способ	Группы устройств и мероприятий
Поведенческий	Аппелентные	Световой	Светильники, отвлекающие от водозабора
	Репелентные	Световой	Светильники, отпугивающие от водозабора
		Звуковой	Вихревой излучатель; звучащие пластины
		Тактильно-гидравлический с применением проницаемых преград	Цепи и тросы; нитевидные щетки; воздушно-пузырьковые завесы; сетки, проницаемые для рыб; стержни; жалюзи
		Тактильно-гидравлический с непроницаемым преградами	Фильтрующие РЗУ (фильтры, сетки)
		Электрический	Электрозаградитель
Физический	Физические	Фильтрационный	Сетки, фильтры
		Способ циркуляционной сепарации	Применение основано на таком физическом явлении как разность между плотностью воды и тела рыбы
		Эрлифтный	Подъем молоди рыб происходит за счет налипания микропузырьков воздуха на поверхности рыбы

В последние годы всё более широкое применение находят технологичные и современные виды РЗУ.

Классификацию рыбозащитных устройств можно разделить на три основных группы:

- механические заграждения;
- гидравлические заграждения;
- физиологические заграждения.

К первой группе относятся: механические препятствия для задержания рыб на пути их движения в виде неподвижных сетчатых полотен, жалюзи или фильтров, и др., а также простейшие механические заграждения,

фильтрующие водозаборы, сетчатые заграждения – плоские сетки, плоские сетки с рыбоотводами и сетчатые барабаны.

Очевидным преимуществом данных РЗУ является практически стопроцентная их применяемость на водозаборных сооружениях различного типа. Недостатком является их быстрая засоряемость, сложность очистки, увеличение энергозатрат на забор воды.

Гидравлические рыбозаградители создают определенные гидравлические условия (большие скорости, поперечная циркуляция потока, резкое изменение направления потока и др.), которые предотвращают попадание рыбы в водозаборные сооружения без применения расположенной на всю глубину потока преграды, которую воспринимают рыбы на пути своего движения в зоне механических заграждений.

К группе гидравлических рыбозаградителей относятся струенаправляющие устройства, с помощью которых в водотоках создают гидравлические условия для направления движения рыб у гидротехнических сооружений, а также запаны, жалюзи и отбойные козырьки [16]. Данный способ позволяет, не травмируя рыбу обеспечить качественный процесс рыбоотвода в безопасную зону. При этом существенным недостатком данного типа РЗУ является наличие механизмов и оборудования, требующих для своего функционирования дополнительных энергозатрат. Помимо рыбозащитных функций данные устройства совмещают в себе функции защиты от наносов и шуги.

Физиологические рыбозаградители – это устройства, которые создают в воде электрические, световые и звуковые поля, а также используют завесы из воздушных пузырьков для предотвращения проникновения рыб в водозаборные сооружения. Они работают на основе принципа отпугивания рыб, вызывая у них дискомфорт от различных раздражителей. Как и гидравлические РЗУ, пневматический способ рыбозащиты в составе физиологических рыбозаградителей выполняет функции защиты от наносов и шуги.

К числу перспективных типов рыбозащитных сооружений относятся сооружения воздушно-пузырькового типа, работающие по принципу восходящей водно-воздушной завесы, образованной системой донных модулей с аэрирующими насадками. Среди преимуществ данного вида рыбозащитных сооружений – положительное влияние на гидрохимическое состояние водоемов. Аэрация способствует окислению органических веществ в воде, способствуя снижению уровня эвтрофикации водной экосистемы.

С точки зрения защиты молоди рыб, водозаборные сооружения ковшевого типа наиболее целесообразно оборудовать физиологическими рыбозаградителями.

По принципу создания отпугивающего эффекта, существующие рыбозащитные устройства можно поделить на группы:

- механические,
- электрические,
- акустические,
- воздушно-пневматические,
- зрительно-световые.

Применение механических устройств приводит к гибели рыбы, а электрические травмируют её и порою экономически нецелесообразны.

Электрические барьеры состоят из ряда металлических анодов и катодов, помещенных в воду. «Электрический ток проходит через воду от анода к катоду, создавая электрическое поле вблизи барьера, и их эффективность в управлении рыбой обусловлена поведенческим избеганием электрических полей. Электрические барьеры имеют два основных ограничения: они могут быть отключены из-за отключения питания, технического обслуживания (или его отсутствия) и человеческой ошибки, и они неэффективны для мелких рыб, на которых не действуют электрические поля» [35].

Акустические устройства обладают высокой стоимостью. Эффективность зрительно-световых устройств наблюдается только при использовании их в темное время суток.

«В последнее время проектными, рыбохозяйственными и исследовательскими организациями, водопользователями, имеющими водозаборы, проявляется повышенный интерес к воздушной завесе, как рыбозащитному сооружению. В основу использования воздушных завес (ВЗ) для защиты молоди рыб положены два принципа действия – физический и поведенческий. Поведенческий режим работы ВЗ основан на реакции отпугивания рыб и отхода их от непрерывной воздушной "стенки", создаваемой воздушной завесой. Общее мнение специалистов состоит в том, что максимальный эффект защиты рыб наблюдается при условии восприятия ими завесы как «сплошной стенки». Вместе с тем, как показывают результаты исследований (Эрслер А.Л., Дарков А.А. и др.) наилучший эффект использования воздушной завесы наблюдается при интенсивной подаче воздуха и организации мощных восходящих к поверхности течений (Фильчагов Л.П.). При этом рыба, попавшая в область вертикальных токов, принудительно выносится к поверхности воды и далее вместе с потоком отводится ниже области питания водозабора» [35].

Кроме того, исследования Бревика и Кристиансена [37] показали, что поле скорости, вызванное столбом пузырьков, можно разделить на две подкатегории: ближнее поле и дальнее поле. В дальнем поле доминирует горизонтальная ячейка рециркуляции, которая простирается на расстояние примерно в два раза больше глубины, а в ближнем поле доминирует вертикальная скорость пузырьковой завесы и происходит вблизи пузырьков. Существенное различие между двумя полями скорости дается тем фактом, что в дальнем поле максимальная скорость находится в горизонтальной плоскости (вдоль потока), а в ближнем поле максимальная скорость находится в вертикальной плоскости (перпендикулярно потоку). Это создает резкий градиент скорости.

Предполагая, что рыбы плывут на некотором расстоянии от пузырьковой завесы и перемещаются из дальнего поля в ближнее поле, они должны быть в состоянии обнаружить градиент скорости и не пропустить пузырьковую завесу.

Воздушно-пневматический способ основан на создании воздушно-пузырьковой завесы, образованной за счет установки на дне водоема перфорированных труб с воздухом, подающимся в них под давлением. При контакте с завесой рыба воспринимает ее как непреодолимое препятствие, так называемый зрительный фактор. Звук, исходящий от перфорированных труб, воспринимается рыбой как сигнал опасности, тем самым уже на расстоянии отпугивает ее от завесы (рисунок 4).



Рисунок 4 – Воздушная магистраль на дне водоема

У большинства рыб развит слух, а вода является хорошим проводником звука, поэтому рыбы очень чувствительны к шуму. Для рыб, живущих в условиях плохой видимости, реакция на звук является условием выживания и размножения. Когда рыба приближается к источнику звука, громкость увеличивается. Это отпугивает ее или заставляет удалиться до того, как громкость достигнет болевого порога.

Согласно исследованию Вебба [40] гидродинамическое и акустическое поле, создаваемое пузырьковой завесой, может гарантировать четкую

реакцию уклонения у рыб. Что касается гидродинамического поля, то интерес представляют колебания скорости и турбулентность, создаваемые пузырьковой преградой; с акустической точки зрения анализируется уровень звукового давления, создаваемый пузырьками. Рыбы обнаруживают поля скорости и звука боковой линией (сенсорным органом, который обнаруживает движения и вибрации в воде и который помогает видам избегать столкновений, находить добычу) и слуховой системой (внутренним ухом). Боковые линии обнаруживают движение частиц, а внутреннее ухо – колебания давления.

Анализируя разработки и реализованные проекты по установке РЗУ с воздушно пневматическими завесами (ВПЗ) можно отметить большое разнообразие конструктивных и технических решений.

«Универсальность применения завес проявляется в том, что они способны успешно функционировать в составе водозаборных сооружений, отличающихся разной производительностью от малых до больших объемов, забираемой на потребление воды, а также способами и условиями приема воды, конструктивными особенностями водоприемников и т.д. Позитивным является то, что ВПЗ способна успешно работать при заборе воды из водотоков и водоемов со сложными гидрологическими и гидравлическими условиями» [40].

Экспериментальные и научные исследования, проведенные с помощью программного обеспечения Fluent и в лабораторных условиях в национальном институте исследований и разработок в области электротехники ICPE-SA в Бухаресте, показали, что наличие пузырьковой завесы влияет на поле течения и может выступать в качестве нефизического барьера для направления рыбы, чтобы уменьшить ее случайное попадание в водозабор [36, 38].

Для изучения поведенческого барьера водозаборов была спроектирована и создана экспериментальная установка,

предусматривающая анализ гибридной системы – водозабора, работающего совместно с пузырьковой завесой.

Для проведения испытаний используется перфорированная пластина шириной 55 мм и длиной 400 мм. Она имеет 440 отверстий диаметром 4 мм. На рисунке 5 изображены детали перфорированной поверхности заборника. Во время экспериментов не все 440 отверстий могли быть использованы, поскольку резервуар внизу и приемная камера были затоплены и переведены в режим работы всасывания. Поэтому для предварительных испытаний использовались только первые ряды сверху (с числом перфорированных отверстий 80). Таким образом, в нижнем резервуаре мог поддерживаться постоянный уровень, обеспечивая гравитационный поток.

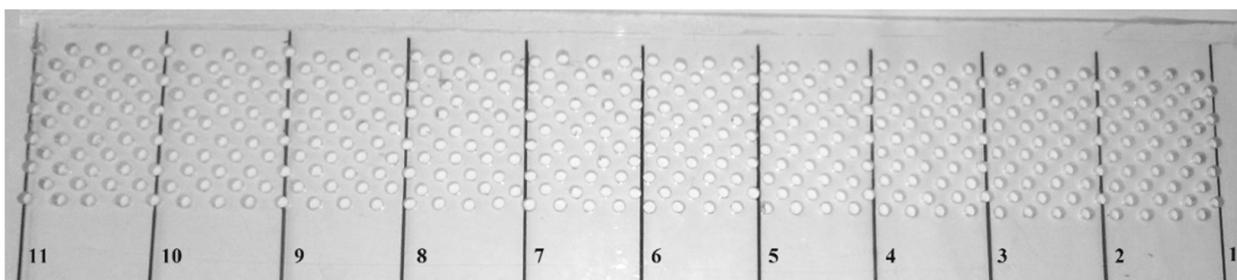


Рисунок 5 – Деталь перфорированной поверхности воздухозаборника

Для системы управления рыбой в основании приемной камеры была установлена система генерации воздушных пузырьков, которая в свою очередь была подключена к компрессору для подачи сжатого воздуха. В контуре сжатого воздуха установлены клапан регулирования расхода и расходомер для измерения его величины. Два основных компонента исследуемой гибридной системы – поведенческий барьер модели экологического водозабора – интегрированы в гидравлический стенд замкнутого контура (рисунок 6) снабжен прозрачной областью визуализации (375×300×1015 мм) из оргстекла (полиметилметакрилата).



Рисунок 6 – Гидравлический стенд с замкнутым контуром

Стенд представляет собой гидравлический блок, выполненный в герметичной и съемной модульной конструкции, в котором осуществляется циркуляция чистой воды по замкнутому контуру. Основными модулями стенда являются испытательная секция, бак, рециркуляционные насосы и двигатели с переменной скоростью. Гидравлический стенд замкнутого контура имеет систему измерения и контроля расхода и скорости воды в канале, а также систему сбора и обработки данных. Таким образом, он позволяет регулировать скорость потока воды, обеспечивая скорости от 0,05 м/с до 1 м/с в испытательной секции.

Для экспериментальной модели гибридного экологического забора с использовалась часть системы сбора данных, связанная со скоростью воды.

Скорость воды измерялась с помощью трубки Пито-Прандтля, расположенной параллельно направлению потока (рисунок 7).

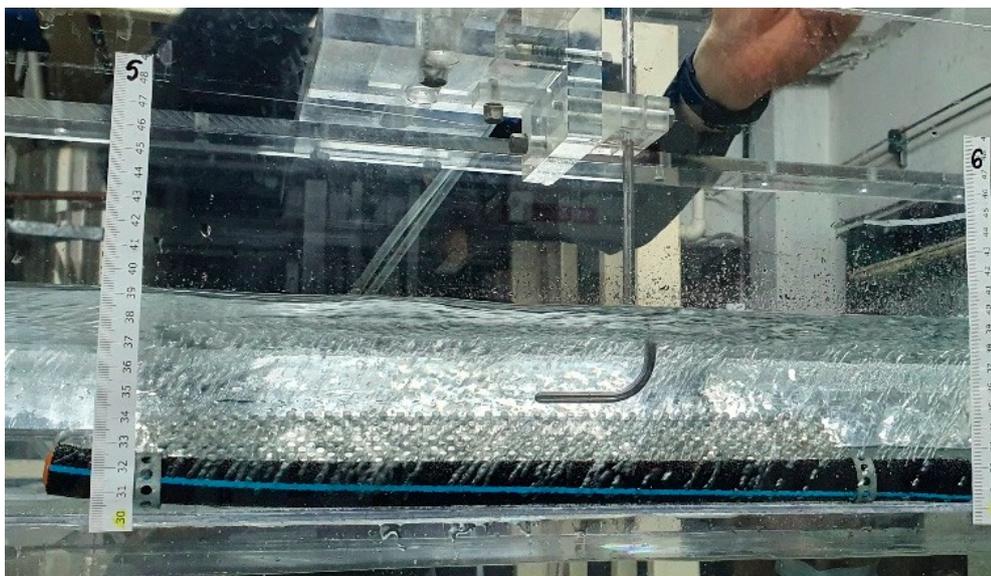


Рисунок 7 – Трубка Пито-Прандтля для измерения скорости воды

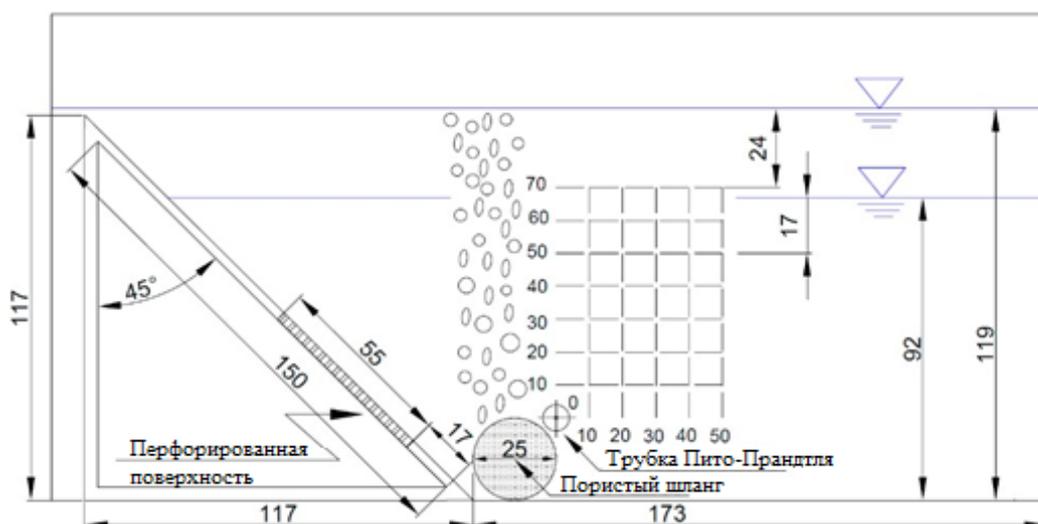


Рисунок 8 – Расположение точек измерения скорости для двух различных глубин воды в канале

В канале экспериментального стенда перед выполнением измерений устанавливается требуемая скорость. Расход воды через модель водозабора измеряется с помощью интеллектуального ультразвукового расходомера.

Расход воздуха через диффузор пузырьков измеряется с помощью расходомера со шкалой от нуля до 20 л/мин, с точностью 5 % от полной шкалы. Скорость воды для каждой точки, показанной на рисунке 8, измеряется трубкой Пито, которая подключена к датчику перепада давления.

При глубине воды 92 мм скорость измерялась в 36 точках (от нуля до пятидесяти по горизонтали и вертикали), а при глубине воды 119 мм скорость измерялась в 42 точках (от нуля до пятидесяти по горизонтали и от нуля до семидесяти по вертикали соответственно).

На рисунке 9 экспериментальная представлена установка водозабора и поведенческого барьера. Прозрачная секция просмотра позволяет наблюдать явления и измерять уровень воды. Сверху экспериментальной установки трубка Пито-Прандтля скользит по точкам измерения.



Рисунок 9 – Изображения экспериментальной установки водозабора и поведенческого барьера

Оценка влияния пузырьковой завесы на течение воды внутри канала проводилась путем анализа изменения скорости в вертикальном направлении, где были выявлены определенные зависимости между расходом воздуха, глубиной воды и скоростью [37].

Влияние пузырьковой завесы на скорость воды исследовалось для двух глубин воды ($H = 92$ мм и $H = 119$ мм), двух скоростей воды внутри канала (0,33 м/с и 0,535 м/с) и двух скоростей потока воздуха (10,5 л/мин и 15 л/мин). Скорости сравнивались со случаем, когда воздух не подавался

(0 л/мин), чтобы определить влияние пузырьковой завесы на поток воды. Скорость воды внутри прозрачного канала экспериментальной установки была выбрана в диапазоне от 0,33 м/с до 0,535 м/с, чтобы охватить типичные скорости воды большинства рек.

Профили скорости воды были экспериментально определены как на разных глубинах воды, так и при разных скоростях потока воды в испытательном канале, а также при разных скоростях потока воздуха, подаваемого через воздушный шланг, создающий пузырьковую завесу. Кроме того, исследование проводилось на маломасштабной гибридной экспериментальной модели, которая включает как экологический речной водозабор, не влияющий на морфологию реки, так и систему управления рыбой, основанную на поведенческих барьерах; исследовалась не только работа модели речного водозабора, но и тандемная работа компонентов гибридной модели. Изменения скорости воды, вызванные пузырьковой завесой, представляют интерес, поскольку компонент боковой линии сенсорной системы рыб состоит из поверхностных (волосковых клеток) и канальных невромастов, которые фактически являются детекторами скорости и градиента давления соответственно, размещенными на теле рыбы. Они дают рыбам неврологические ответы на гидродинамические стимулы воды, вызванные их собственным движением, волнами воды, вихревой рециркуляцией или звуками от разрыва пузырьков воздуха или абиотических источников.

Как гидродинамические, так и звуковые стимулы подают центральной нервной системе рыбы сигнал об опасной среде и заставляют ее уплывать.

Чтобы сделать систему направления рыб энергоэффективной, необходимо определить минимально необходимую скорость воздушного потока, которая приведет к увеличению локальной скорости вблизи водозабора. Учитывая, что каждый вид рыб имеет особые характеристики, это решение должно быть адаптировано к предполагаемым особенностям рыб.

В ходе проведенных испытаний влияние скорости воды из-за использования системы генерации пузырьков было выявлено путем измерения скоростей воды в различных точках поперечного сечения экспериментального канала. Наличие пузырьковой завесы может действовать как поведенческий барьер для рыб из-за изменения профилей скорости в рассматриваемой области и уровня звукового давления. Более того, путем размещения пузырьковой завесы в непосредственной близости от входа водозабора, где эффект всасывания является значительным, линии тока изменяются, способствуя отклонению этого направленного потока и удерживая рыбу от области забора. Таким образом, отдельно или в сочетании с другими поведенческими барьерами пузырьковая завеса может способствовать безопасному отклонению рыбы в сектор ниже по течению, значительно снижая риск случайного попадания в ловушку.

1.3 Анализ существующих технических решений РЗУ на водозаборных сооружениях ковшевого типа

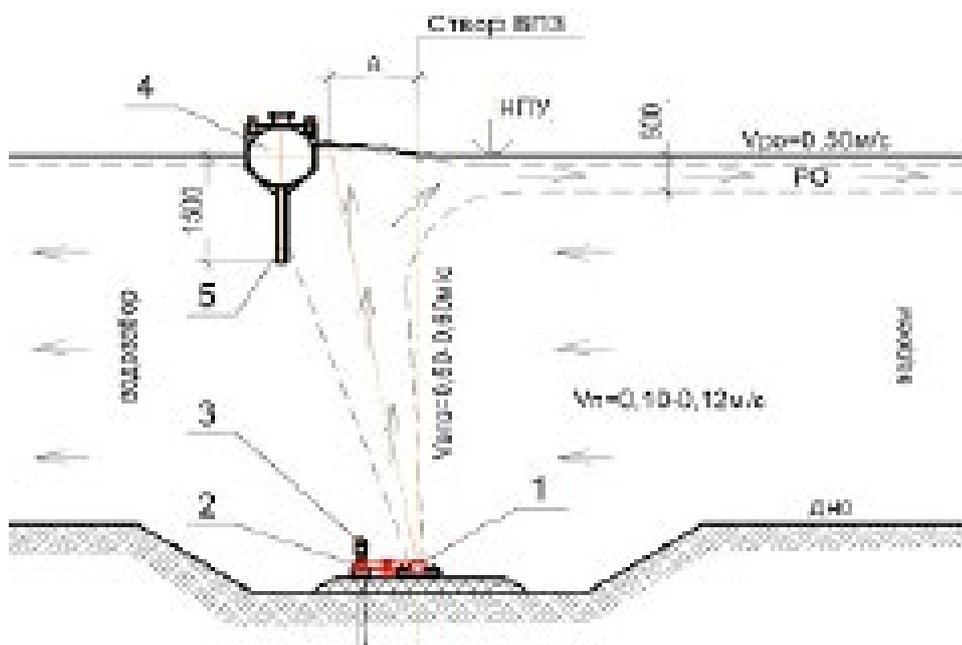
«Анализ существующих технических решений РЗУ и схем применения ВПЗ показывает, что зачастую практически один и тот же состав рыбозащитного устройства или его элементов с различной степенью эффективности применяется при отборе воды водоприемниками как с сходным, так и различным конструктивным, гидротехническим оформлением» [34].

Для более наглядного представления об эффективности применения рыбозащитных устройств на водозаборных станциях ковшевого типа был выполнен анализ действующих водозаборов.

В районе водозаборных сооружений Ангарской нефтехимической компании (АНХК) установлены рыбозащитные сооружения, создающие мощную водо-воздушную завесу. Эта завеса служит для отпугивания молоди рыб, предотвращая её затягивание в водоподъемную систему компании.

Благодаря этому решению удастся сохранить популяцию рыбной молоди и способствовать её росту. В 2016 году специалисты ФГБУ «Байкалрыбвод» провели исследования, подтвердившие высокую эффективность данных рыбозащитных сооружений на реке Ангара. Их работа включала комплексные ихтиологические исследования и оценку воздействия технических водозаборов АНХК на биологические ресурсы реки.

Специалисты Татарского филиала ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» определили, что эффективность рыбозащитных устройств на береговой насосной станции № 1 Кармановской ГРЭС – филиала ООО «БГК» составляет 86,66 %. Модернизация этих устройств была осуществлена ООО МП «Гидроремонт» в период с 2019 по 2021 год. При выборе технического решения специалисты ООО «БГК» детально изучили имеющиеся на рынке предложения и выбрали проект, который успешно зарекомендовал себя на аналогичных объектах и получил положительные отзывы от рыбохозяйственных и научных организаций. В рамках модернизации на станции были установлены воздушно-пузырьковая завеса перед входом в водоприемный ковш, которая отпугивает рыбу от водозабора, и наплавная запань, направляющая молодь рыб из зоны водозаборных сооружений (рисунок 10). Эти меры значительно повышают выживаемость рыб и их молоди при попадании в зону влияния водозабора. Гидрологические и ихтиологические исследования, а также учет попадания рыб в водозаборные сооружения Кармановской ГРЭС были проведены специалистами института в начале ноября 2021 года.



1 – перфорированная труба пневмозавесы (ВПЗ), 2 – распределительный трубопровод, 3 – воздуховод, 4 – труба понтона запани, 5 – юбка запани

Рисунок 10 – Поперечный разрез комплексного пневматического РЗС

«Результаты апробации комплексного РЗС с использованием пневматической завесы и непроницаемого экрана (наплавная запань), полученные нами в период исследований 2021-2022 г. на Кармановской ГРЭС ООО «БГК», подтверждают эффективность данного типа рыбозащитного сооружения, полученного на других водозаборах крупных энергетических объектов, оборудованных данным типом РЗС:

- на двух водозаборах ЦБК АО «Группа ИЛИМ») – 96 % (2017 г.);
- на водозаборе Среднеуральской ГРЭС – 80,5 % (2017-2018 г.);
- на водозаборе Яйвинской ГРЭС – 87,58 % (2021 г.)» [15].

Чтобы сократить негативное воздействие на водный объект, на Кемеровской ГРЭС был разработан и реализован экологический проект, а рамках которого береговая водонасосная станция оборудована специальным рыбозащитным устройством (рисунок 11), которое поможет задерживать не менее 90 % рыбной молоди. Проект рыбозащитного устройства для Кемеровской ГРЭС одобрен Верхнеобским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству.



Рисунок 11 – РЗУ Кемеровской ГРЭС

«На большинстве ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» установлены рыбозащитные сооружения типа «водо-воздушная завеса», с применением гидродинамического кавитатора» [24] (рисунок 12), РЗУ характеризуются высокой надежностью, экономичностью и эффективностью. Эффективность рыбозащитных устройств, подтверждённая актами ЦУРЭН, Мосрыбвода и районных рыбоохран, составляет 72-85 %.

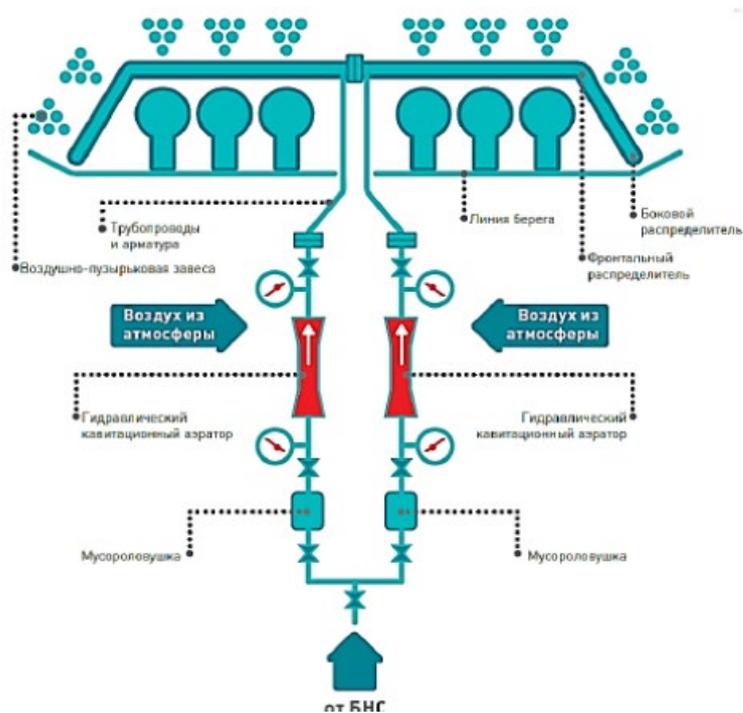


Рисунок 12 – Схема РЗУ ТЭЦ ПАО «Мосэнерго»

«Определение функциональной эффективности комплексного РЗУ водозабора Каширской ГРЭС-4 (рисунок 13) выполнялись специалистами НИЛ «Гидроэкология» совместно с представителями госинспекции рыбоохраны в 1995-1996 годах. Уровень эффективности применения РЗУ в целом за сезон в 1995 г. составил 75,0 %, 1996 г. – соответственно 76,47 %. Учитывая положительные результаты апробации РЗУ на водозаборе Каширской ГРЭС-4, аналогичные технические решения приняты к проектированию на водозаборах энергетического назначения: Смоленской ТЭЦ-2, Смоленской ГРЭС, Новополоцкой ТЭЦ, Новочеркасской ГРЭС» [34].

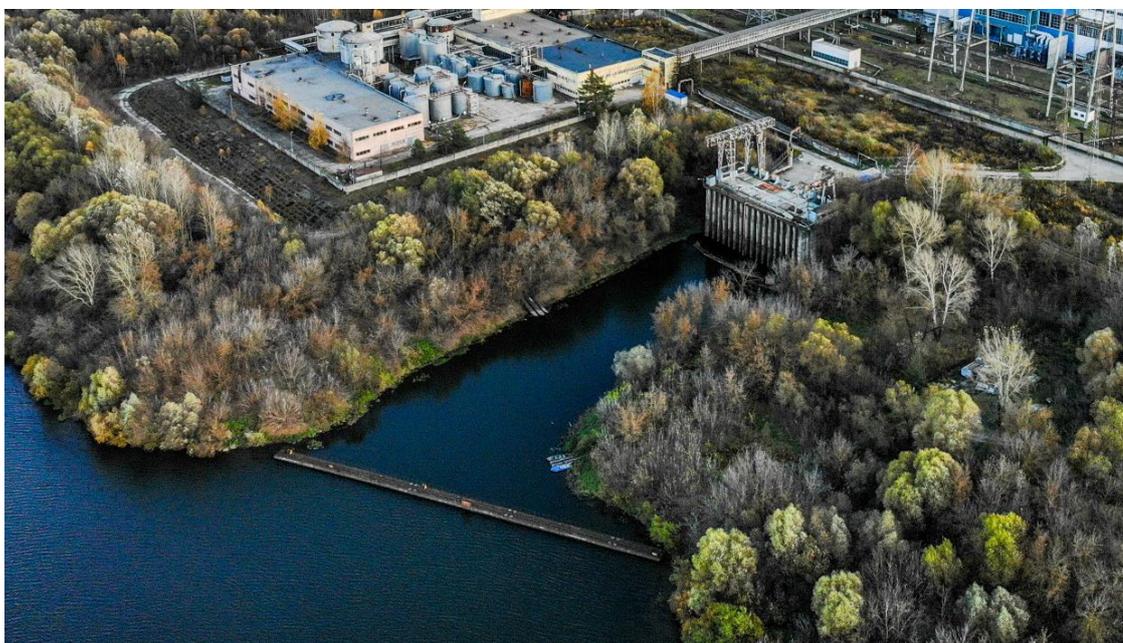


Рисунок 13 – Водозабор Каширской ГРЭС-4

«Водозаборное сооружение Астраханской ГРЭС используется для подачи воды на технические нужды промышленно-энергетических предприятий г. Астрахани. Для защиты рыб от попадания в водозабор в водоприемных окнах насосной станции установлены типовые сороудерживающие и рыбозащитные устройства в виде вертикально движущейся сетки с ячейей 5×5 мм и двухсторонним подходом потока воды. Оценка гидравлических условий в зоне влияния водозабора в протоке и в

водоприемном ковше показала, что по условиям отведения рыб в ковше рыбозащитные устройства не отвечают нормативным требованиям» [18].

Водозабор г. Сыктывкара на р. Вычегде выполнен в виде водоприемного ковша с низовым входом, который полностью врезан в берег, для снижения заиления входной части ковша предусмотрено устройство каменно-набросной шпоры. «Для забора воды предусмотрена установка двух водозаборных оголовков, которые оборудованы фильтрующими рыбозащитными панелями толщиной 50 мм из порозласта с гравийным наполнителем фракции 12-16 м [14]. По результатам оценки эффективности применения данного вида рыбозащиты был получен положительный результат.

Технический водозабор Ангарского электролизного химического комбината (АЭХК). Рыбозащитное устройство, работающее на принципе восходящей водовоздушной завесы с использованием гидравлического кавитационного аэратора фирмы ИНТРЭК (рисунок 14, 15). «Эффективность подобной схемы РЗУ составляет примерно 80 %, что обеспечивает достаточно высокую сохранность рыбных ресурсов р. Ангары» [13].

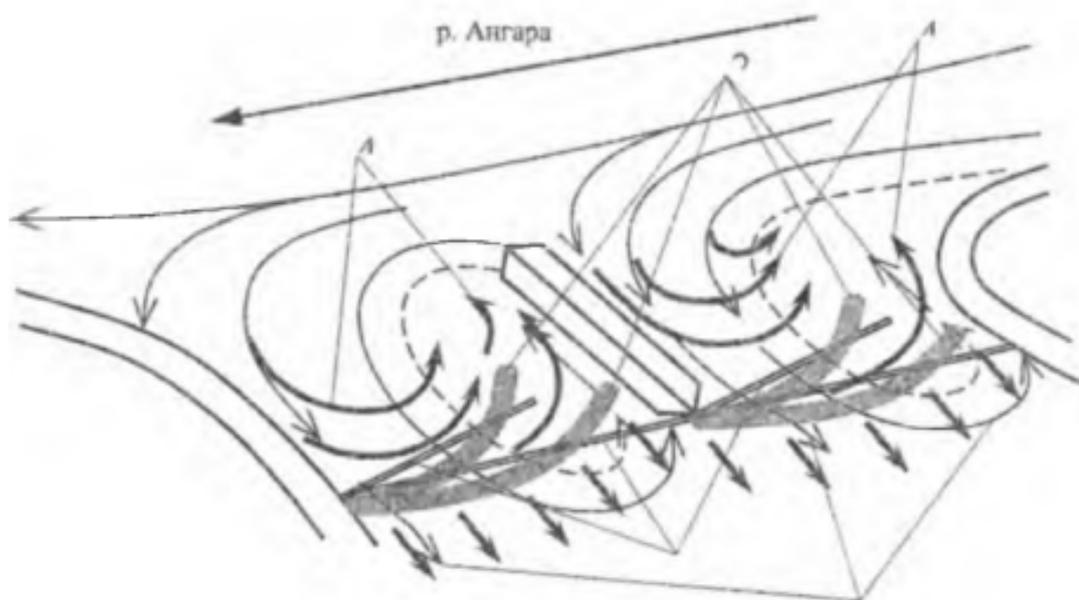


Рисунок 14 – Схема установки рыбозащитного устройства на основе V-образной водовоздушной завесы технического водозабора Ангарского электролизного химического комбината

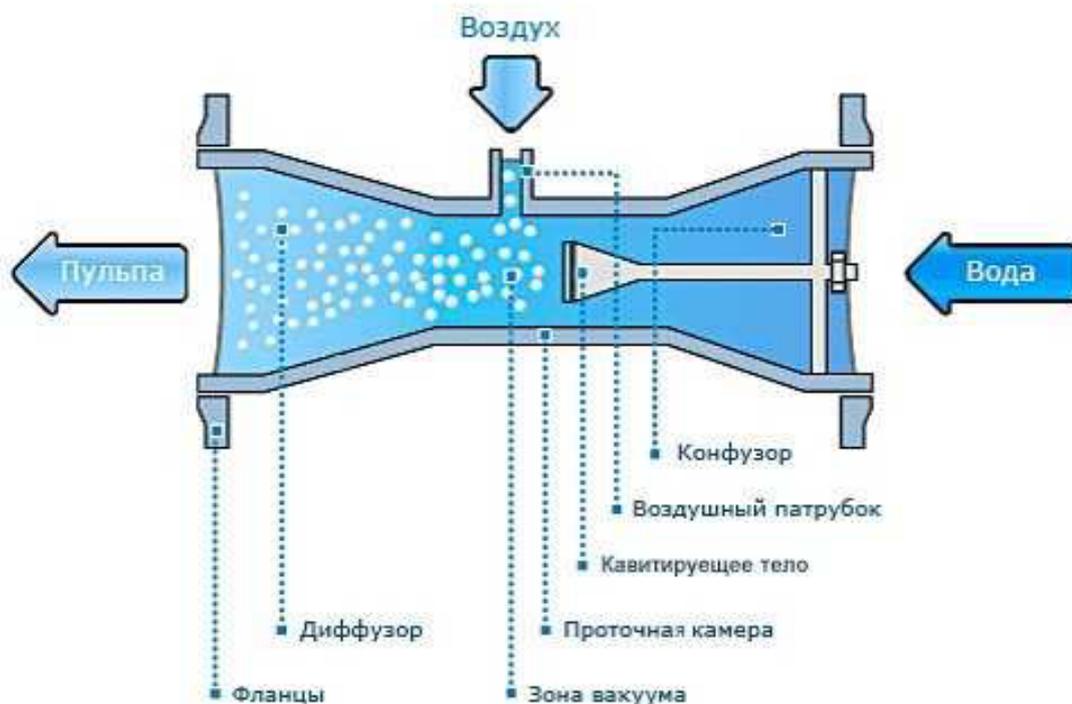


Рисунок 15 – Гидравлический кавитационный аэратор

Анализируя результаты оценки эффективности выше представленных водозаборных станций ковшевого типа, можно сделать вывод об эффективности применения физиологического рыбозаградителя в виде водовоздушной завесы, установленной на входе в ковш.

1.4 Положительный эффект применения водовоздушной завесы на водозаборных сооружениях ковшевого типа

Применение водовоздушной завесы на водозаборных сооружениях ковшевого типа обладает рядом преимуществ:

- применение в конструкции устройства аэрирующих модулей не приводит к загрязнению нефтепродуктами окружающей среды за счет отсутствия трущихся элементов в системе. Водовоздушная смесь образуется в сопловом аэраторе за счет потребления воздуха из атмосферы;

- в отличие от воздушно-пузырьковой системы с малым диаметром перфорации применение водовоздушной смеси позволяет увеличить диаметр отверстия перфорирующего коллектора до 12 мм, тем самым увеличивая период технического обслуживания системы для предотвращения ее от зарастания водорослями;
- применение водовоздушной смеси создает условия, позволяющие использовать данную систему не зависимо от глубины установки распределителя;
- предлагаемое конструктивное решение позволяет проводить регламентные водолазные работы по очистке практически любого из засорившихся участков схемы РЗУ без их демонтажа и поднятия на поверхность;
- установка РЗУ ВВЗ на входе в водозаборный ковш обеспечивает создание в выбранном месте линии рыбозащитного фронта в виде сплошного восходящего водовоздушного потока от дна до уреза воды;
- высокая производительность и надежность;
- подача вместе с воздухом значительного количества воды приводит к повышению её температуры в верхних слоях и уменьшает вертикальные циркуляционные потоки, способствующие шугообразованию [23]. В зимний период в районе ВВЗ образуется не замерзающая полынья (рисунок 16).

Дополнительным преимуществом водовоздушной завесы является защита водозабора от взвешенного и плавающего мусора, который поднимается вверх к поверхности и отводится из зоны водозабора поверхностным течением. Это «РЗУ положительно влияет на гидрохимическое состояние, повышая содержание кислорода как летом, так и зимой за счет образования воздушных отверстий. Аэрация способствует окислению органических веществ в воде, тем самым способствуя снижению уровня эвтрофикации водной экосистемы» [11].



Рисунок 16 – Незамерзающая полынья в зоне работы РЗУ типа «водовоздушная завеса»

«Исследование особенностей гидробиологических характеристик развития зообентоса в условиях работы рыбозащитного сооружения по типу водовоздушной завесы (ВВЗ) на объекте энергетики, проведенные Калайда М.Л., Саетовым А.Р. и Хамитовой М.Ф. в августе 2022 года в районе водозабора Заинской ГРЭС с обработкой материалов в лаборатории кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета показало, что рыбозащитное устройство по типу водовоздушной завесы является техническим решением, которое в процессе работы изменяет физико-химические характеристики состояния экосистемы, особенно в придонном слое и грунте, тем самым формируя особенности зообентоса. Выявлено, что рыбозащитное сооружение (РЗС) по типу водовоздушной завесы (ВВЗ) не снижает видового разнообразия зообентоса. Установлено, что зона ВВЗ не препятствует воспроизводству моллюсков дрейссены, но приводит к снижению их численности от двух до пяти раз по сравнению с РЗУ с сетчатыми кассетами, что увеличивает

экологическую значимость ВВЗ с позиций борьбы с биообрастаниями на гидротехнических сооружениях» [12].

Практическая значимость данного исследования заключена в том, что «полученные данные были собраны в реальных условиях эксплуатации рыбозащитного сооружения энергетического предприятия, и они могут служить основой для разработки и улучшения методов минимизации негативных последствий антропогенного воздействия на природную среду [12].

Следует отметить, что конструкции типа «Водовоздушная завеса» рекомендованы к применению в качестве специальных рыбозащитных устройств Минрыбхозом СССР (письмо №02-52/4863 от 18.06.1984 г.).

Выводы по первой главе:

Забор воды из рек, озёр и водохранилищ необходим для удовлетворения потребностей населения и промышленности. Однако неконтролируемый забор воды может негативно сказаться на популяции рыб и общем состоянии водной экосистемы. Рыба, попадающая в водозаборные сооружения, подвергается риску травмирования и гибели, что ведет к сокращению численности популяций и нарушению естественного баланса в водоёмах. Поэтому внедрение эффективных мер рыбозащиты является обязательным условием для экологически безопасного использования водных ресурсов.

В настоящее время, наряду с модернизацией технологического оборудования водозаборных станций остро стоит вопрос об обеспечении безопасности рыбы при осуществлении забора воды из поверхностных источников водоснабжения. В зависимости от типа водозаборного сооружения, учитывая его параметры, а также климатические условия эксплуатации, в каждом конкретном случае подбирается такое РЗУ, которое обладает рядом свойств:

- эффективность применения;

- универсальность с точки зрения применения в водоемах различного вида;
- надежность;
- долговечность;
- простота обслуживания.

Совокупность этих свойств является преимуществом при выборе способа рыбозащиты.

Анализ эффективности РЗУ водозаборных станций ковшевого типа позволяет сделать вывод о эффективности применения физиологического рыбозаградителя в виде водо-воздушной завесы, установленной на входе в ковш.

Выявлены исключительно положительные экологические эффекты:

- улучшение качества воды в водоемах за счет восстановления кислородного баланса, активного биохимического окисления органических веществ;
- механическое очищение водоема за счет удаление взвешенного мусора;
- положительное влияние на биоресурсы за счет улучшение условий обитания водных организмов, повышение качества среды для рыб.

Таким образом, водовоздушная завеса РЗУ оказывает комплексное положительное воздействие на экологическое состояние водоема. Эффективность такой системы составляет 80%, что на 14.29% превышает нормативные показатели.

Глава 2 Береговая насосная станция первого подъема в составе системы водоснабжения ТЭЦ-10 в городе Ангарске Иркутской области

2.1 Общая характеристика гидроузла

«Иркутская ТЭЦ-10 расположена в городе Ангарске Иркутской области, на юге города, южнее станции Суховская Восточно-Сибирской железной дороги» [10].

Первый энергоблок станции был пущен в 1959 году. В апреле 1962 года станция взяла полную проектную нагрузку.

«ТЭЦ-10 работает в составе Иркутской энергосистемы, входящей в состав объединенной энергосистемы Сибири. Установленная электрическая мощность станции составляет 1110 МВт (8 % от суммарной мощности электростанций области и 28 % от мощности ТЭС Иркутскэнерго), установленная тепловая мощность – 563 Гкал» [10].

«ТЭЦ-10 производит тепловую и электрическую энергию для промышленных предприятий и населения Ангарска, является одним из основных источников тепловой энергии системы централизованного теплоснабжения города Ангарска, а также посёлка Мегет. Основными крупными промышленными потребителями тепловой энергии в городе являются Ангарский электролизный химический комбинат, Ангарская нефтехимическая компания, Ангарский завод полимеров» [10].

Основное оборудование ТЭЦ-10:

- теплофикационный турбоагрегат ПТ-60-90/13 мощностью 60 МВт, введённый в эксплуатацию в 1959 году, предназначенный для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Они работают по принципу теплофикации, когда часть тепла, выделяемого при производстве электричества, используется для отопления и горячего водоснабжения;

- семь конденсационных турбоагрегатов К-150-130 единичной мощностью 150 МВт, введенных в эксплуатацию в 1960-1962 гг., вырабатывающих только электрическую энергию без использования отработанного тепла. Они эффективны в условиях, когда нет потребности в большом количестве тепловой энергии. Особенность их применения заключается в том, что их используются в периоды пиковых нагрузок или в летний период, когда потребность в тепле минимальна;
- два угольных котла ТП-10 единичной паропроизводительностью 220 т/ч;
- 14 угольных котлов ПК-24 единичной паропроизводительностью 270 т/ч.

«Основное топливо – уголь, доставляемый железнодорожными составами и складированный на угольном складе на территории ТЭЦ» [10].

Для обеспечения работы ТЭЦ осуществляется забор воды из реки Ангара, обладающей большими запасами воды, используемой для охлаждения и других технологических процессов.

Обзорная схема водозабора ТЭЦ-10 на реке Ангара Иркутской области представлено на рисунке 17.



Рисунок 17 – Обзорная схема водозабора ТЭЦ-10 Иркутской области

Береговая насосная станция первого подъёма входит в состав системы технического водоснабжения ТЭЦ-10 и предназначена для подачи воды из протоки Еловая реки Ангара через водозаборный ковш и включает в себя:

- водозаборный ковш,
- водоприемник,
- циркуляционные насосы,
- вспомогательные насосы.

На рисунке 18 представлено здание береговой насосной станции первого подъёма.



Рисунок 18 – Береговая насосная станция ТЭЦ-10 Иркутской области

Насосная станция оснащена автоматизированными системами управления, которые контролируют все процессы, связанные с забором, перекачиванием и распределением воды.

Водозаборный ковш.

Водозаборный ковш предназначен для забора воды из р. Ангара и подводу её к водоприёмнику насосной станции. Водозаборный ковш

выполнен в виде прорези в коренном левом берегу протоки «Еловая» р. Ангара под углом 135 градусов к потоку.

Водозаборный ковш представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Водозаборный ковш ТЭЦ-10 на реке Ангара Иркутской области

Водозаборный ковш имеет следующие технические характеристики:

- максимальный расход воды – 113500 м³/час;
- минимальный эксплуатационный уровень воды – 410,56 м;
- максимальный уровень воды – 417,09 м;
- ширина ковша по дну – 36 м;
- общая длина ковша – 200 м;
- уклон откосов – 1:2,5;
- средняя скорость воды в ковше – 0,2 м/сек;
- отметка дна ковша перед насосной – 405,95 м;
- отметка дна на входе в ковш – 408 м.

План водозаборного канала береговой насосной станции ТЭЦ-10 представлен на рисунке 20.

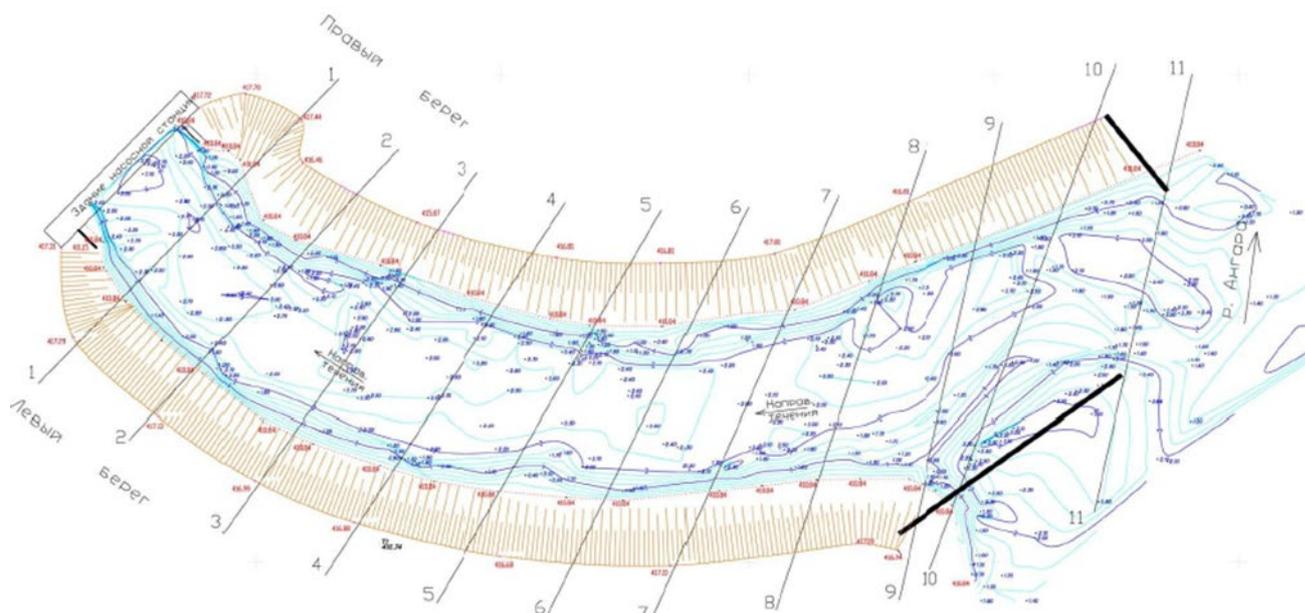


Рисунок 20 – План водозаборного канала БНС ТЭЦ-10

Водоприемник.

Водоприемник береговой насосной станции разделен на шесть секций (по числу циркуляционных насосов), каждая из которых в свою очередь разделена на две полусекции. Разделительные стенки секций и полусекций выполнены железобетонными бычками, в которых выполнены пазы для установки ремонтных загораждений (по одному на полусекцию) и ремонтных затворов (по одному на секцию).

Подъем и опускание ремонтных загораждений, грубых решеток и ремонтных затворов выполняется электрическими таями при выровненных горизонтах воды.

Циркуляционные насосы.

На береговой насосной станции установлено шесть циркуляционных насосов, характеристики которых представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики циркуляционных насосов

Характеристика	Насос		
	ЦНВ – 1,6	ЦНВ – 2,4	ЦНВ – 3,5
Тип	130ДПВ-8/23	ОПВ-3-110	ОПВ-3-110
Подача, тыс. м ³ /час	14-29	16-19	16-19
Напор, мвс	25-12	22-16	22-16
Скорость вращения, об/мин	375	600	600
Мощность, кВт	1600	1400	1400
КПД, %	88	87,5	87,5
Диаметр рабочего колеса, мм	1300	1100	1100
Число лопастей	8	6	6
Отметка оси рабочего колеса, м	409	409	409
Минимальный подпор, мвс	2	2,3	2,3
Мощность электродвигателя, кВт	2500	1600	1500
Напряжение, кВ	6	6	6
Ток, А	306	186	173

Ледоотбойное сооружение и шпора.

Для отгона плавающих льдин и шуги на входе в ковш с левого берега установлено ледоотбойное сооружение (рисунок 21), выполненное в виде направляющей железобетонной стенки с пятью донными отверстиями.



Рисунок 21 – Ледоотбойное сооружение и шпора

Ледоотбойное сооружение длиной 60,6 м выполнено на левом берегу протоки Еловой реки Ангары и левом берегу водозаборного канала с целью создания необходимых гидротехнических характеристик для насосной станции ТЭЦ-10. Ледоотбойное сооружение установлено как естественное продолжение левого берега протоки Еловой, что обеспечивает не только ограждение от шуги в осенне-зимний и весенний периоды, но и является препятствием для рыб при покатных миграциях. Ледоотбойное сооружение выполнено из армированного бетона и имеет пять окон размером 5×2 м, нижняя граница окон находится на отметке 408 м, верхняя – 410 м. Высота сооружения составляет 8,8 м, верхняя граница предусматривается на отметке 416,3 м, что соответствует максимальному зазорному уровню 1 % обеспеченности. Ширина сооружения у основания составляет 3,4 м, верхней части – один метр.

Для улучшения гидравлического режима у входа в водозаборный ковш напротив ледоотбойного сооружения на правом берегу выполнена шпора (рисунок 17), длиной 14 м. Ширина шпоры у берега составляет 4,5 м, ширина в русловой части – один метр. Свободный створ водозабора составляет 45 м.

Таким образом, водозаборное сооружение ТЭЦ-10 расположено ниже по течению после излучины, образованной слиянием двух проток реки Ангары: Монастырской и Еловой, что обеспечивает транзитный поток, способствующий сносу молоди рыб за пределы входа в водозаборный ковш.

Ледоотбойное сооружение способствует защите молоди рыб, поскольку препятствует попаданию в водозаборный ковш молоди рыб при покатных миграциях.

2.2 Результаты водолазного обследования объекта

В 2021 году ООО «СК Сибрегион Гидрострой» проводилось водолазное обследование строительных конструкций подводной части ледоотбойного сооружения береговой насосной станции, шпоры на

противоположном берегу, и канала, наполняющего водозаборный ковш. Контроль состояния окон ледоотбойного сооружения с определением объема засоренности проводился с внутренней стороны сооружения. Промер глубин производился ручным водолазным глубиномером.

Схема обследования представлена на рисунке 22.

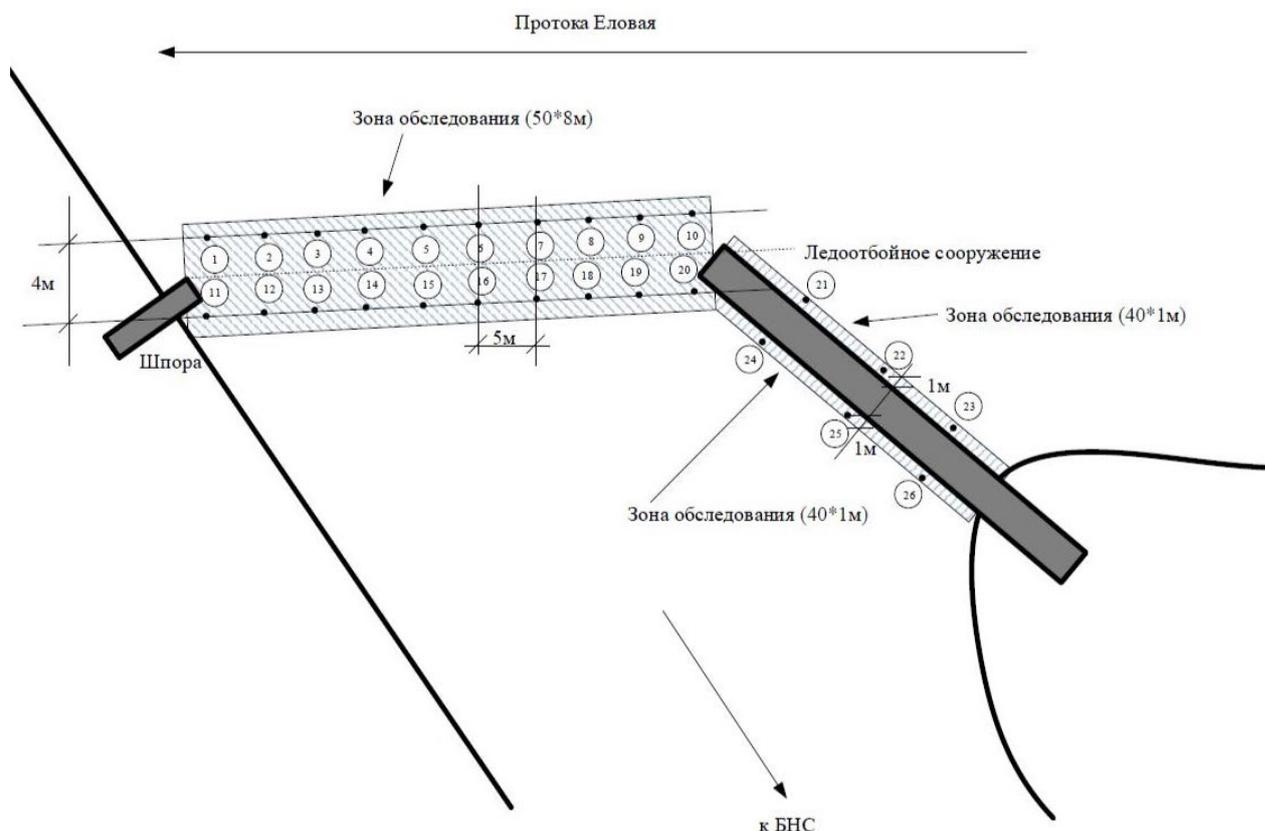


Рисунок 22 – Схема обследования

По результатам обследования ледоотбойной стенки было установлено, что с внутренней стороны стенки бетонное основание возвышается над грунтом на 20 см, с внешней стороны основание идет на одном уровне с грунтом. Имеются участки эрозии и сколов бетона (до 100 мм в диаметре, до 20 мм глубиной) в результате абразивного воздействия потоков воды. В ледоотбойной стенке имеются пять окон, высотой два метра и шириной пять метров.

Окно №1 (нумерация окон вводится от берега).

С внешней стороны окна имеются прижатые течением реки два бревна. Бревно диаметром 20 см прижато горизонтально, поперек окна. Ближе к нижней части. Бревно диаметром 40 см и длиной около семи метров прижато по диагонали, под углом 45 градусов, относительно горизонтальной плоскости. С внутренней стороны стенки на бетонном основании имеется нанос гравелисто-галечного грунта размером 100×100 см и высотой 30 см в углу стенки, примыкающего к берегу.

Окна №2, №3, №4.

Окна чистые. Препятствия, мешающие свободному потоку воды, отсутствуют. Дно окон чистое, наносы грунта отсутствуют.

Окно №5.

С внешней стороны окна имеются прижатые течением реки бревно и брус сечением 150×150 мм. Бревно диаметром 30 см и длиной около шести метров прижато по диагонали, под углом 25 градусов относительно горизонтальной плоскости поперек окна, ближе к нижней части. Брус прижат по диагонали, под углом 45 градусов относительно горизонтальной плоскости, ближе к верхней части. С внутренней стороны на бетонном основании с правой стороны имеется нанос гравелисто-галечного грунта размером 800×800 см, высотой 20 см.

Участок дна между ледоотбойным сооружением и шпорой в основной своей площади представляет собой песчаник. Имеются участки гравелисто-галечного грунта максимальными размерами 200×200 см и глубиной до 15 см. Углублений, перепадов уровня дна не обнаружено. Глубина на данном участке варьируется от 3,5 до 4,3 м.

В таблице 3 представлены характеристики грунта основания, а также данные о наличии наносов в характерных точках обследования отображенных на рисунке 22.

Таблица 3 – Категория грунта основания

№ точки	Грунт основания	Наличие наносов грунта
1	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
2	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
3	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
4	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
5	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
6	IV категория – песчаник	ПГС до 10 см высотой
7	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
8	IV категория – песчаник	ПГС до 10 см высотой
9	IV категория – песчаник	ПГС до 15 см высотой
10	IV категория – песчаник	ПГС до 15 см высотой
11	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
12	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
13	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
14	IV категория – песчаник	Наносы грунта отсутствуют
15	IV категория – песчаник	ПГС до 10 см высотой
16	IV категория – песчаник	ПГС до 10 см высотой
17	IV категория – песчаник	ПГС до 10 см высотой
18	IV категория – песчаник	ПГС до 10 см высотой
19	IV категория – песчаник	ПГС до 15 см высотой
20	IV категория – песчаник	ПГС до 15 см высотой

Результаты замеров скорости течения воды представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Скорость течения воды

№ точки	Скорость потока, м/с
2	2,2
5	2
9	1,7
21	2,2
22	2,2
23	2,2
24	2,4
25	2,7
26	2,5

Замер скорости течения производился с помощью «метода, основанного на регистрации скорости плавущего тела, так называемый

поплавочный метод. Для измерения скорости потока применяются поплавки, которые запускают на поверхности потока. При этом скорость течения равняется скорости движения поплавок. Скорость движения поплавок определяют в зависимости от времени, за которое поплавок проходит определенное расстояние» [33]. Для замера использовались поплавки размером 50×100 мм, лазерный дальномер и секундомер.

2.3 Климатические характеристики района

По данным многолетних наблюдений метеорологических станций Ангарск и Иркутск, климат района – континентальный умеренного пояса, с морозной, малоснежной и продолжительной зимой и коротким жарким летом, с характерными значительными амплитудами годовых и суточных температур. Увлажнение умеренное, большая часть осадков выпадает в теплый период года. Эти черты климата тесно связаны с особенностями физико-географических условий и циркуляции атмосферы. Район Иркутска характеризуется средними температурами холодного периода от минус 12 °С до минус 20 °С, и теплого – от 16 °С до 20 °С. Порядка 450 мм осадков в год приходится на данный район.

Каждый период года имеет свои четко выраженные особенности.

«Зима – самый длинный период года с продолжительностью от 176 до 215 дней. В первой половине зимы температура интенсивно понижается и может опуститься на севере до минус 61°С. Самым холодным месяцем является январь. Для зимы характерно постоянство погоды. Обычно преобладает тихая, ясная, морозная погода. После 22 декабря увеличивается высота стояния солнца над горизонтом и продолжительность дня. Во второй половине января морозы медленно отступают, периодически могут быть дни с оттепелью. В феврале – начале марта отмечается максимальная высота снежного покрова» [6].

«Весна обычно непродолжительная, менее двух месяцев. Весенний период с температурами от 0 °С до 10 °С продолжается на юге области 42 дня, на севере – 29 дней. В этот период происходит разрушение и полный сход снежного покрова и льда на реках, начинается оттаивание почвы. В весенние месяцы погода большей частью неустойчива в связи с усилением циклонической деятельности, что увеличивает число дней с осадками. Вместе с увеличением высоты стояния солнца над горизонтом происходит интенсивный прогрев подстилающей поверхности и, соответственно, рост температуры воздуха» [5].

«Начало лета наступает с переходом температуры воздуха через 10 °С в сторону повышения и заканчивается с переходом в сторону понижения. Однако в начале июня могут отмечаться ночные заморозки даже на юге области. Продолжительность климатического лета на юге области составляет 107 дней, на севере – 84 дня. Самым теплым месяцем лета является июль. Для первой половины лета характерна ясная, солнечная, засушливая погода с редким чередованием дождей, как правило, кратковременных ливневых. Во второй половине лета чаще проходят циклоны с осадками, соответственно дождливых дней становится все больше. Для августа характерны утренние туманы, а в конце месяца отмечаются ранние заморозки» [6].

«Осень наступает с переходом температуры воздуха через 10°С в сторону понижения и продолжается до перехода через 0°С. В среднем ее продолжительность составляет от 41 дня на юге области до 38 дней на севере. В конце октября на территорию области начинает проникать воздух Северного Ледовитого океана; ночные температуры становятся отрицательными. На севере это происходит уже в начале октября» [6].

Появление первых ледяных образований (шуги, заберегов) наблюдается в середине октября. Средние даты начала осеннего ледохода приходятся на 15-20 октября. Средние сроки наступления ледостава – с 25 по 30 октября. При устойчивых похолоданиях ледяные образования на большинстве рек появляются в течение 1-2 дней.

По снимкам Сибирского центра Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», представленным на рисунках 23-25 можно проследить динамику ледостава в районе водозабора ТЭЦ-10 в период с 31 января по 2 февраля 2024 года.



Рисунок 23 – Ледовая обстановка в районе ТЭЦ-10 на 31 января 2024 года



Рисунок 24 – Ледовая обстановка в районе ТЭЦ-10 на 01 февраля 2024 года



Рисунок 25 – Ледовая обстановка в районе ТЭЦ-10 на 02 февраля 2024 года

Продолжительность ледостава составляет 190-200 дней. Вскрытие рек наступает с 5 по 10 мая и продолжается в среднем 34 дня.

2.4 Гидрологическая характеристика территории

Ангара – главная водная артерия области. Река Ангара, в бассейне которой проживает более 40 % населения Иркутской области, не только обеспечивает питьевой водой значительную часть населения, но и играет важную роль в рыбохозяйственном секторе.

Академик А. В. Винтер Байкал и Ангару определил как «бесценный дар природы, правильное и разумное использование которого явится неиссякаемым источником огромного количества весьма дешевой и в высшей степени качественной электрической энергии, освобождающей мускульный труд миллионов людей и в изобилии рождающей богатства для удовлетворения жизненных потребностей народа и интересов нашего государства».

«Водосборная площадь Ангары превышает миллион квадратных километров, причем воды Забайкалья и Монголии сначала собираются Байкалом, а уже затем попадают в Ангару. Бассейн реки вытянут с юго-востока на северо-запад на 1100 км, на юге он граничит с бассейном Байкала, на западе и севере – с бассейном Енисея, на востоке – с бассейном реки Лена. Уникальность Ангары, ее водного режима во многом определяется Байкалом, который ежегодно отдает реке более 60 км³ чистой пресной воды. Во всей Азии только одна Ангара вытекает из столь крупного озера сразу полноводным потоком, что обеспечивает равномерность стока воды в течение всего года. Общая длина Ангары 1826 км. Протяженность р. Ангары в пределах Иркутской области составляет 1107 км. Перепад высот от истока до впадения в Енисей – 378 м. Ангара обладает постоянством стока, имеет быстрое течение, прозрачную воду, на ней много порогов и перекатов, она поздно замерзает и рано вскрывается» [8].

Ангара выделяется среди рек Сибири своей необычной особенностью: несмотря на то, что река протекает через регионы с довольно суровыми зимними условиями, её замерзание начинается значительно позже по сравнению с другими реками как Сибири, так и европейской части России. Эта особенность связана с несколькими факторами. Во-первых, Ангара обладает достаточно быстрым течением, которое препятствует быстрому образованию льда на поверхности воды. Во-вторых, и, пожалуй, самое важное – это приток тёплых глубинных вод из озера Байкал. Эти воды поднимаются с больших глубин и поступают в реку, поддерживая её температуру выше точки замерзания дольше, чем у других рек региона.

«Освоение гидроэнергетических ресурсов Ангары требует в два раза меньше капиталовложений, чем на Волге и Днестре. Гидроэнергия, полученная на ангарском каскаде ГЭС, самая дешевая в стране. На Ангаре построены Иркутская, Братская, Усть-Илимская ГЭС. В результате этого Ангара в верхней и средней частях превратилась в цепь водохранилищ» [9].

«Саянские притоки имеют большие запасы гидроэнергии. Они являются важным источником питания Братского водохранилища. Широко использовались притоки для сплава леса, вырубавшегося в бассейнах рек. Сейчас сплав по этим рекам запрещен» [9].

2.5 Рыбохозяйственная характеристика территории

Характеристика видового состава ихтиофауны в рассматриваемых каналах основана на фондовых материалах ФГБНУ «ВНИРО».

Ихтиофауна реки Ангара представлена следующими видами рыб:

– сибирский елец *Leuciscus leuciscus* (Dybowski);

Самый массовый вид предгорных и равнинных водотоков бассейна Ангара. По образу жизни елец – типично речная рыба. Держится небольшими стаями на участках с чистым песчаным или каменистым дном. Обитает как в реках со значительной скоростью течения, так и в реках с медленным течением, илистым дном, с берегами, заросшими водной растительностью. Молодь ельца в нагульный период держится в прибрежной зоне русла реки, в период паводков часто оказывается в пойменных водоемах. Зимует елец в основном в крупных заливах, где ведет активный придонный образ жизни. Половозрелым становится на третьем-пятом году жизни. Нерест рыб протекает с конца мая до середины июня.

– плотва сибирская *Rutilus rutilus* (Pallas);

«Плотва населяет реки, озера, пруды. Предпочитает участки, заросшие растительностью. Держится на границе зарослей и открытой воды в местах с умеренным течением и теплой водой, стайный вид.

Живет до 20 лет. Туводная форма достигает длины 35 см и массы 1,3 кг. Полупроходные формы крупнее: длина до 51 см, масса до 2 кг.

Половой зрелости плотва достигает в возрасте 3-5 лет. Размножается весной (март-май) при температуре воды 8 °С и выше. Средняя длина личинок при выклеве 5,2-6,6 мм» [27].

Отмечается в Ангаре от её истока до устья, в крупных и средних притоках, имеющих равнинный характер, в большинстве равнинных озер бассейна.

– серебряный карась *Carassius auratus gibelio* (Bloch);

«Широко распространенный вид в бассейне Ангары и ее притоков, обитает преимущественно в пойменных озерах, старицах и прудах, в речных условиях немногочислен и предпочитает затоны, курьи и медленно текущие протоки» [27]. Мелкая форма карася может созревать в двух годовалом возрасте, нерестится в июне-июле при температуре воды от 15 °С до 20 °С в зарослях.

Карась характеризуется большой неприхотливостью к качеству воды. Он может продолжительное время переносить резкое уменьшение содержания растворенного в воде кислорода, которое не выдерживают другие рыбы. На зиму, как и при временном пересыхании водоема, караси закапываются в ил, где находятся без движения.

– окунь *Perca fluviatilis* (L.);

Мелкий окунь предпочитает для своего обитания неглубокие места с зарослями. Он живет в реке и протоках круглый год. В русле держится главным образом прибрежья с незначительными скоростями течения. Крупный окунь обитает на более глубоких участках рек.

Нерест происходит в мае и первой половине июня при температурах воды от 3 °С до 15 °С.

– щука *Esox lucius* (L).

«В реках постоянно обитает в прибрежной зарослевой зоне. Ведет исключительно хищный образ жизни. Молодь в первые месяцы жизни питается зоопланктоном, а при достижении длины четырех сантиметров переходит на питание молодью рыб, преимущественно карповых и окуневых.

Достигает 1,5 м и веса 3,5 кг, максимальный возраст 12-15 лет. Нерест начинается рано весной при температуре воды от трех до шести градусов,

сразу же за распадением льда в прибрежной мелководной зоне на глубине 10-30 см» [26].

2.6 Обоснование выбора места установки РЗУ с водовоздушной завесой

Отсутствие рыбозащитных устройств на водозаборе ввиду попадания молоди рыбы в камеры насосных агрегатов может привести к снижению популяции ихтиофауны на данном участке.

Д.С. Павлов и А.М. Пахоруков [21, 22] пришли к выводу, что гибель молоди при заборе воды происходит вследствие того, что она не может справиться с потоком воды, когда скорость в ячейках водозабора существенно выше критической скорости для рыб. Отношение этих показателей определяет некоторую пороговую величину, являющейся относительной скоростью фильтрации, которая не должна превышать интервал 0,79-0,99 (скорость фильтрации не должна быть выше 0,1 м/с). Эта скорость является пороговой для молоди рыб, когда, держась свободно по отношению к течению и окружающим ориентирам, она свободно передвигается в различных направлениях независимо от направления течения.

Согласно рекомендаций СП 101.13330.2023 [29] скорость транзитного течения воды в месте расположения рыбозащитного фронта РЗУ ВВЗ должна быть не более 0,1-0,15 м/с.

Определяем минимальную глубину:

$$H_{У\text{ мин}} = H_{\text{ мин}} - НД, \quad (1)$$

где $H_{\text{ мин}}$ – минимальный уровень воды, м;

НД – отметка дна на входе в ковш, м.

При минимальном уровне воды, равном 410,5 м и отметке дна на входе в ковш, равной 408,0 м, минимальная глубина по формуле (1):

$$H_{\text{мин}} = 410,5 - 408 = 2,5 \text{ м}$$

Определяем расчетное значение минимальной площади «живого» сечения по рыбозащитному фронту ВВЗ:

$$S_{\text{мин}} = H_{\text{мин}} \times LB + S_{\text{ок}}, \quad (2)$$

где LB – ширина створа водозаборного ковша между существующими бетонной шпорой и ледоотбойным сооружением, м;

$S_{\text{ок}}$ – площадь сечения окон ледоотбойного сооружения, м^2 .

По формуле (2) при ширине створа 45 м и площади пяти окон равной 50 м^2 :

$$S_{\text{мин}} = 2,5 \times 45 + 50 = 162,5 \text{ м}^2$$

Средняя скорость течения в предлагаемом месте размещения рыбозащитного фронта в створе водозаборного ковша при минимальном уровне воды:

$$V_{\text{ср}} = Q_{\text{ном}} / S_{\text{мин}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальная величина водопотребления, $\text{м}^3/\text{с}$.

При $Q_{\text{ном}} = 19,4 \text{ м}^3/\text{с}$ по формуле (3) $V_{\text{ср}} = 19,4 / 162,5 = 0,12 \text{ м/с}$.

Полученные расчетные данные позволяют сделать заключение, что существующие рекомендации о скоростях потоков в зоне установки РЗУ ВВЗ (скорость течения не должна превышать $0,1-0,15 \text{ м/с}$) на входе в водозаборный ковш выполняются. Это свидетельствует о том, что предложенное место установки РЗУ с водовоздушной завесой является оптимальным для создания линии рыбозащитного фронта в виде сплошного восходящего водовоздушного потока от дна до уреза воды р. Ангара.

Установка рыбозащитных устройств с водовоздушной завесой на входе в водозаборный ковш в створе между существующими бетонной шпорой и ледоотбойным сооружением обеспечит выполнение всех необходимых условий для эффективной защиты молоди рыб от попадания в водозаборные сооружения. Дополнительно, один луч рыбозащитного фронта будет закрывать существующие окна ледоотбойного сооружения, что дополнительно усилит защиту и минимизирует риск попадания молоди рыб в систему водозабора. Это решение позволит минимизировать ущерб, причиняемый ихтиофауне, и улучшить экологическую обстановку в районе водозабора.

Положительным эффектом установки РЗУ с водовоздушной завесой на входе в водозаборный ковш является так же предотвращение образование внутриводного льда и защита водозабора от взвешенного и плавающего мусора.

Выводы по второй главе:

Береговая насосная станция первого подъема в составе системы технического водоснабжения ТЭЦ-10 в городе Ангарске Иркутской области является важным объектом инфраструктуры, обеспечивающим подачу воды из реки Ангара для нужд станции. Станция оснащена современными автоматизированными системами управления, что позволяет эффективно контролировать процессы забора, перекачки и распределения воды.

Водозаборный ковш рассчитан на высокую производительность и оборудован ледоотбойным сооружением и шпорой для защиты от льдин и улучшения гидравлического режима. Водолазное обследование показало наличие некоторых проблем, таких как эрозия и сколы бетона на ледоотбойной стенке, а также присутствие древесных остатков в окнах ледоотбойного сооружения. В целом состояние конструкции признано удовлетворительным.

Климат района Ангарска характеризуется резкими колебаниями температур и малым количеством осадков, что влияет на работу водозаборной станции. Гидрологические особенности реки Ангара, такие как постоянство стока и позднее замерзание, создают благоприятные условия для функционирования станции.

Расположение станции на реке Ангара обуславливает необходимость наличия рыбозащитных устройств для предотвращения попадания молоди рыб в систему водозабора. Рекомендуется установка рыбозащитного устройства с водовоздушной завесой для минимизации ущерба ихтиофауне.

Для обеспечения безопасной и эффективной работы станции необходимо регулярное техническое обслуживание и возможная модернизация систем, включая установку современных рыбозащитных устройств. Это позволит снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить надежность работы станции.

Глава 3 Технологические решения рыбозащитного устройства с водовоздушной завесой на рассматриваемом объекте

3.1 Технологическая схема рыбозащитного устройства

В технологическом процессе рыбозащитного устройств типа «Водовоздушная завеса» используется вода протоки Еловая р. Ангара, которая возвращается в водоем в том же количестве.

При разработке мероприятий по рыбозащите объекта используется патент Российской Федерации на изобретение № 2452695 [25].

Рыбозащитное устройство с водовоздушной завесой (РЗУ ВВЗ), создаваемой системой модулей РЗУ, состоит из наземной части и подводной части.

Наземная часть РЗУ ВВЗ – питательные насосы, трубопроводы, запорная арматура, фильтр сороулавливающий, располагаемые в здании камеры переключений; защитный воздушный фильтр, расположен вне здания у ледоотбойного сооружения. На рисунке 26 представлена принципиальная технологическая схема РЗУ.

Подводная часть – питающий напорный трубопровод, модули РЗУ с перфорированными аэрирующими коллекторами и аэрирующими соплами, трубопроводы воздухопроводов.

Подача питательной воды на рыбозащитный фронт (подводная часть РЗУ ВВЗ – модули РЗУ) осуществляется насосами подачи воды на ВВЗ (рабочий и резервный). Насосы устанавливаются в камере переключений на отм. 0,000 (рисунок 27).

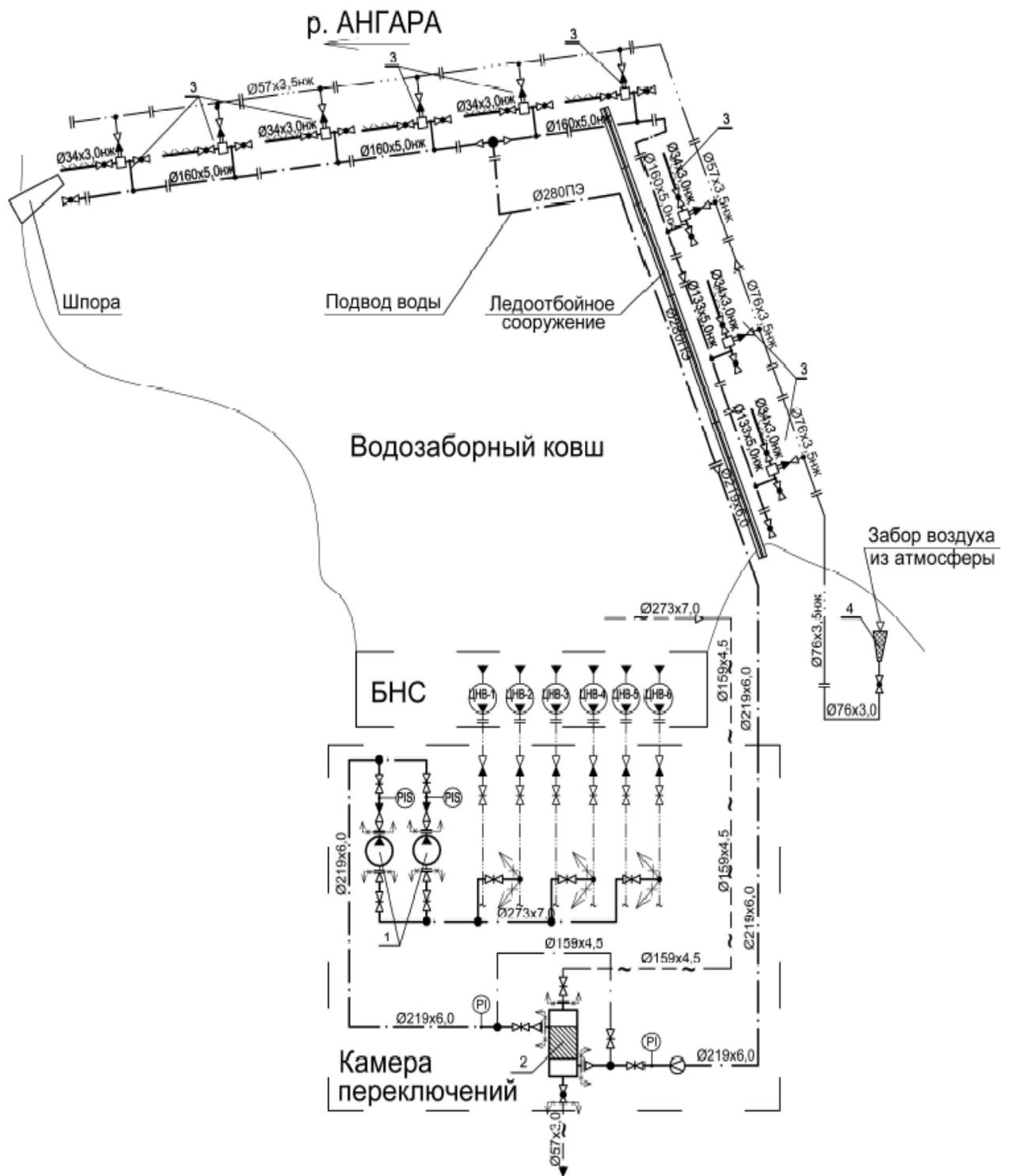


Рисунок 26 – Принципиальная технологическая схема РЗУ

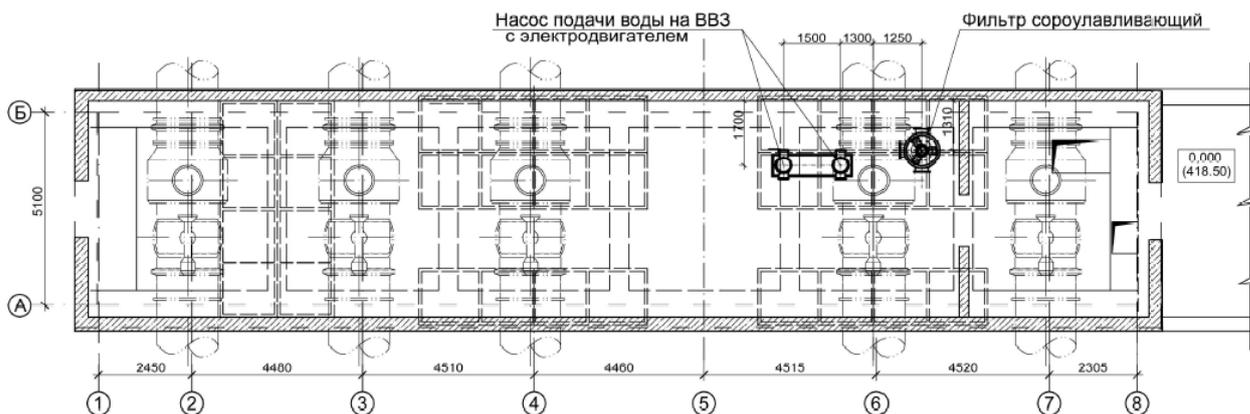


Рисунок 27 – Камера переключений

В здании камеры переключений: всасывающий трубопровод насосов подачи воды на РЗУ диаметром $273 \times 7,0$ мм выполнен из черной стали и подключен к каждому четному из шести существующих напорных трубопроводов за счет смонтированной на всасывающих трубопроводах запорной арматуры. Водовод подключается к существующим напорным трубопроводам и далее поднимается к установленному насосному оборудованию.

Напорный трубопровод питания модулей РЗУ ВВЗ в здании также выполнен из черной стали диаметром $219 \times 6,0$ мм, на котором дополнительно монтируется фильтр сороулавливающий со схемой обвязки, позволяющей производить периодическую регламентную промывку данного фильтра обратным током воды. Момент промывки фильтра определяется по показаниям манометров, установленных на входе в фильтр и выходе из фильтра. Промывочная вода через запорный кран сбрасывается по стальному трубопроводу диаметром $159 \times 4,5$ мм в водозаборный канал у подводной части здания БНС. Промывочный трубопровод идет по наземной эстакаде вместе с водоводом для питания рыбозащитного фронта РЗУ ВВЗ и выполнен в теплоизоляции с обогревом.

Общий вид РЗУ представлен на рисунке 28.

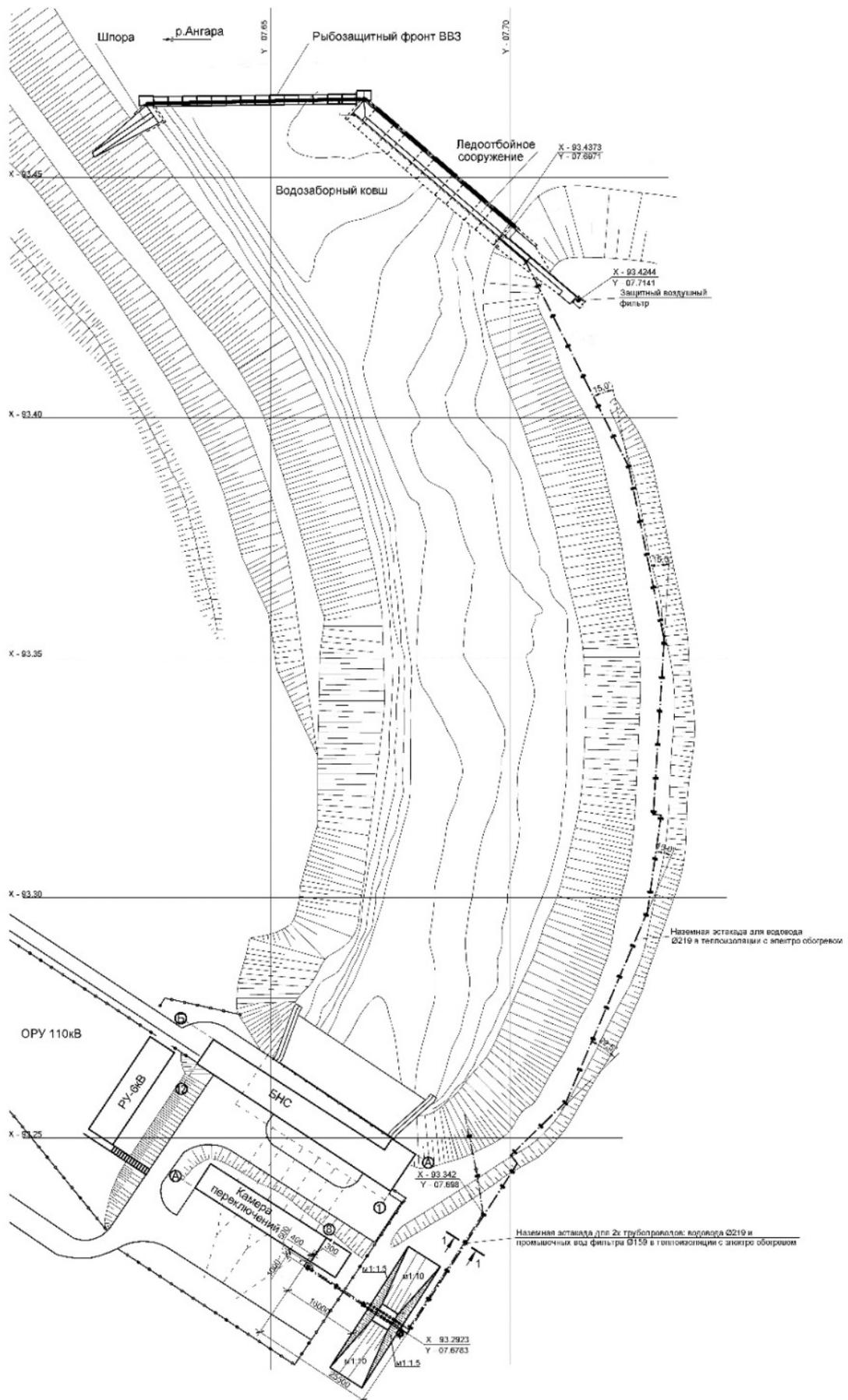


Рисунок 28 – Общий вид РЗУ

Напорный водовод для питания рыбозащитного фронта РЗУ ВВЗ выходит из камеры переключений и далее идет по наземной эстакаде по левому берегу водозаборного ковша и далее у ледоотбойного сооружения входит в воду на 0,5 м ниже минимального уровня воды. Наземная эстакада напорного водовода выполнена из стального трубопровода диаметром 219×6,0 мм в теплоизоляции с электрообогревом, что препятствует замерзанию трубопровода. При пересечении эстакадой трубопроводов дороги, в месте временного проезда автотранспорта над эстакадой выполнена защитная насыпь. Для безопасного прохода под дорогой трубопроводы водовода диаметром 219×6,0 мм и промывки фильтра сороулавливающего диаметром 159×4,5 мм прокладываются в футлярах диаметром 530×8,0 мм и диаметром 426×7,0 мм соответственно.

Опустившись под воду, напорный водовод увеличивает сечение и выполняется из термопласта, класс 5 (PE-100) диаметром 280ПЭ, крепится по стенке существующего ледоотбойного сооружения со стороны водозаборного ковша, выше окон, и подключается к рыбозащитному фронту РЗУ ВВЗ. Трубопроводы водоводов модулей РЗУ выполняются трубами диаметром 160×5,0 мм и диаметром 133×5,0 мм. Коллектора аэрирующие, входящие в состав модулей РЗУ, выполнены из трубы диаметром 34×3,0 мм, длиной 3,0 м с двадцатью перфорированными отверстиями диаметром 12 мм с шагом 150 мм. Последовательно соединенные между собой модули РЗУ перекрывают подводную часть створа водозаборного ковша между существующими бетонной шпорой и ледоотбойным сооружением, создавая сплошной восходящий водовоздушный рыбозащитный фронт. Дополнительно также, один луч модулей РЗУ рыбозащитным фронтом перекрывает существующие 5 окон ледоотбойного сооружения для защиты от попадания в ковш молоди рыб.

При подаче воды питательным насосом в водоподводящий коллектор в аэрирующих соплах, за счет конфигурации сечения их проточной камеры, образуется вакуумная зона, куда подсасывается воздух из атмосферы через

трубопроводы воздухопроводов. Сечение трубопровода воздуховода выбрано из условия обеспечения требуемого суммарного объема подсосываемого воздуха, исходя из того, что каждое аэрирующее сопло подсосывает 5-6 м³/час воздуха из атмосферы, а максимальная скорость воздуха в трубопроводе воздуховода должна быть не более 10 м/сек.

Сформированная в соплах водовоздушная смесь с выхода сопла подается на перфорированный коллектор аэрирующего модуля. За счет подобранных оптимальных скоростей течения в аэрирующем модуле и диаметра перфорированных отверстий, водовоздушная смесь равномерно распределяется по всей длине каждого аэрирующего коллектора. Одновременная работа всех коллекторов модулей аэрирующих, которые располагаются последовательно вдоль подводных водоподводящих трубопроводов модулей РЗУ, создается непрерывная водовоздушная завеса вдоль линий всего сформированного рыбозащитного фронта.

Засасывание атмосферного воздуха для подачи его каждому аэрирующему соплу модуля РЗУ осуществляется через защитный воздушный фильтр, от которого воздух поступает по трубопроводу воздуховода диаметром 76×3,0 мм вначале на фронт перед окнами ледоотбойного сооружения, затем диаметром 57×3,0 мм на основной рыбозащитный фронт.

Воздушный фильтр, предназначенный для предотвращения попадания мусора с линейным размером частиц более 3 мм из воздуха в воздухопроводы исключая тем самым засорение сопел, устанавливается на левом берегу водозаборного ковша перед ледоотбойным сооружением в ограждающей и охраняющей сетке.

3.2 Используемое оборудование

Рыбозащитное устройство с водовоздушной завесой, создаваемой системой аэрирующих модулей РЗУ, состоит из наземной части – питательные насосы, трубопроводы, запорная арматура, фильтр

сороулавливающий, располагаемых в здании камеры переключений, защитного воздушного фильтра и подводной части – питающий напорный трубопровод, модули РЗУ с перфорированными аэрирующими коллекторами и аэрирующими соплами, трубопроводы воздухопроводов.

Рыбозащитное устройство включает в себя следующее технологическое оборудование:

- два насоса подачи воды на РЗУ, АЦМЛ-1155/240-55,0/2 производительностью 260 м³/ч и напором 47 м каждый (рисунок 29). В случае выхода из строя одного из насосов РЗУ, включение резервного насоса РЗУ происходит вручную. Критерием для выключения основного насоса является падение давления на выходе насоса, либо перегрузка двигателя. Падение давления может быть вызвано либо аварией электродвигателя насоса, либо аварией насосного агрегата. В этом случае произойдет отключение насоса с выдачей аварийной сигнализации.



Рисунок 29 – Насос подачи воды

- фильтр сороулавливающий производительностью 260 м³/ч (рисунок 30);

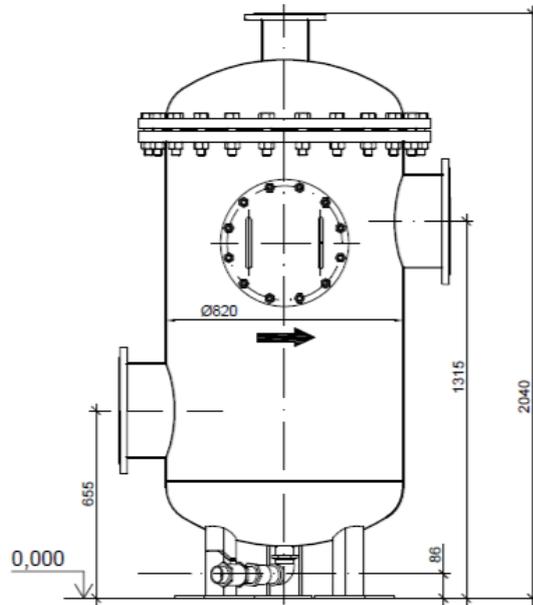


Рисунок 30 – Сороулавливающий фильтр

- защитный воздушный фильтр производительностью 130 м³/ч (рисунок 31);

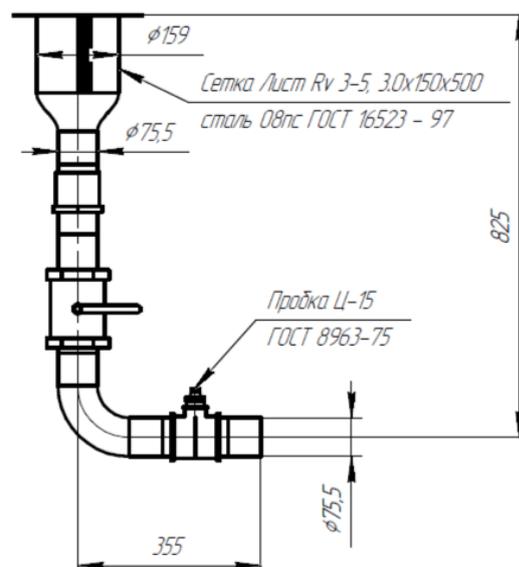


Рисунок 31 – Воздушный фильтр

– подводная часть РЗУ (рыбозащитный фронт), состоящая из 25 соединенных последовательно модулей РЗУ (рисунки 32-35) с 26 соплами, аэрирующими и перфорированными аэрирующими коллекторами. Формирование водовоздушной смеси в каждом монтажном блоке осуществляется при помощи аэрирующего сопла. Питание аэрирующих сопел по воде осуществляется из трубопровода водовода, сечение которого выбрано из условия обеспечения требуемого суммарного расхода для питания аэрирующих сопел при последовательном соединении модулей, исходя из того, что каждое аэрирующее сопло при номинальном режиме рабочего давления потребляет воды 10-12 м³/час. Аэрирующие сопла, за счет конфигурации проточной камеры, имеют вакуумную зону, в которую производится подсос воздуха из трубопровода воздуховода. Сечение трубопровода воздуховода выбрано из условия обеспечения требуемого суммарного объема подсосываемого воздуха, исходя из того, что каждое аэрирующее сопло подсосывает 5-6 м³/час воздуха из атмосферы, а максимальная скорость воздуха в трубопроводе воздуховода должна быть не более 10 м/сек.

Количество модулей приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Модули РЗУ

Обозначение	Наименование	Количество
ИНТ150-50.10.000-01	Модуль РЗУ	15
ИНТ150-50.12.000-01		1
ИНТ125-65.10.000-01		8
ИНТ250-50.40.000-01		1

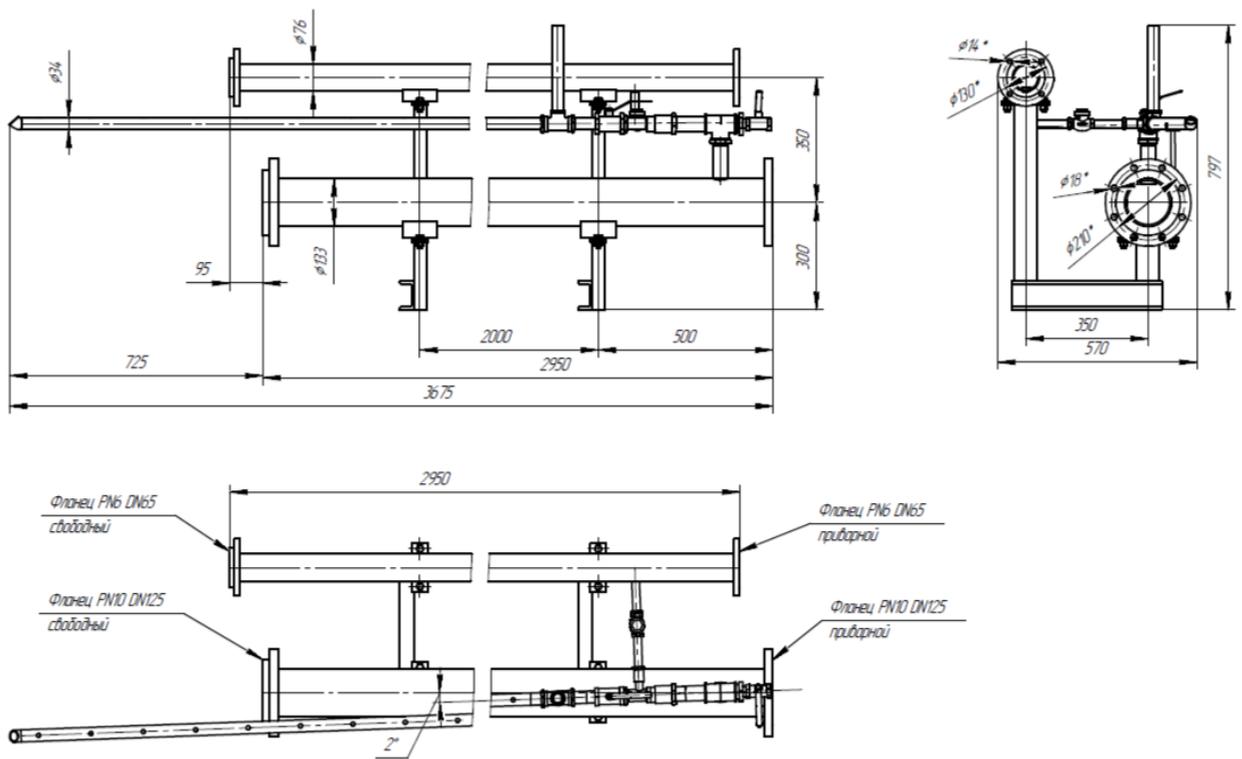


Рисунок 32 – Модуль РЗУ ИНТ125-65.10.000-01

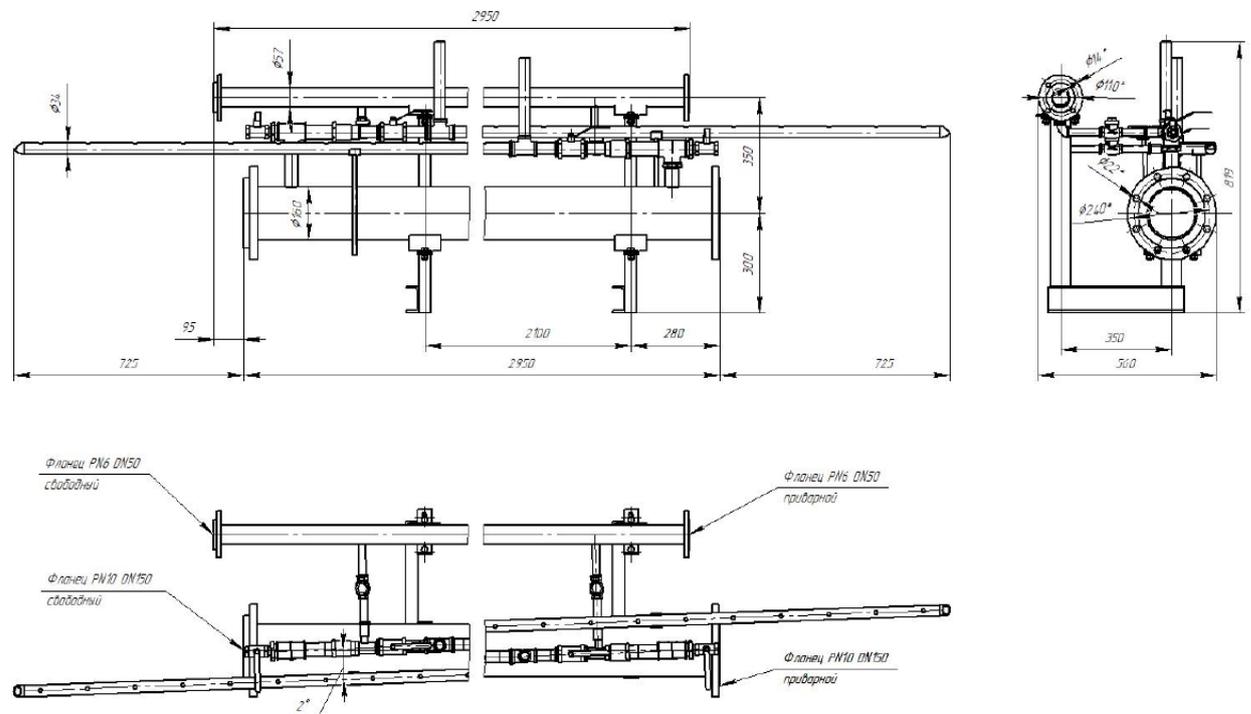


Рисунок 33 – Модуль РЗУ ИНТ150-50.12.000-01

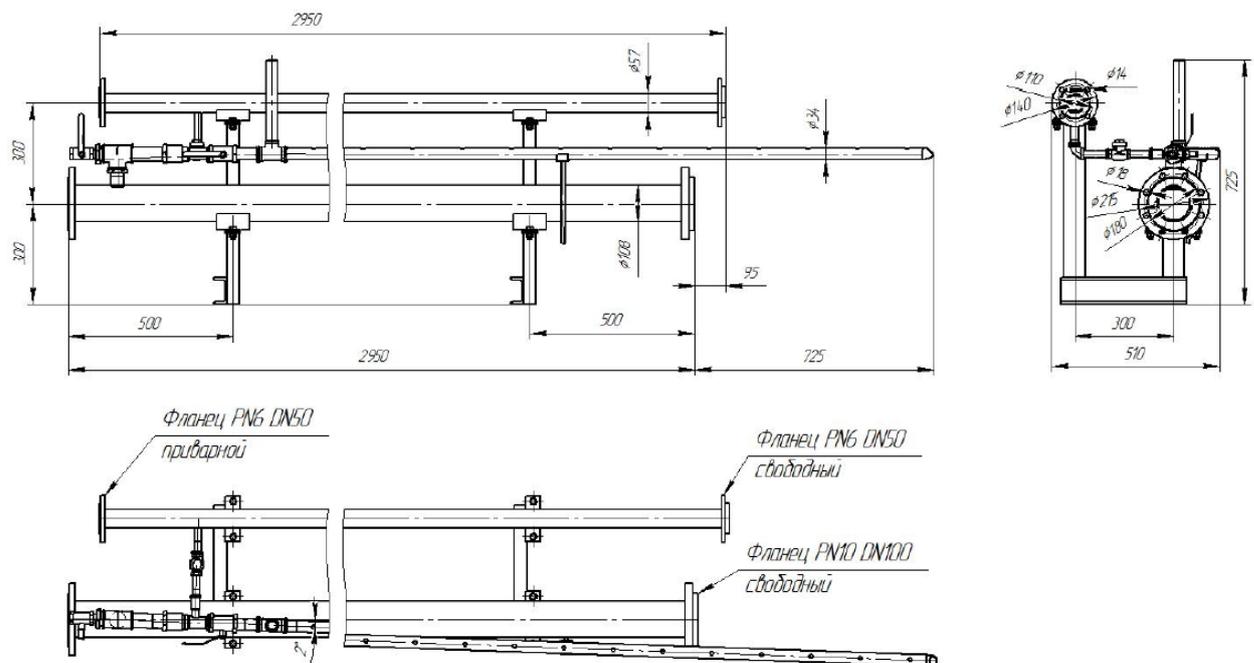


Рисунок 34 – Модуль РЗУ ИНТ150-50.10.000-01

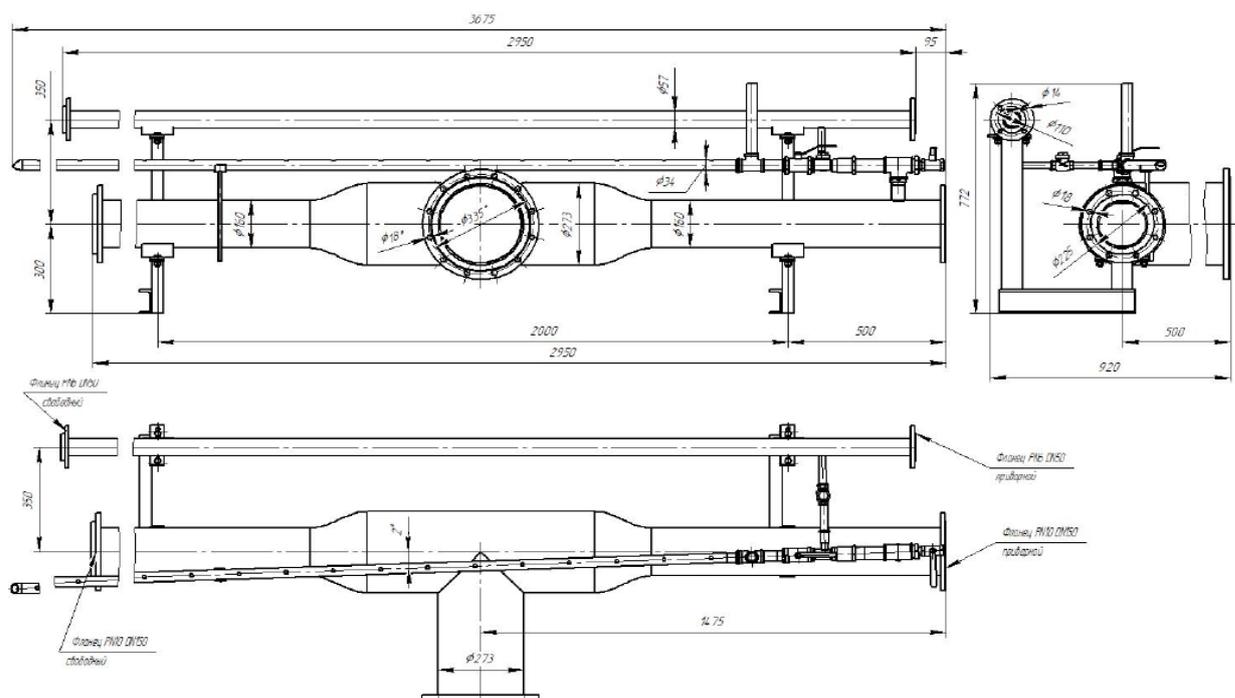
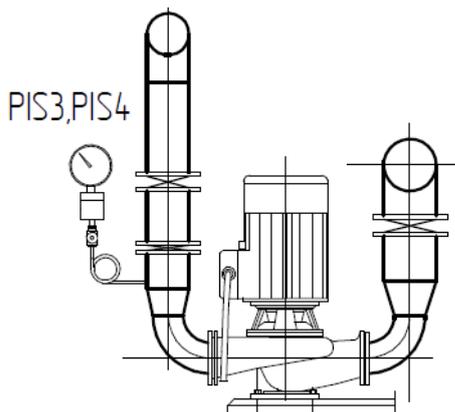


Рисунок 35 – Модуль РЗУ ИНТ250-50.40.000-01

Для обеспечения бесперебойной работы РЗУ предусматривается:

- контроль давления воды на выходе насосов;
- контроль протока воды на рыбозащитный фронт ВВЗ;
- контроль давления воды до сороулавливающего фильтра РЗУ;
- контроль давления воды после сороулавливающего фильтра РЗУ.

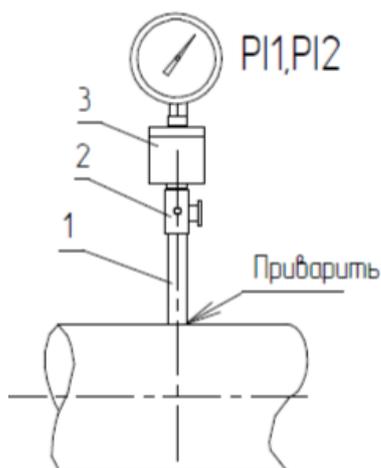
Контроль рабочих параметров РЗУ осуществляется расходомером Акрон-01 и манометрами МП4-У и электроконтактными манометрами ДМ 2005Сг. При падении давления на выходе насоса (рисунок 36), происходит его автоматическое отключение с выдачей аварийной сигнализации. Это необходимо для защиты насосов от сухого хода и аварийных режимов работы.



PIS3,PIS4 – электроконтактный манометр ДМ 2005Сг

Рисунок 36 – Установка манометра на выходе насосов

Расходомер установлен после фильтра РЗУ и показывает потребление воды РЗУ ($\text{м}^3/\text{час}$). Манометры устанавливаются на входе и выходе сороулавливающего фильтра (рисунок 37, 38).

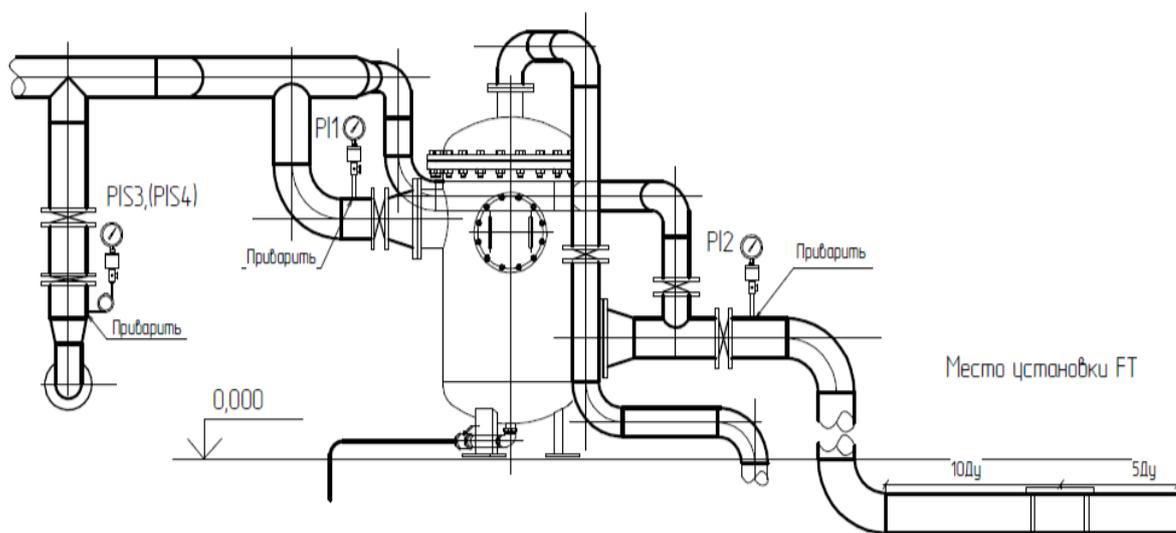


1 – штуцер отбора давления, 2 – трехходовой кран, 3 – разделитель сред, P11,P12 – манометр МП4-У

Рисунок 37 – Установка манометра на горизонтальном участке

Наличие заданного протока на выходе и давления воды на входе и выходе фильтра, свидетельствует о нормальной работе РЗУ. По уменьшению протока воды на РЗУ и увеличении разности давления $P_{вх.} - P_{вых.}$ фильтра (более 1 кгс/см^2) определяют необходимость его промывки. Обвязка фильтра РЗУ системой затворов с ручными приводами позволяет производить в ручном режиме периодическую регламентную промывку фильтра обратным потоком воды. Время промывки фильтра определяется по снижению перепада давления на нем до нормального (определяется при пуско-наладочных работах). Увеличение протока с одновременным уменьшением давления на выходе фильтра свидетельствует о нарушении герметичности трубопроводов РЗУ.

Для контроля герметичности трубопроводов РЗУ используется компрессор с индивидуальным источником питания (бензиновым генератором).



FT – расходомер накладной Акрон-01; PI1, PI2 – манометр МП4-У; PIS3, PIS4 – электроконтактный манометр ДМ 2005Сг

Рисунок 38 – Схема подключения приборов

Наземная эстакада трубопроводов оснащена автоматическим электрообогревом в теплоизоляции при аварийной остановке насосов в зимнее время.

3.3 Методы и последовательность производства работ по устройству ВВЗ РЗУ

Выполнение работ по устройству ВВЗ [2] перед водозаборным ковшом береговой насосной станции включает в себя:

- разработка грунта земснарядом с фрезерным рыхлителем для очистки дна между шпорой и ледоотбойным сооружением;
- очистка пяти окон ледоотбойного сооружения, а также карниза со стороны реки Ангара ледоотбойного сооружения;
- планировка основания под отсыпку выравнивающего слоя из щебня фракцией 40-70 мм водолазами с использованием грузового понтона;
- монтаж сборных железобетонных плит на подготовленное основание из щебня;
- монтаж на плитах металлоконструкций опор для установки рыбозащитного фронта РЗУ ВВЗ между ледоотбойным сооружением и шпорой;
- монтаж модулей РЗУ.

3.4 Негативное воздействие РЗУ на окружающую среду

В процессе работы ВВЗ РЗУ вредные выбросы в атмосферу отсутствуют.

Воздух используется в качестве исходного материала для создания ВВЗ. Проходя через воздушный фильтр и слой воды воздух (в виде воздушных пузырьков) выбрасывается в атмосферу. Загрязнители атмосферного воздуха, образующиеся в процессе производственной деятельности, отсутствуют.

Применение воды в технологическом процессе пузырьков рыбозащитных устройств типа «Водовоздушная завеса» на водозаборных сооружениях тепловых электростанций не является видом водопользования. Вода, поступающая на РЗУ, не участвует в процессе производства

электроэнергии и в других (вспомогательных) целях и не изымается из водного объекта, а насыщается воздухом для создания водовоздушной завесы на водозаборе и образования потоков, предотвращающих попадание молоди рыб в водозаборный ковш БНС. Весь объем воды, необходимый для функционирования РЗУ, не участвует в технологических процессах, которые могли бы привести в него загрязняющие вещества, либо взвешенные частицы.

Вода, возвращаемая в виде этих потоков в водный объект, не может классифицироваться как сточная, т.к. понятие «сточная вода» трактуется Водным кодексом Российской Федерации как «вода, сбрасываемая в установленном порядке в водные объекты после ее использования».

Таким образом, проектируемый объект не оказывает негативного воздействия на поверхностные и подземные воды.

Выводы по третьей главе

В ходе реализации проекта по техническому перевооружению водозаборного ковша береговой насосной станции ТЭЦ-10 Иркутской области с применением рыбозащитных устройств было достигнуто несколько ключевых результатов:

- внедрено рыбозащитное устройство «Водовоздушная завеса», которое предотвращает попадание рыбы в водозабор, используя систему модулей с аэрирующими коллекторами;
- произведен выбор оборудования: насосы, фильтры и другие элементы, обеспечивающие надежную работу устройства;
- запланированы подготовительные работы, включающие расчистку территории и установку металлоконструкций для монтажа оборудования;
- применение РЗУ улучшит экологические показатели, так как технология не вызывает загрязнений и возвращает всю использованную воду обратно в водоем;
- предложена система мониторинга для контроля давления и расхода воды, что помогает избежать аварийных ситуаций.

Заключение

В ходе проведенного исследования были проанализированы проблемы, связанные с водозаборными сооружениями и методами их защиты от негативного воздействия на водные биологические ресурсы. Основной акцент был сделан на необходимости разработки и внедрения эффективных рыбозащитных устройств, способных минимизировать ущерб, наносимый популяциям рыб и другим водным организмам.

Рассмотренные методы и подходы позволили выявить ключевые факторы, влияющие на выбор оптимального типа РЗУ для конкретных условий эксплуатации, в частности для водозаборного ковша береговой насосной станции ТЭЦ-10 Иркутской области на реке Ангара. Были подробно описаны принципы работы различных типов устройств, их преимущества и ограничения, а также приведены примеры успешных проектов, демонстрирующих практическую реализацию предложенных решений.

Особое внимание уделено внедрению водовоздушных завес, которые продемонстрировали высокие показатели эффективности, обеспечивая надежное функционирование водозабора и минимизацию ущерба для ихтиофауны. Внедрение данной технологии позволило создать линию рыбозащитного фронта, которая защищает молодь рыб от попадания в водозаборные сооружения, одновременно предотвращая образование внутриводного льда и защищая водозабор от взвешенного и плавающего мусора.

Таким образом, техническое перевооружение с установкой рыбозащитных устройств является примером эффективного решения, направленного на сохранение водных биологических ресурсов и улучшение экологической обстановки в регионе.

Список используемых источников

1. Авдеева М.А. Анализ мероприятий по борьбе с шугой / М.А. Авдеева, Я.С. Луферчик, О.И. Ручкина // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С.218-236. – DOI 10.15593/2224-9826/2015.2.15. – EDN TZUESX.
2. Анализ работы Александровского ковшового водозабора с учётом руслового режима и рыбоводно-биологических показателей реки Дон / Е.Д. Хецуриани, Л.Н. Фесенко, А.Н. Богачев [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 4(38). – С. 118. – EDN VNZCNP.
3. Вдовин Ю.В., Лушкин И.А., Сайридинов С.Ш., Стрелков Д.А. Рыбозащита на водозаборах коммунального водоснабжения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2010. № 2. С. 67-71. EDN MQGHLH.
4. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон РФ от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ: ред. от 08.08.2024 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2006. № 23. Ст. 2380-2381. URL:<http://government.ru/docs/all/98126/> (дата обращения: 05.10.2024).
5. Волошков, В.В. Струйное рыбозащитное устройство водозаборного сооружения малой производительности из проточных водоемов : специальность 05.23.07 "Гидротехническое строительство" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Волошков Владимир Викторович. – Новочеркасск, 2001. – 136 с. – EDN NLYQXR.
6. География Иркутской области : учебное пособие / Н.В. Роговская, Е.М. Тюменцева, Н.А. Ипполитова [и др.]. – Иркутск : Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2019. – 247 с. – ISBN 978-5-94797-357-0. – EDN HGTCVI.

7. Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации. Сайт Совета законодателей РФ при Федеральном Собрании РФ. URL: <http://duma.gov.ru/news/28399> (дата обращения: 15.12.2024).

8. Зеленская, Я.И. Водные ресурсы Иркутской области / Я.И. Зеленская, Т.И. Шишелова // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8-2. – С. 100-101. – EDN SJXNMT.

9. Иркутская область: ее территория, освоение, природопользование: [сайт]. URL:<http://answers.hintfox.com/article/rkytskaja-oblast-ee-territoriya-osvoenie-prirodopolzovanie.html> (дата обращения 24.12.2024).

10. Иркутская ТЭЦ-10 // Википедия. [2024]. Дата обновления: 31.10.2020. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=3745455&oldid=136964527> (дата обращения: 15.10.2024).

11. Калайда, М.Л. Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов / М.Л. Калайда, А.Р. Саатов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 175-185. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185. – EDN WLOBWL.

12. Калайда, М.Л. Исследование особенностей гидрохимических характеристик и развития зоопланктона в районе размещения рыбозащитного сооружения типа водовоздушная завеса в водоеме-охладителе ГРЭС / М.Л. Калайда, А.Р. Саатов, М.Ф. Хамитова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 101-118. – DOI 10.30724/1998-9903-2023-25-6-101-118. – EDN FSCTOX.

13. Карпова, Н.Л. Современные тенденции в рыбозащите. Обоснование рыбозащитного устройства технического водозабора АЭХК / Н.Л. Карпова, Т.М. Филиппова // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2006. – Т. 2, № 1. – С. 097-104. – EDN RDEKNR.

14. Колесов Н.А. Определение эффективности рыбозащитного устройства на ковшевом водозаборе ООО «Водоканал» Г. Новокузнецк / Н.А. Колесов, А.А. Ростовцев // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников IX Международной научно-практической конференции, Белово, 17–18 марта 2017 года. Том Часть 2. – Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово; Изд-во ун-та «Св. Кирилла и Св. Мефодия», 2017. – С. 39-42 – EDN QIATLF.

15. Комплексное рыбозащитное сооружение с использованием поверхностного непроницаемого экрана и пневматической завесы на водозаборе НС-1 Кармановской ГРЭС / Ф.М. Шакирова, Г.Д. Валиева, Ю.А. Северов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 82-90. – DOI 10.37663/0131-6184-2023-1-82-90. – EDN ZJMJTY.

16. Крылова, Н.Н. Разработка и обоснование рыбозащитной конструкции на мелиоративном водозаборе / Н.Н. Крылова, С.М. Драгунова // Гидротехническое строительство. – 2019. – № 10. – С. 54-56. – EDN RWDCAL.

17. Методические указания по эффективному техническому обслуживанию рыбозащитных сооружений головных водозаборов магистраль-ных каналов мелиоративных систем / Ю.М. Косиченко, Е.Д. Хецуриани, С.А. Селицкий, С.Г. Балакай. – Новочеркасск : Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2015. – 113 с. – EDN XWNUWJ.

18. Михеев П.А. Об использовании рыбозащитных сооружений в условиях водоприемных ковшей / П.А. Михеев, Али Мунзер Сулейман, З.М. Муталибов // Природообустройство. – 2022. – № 4. – С. 90-95. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-4-90-95 – EDN XQUXKC.

19. Орлов Е.В. Водозаборные сооружения из поверхностных источников / Е.В. Орлов. – 2-е издание (электронное). – Москва: МИСИ-МГСУ, 2017. – 101 с. – ISBN 978-5-7264-1750-9. – EDN HCPPAV.

20. Орлов Е.В., Тайбарей В.В., Саймуллов А.В., Аушев А.М. Улучшение забора воды с помощью водоприемных ковшей на водных объектах // Системные технологии. 2018. № 26. С. 125—127. EDN XOWBEL.

21. Павлов Д.С. Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения / Д.С. Павлов, А.М. Пахоруков. – Москва : Издательство «Пищевая промышленность», 1973. – 208 с. – EDN RZTXJV.

22. Павлов Д.С. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды / Д.С. Павлов; Мантейфель Б.П.- ответственный редактор; Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова. – Москва: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр РАН «Издательство «Наука», 1979. – 319 с. – EDN RZTXJL.

23. Патент № 2026469 С1 Российская Федерация, МПК E02B 8/08, E02B 9/04. Рыбозащитное устройство при водозаборе из поверхностных источников : № 5042328/15 : заявл. 19.05.1992 : опубл. 09.01.1995 / А.С. Цыпляев, В.П. Харитонов. – EDN GYENBB.

24. Патент № 2144107 С1 Российская Федерация, МПК E02B 8/08. Способ гидродинамической микропузырьковой рыбозащиты водозаборов и Устройство для его осуществления: № 98118814/13: заявл. 15.10.1998: опубл. 10.01.2000 / Б.Б. Булгаков, А.Б. Булгаков, З.Л. Банцевич [и др.]. – EDN ZMOFNR.

25. Патент № 2452695 С2 Российская Федерация, МПК C02F 7/00, B01F 13/02. аэратор: № 2008145333/05: заявл. 17.11.2008: опубл. 10.06.2012 / Г.А. Гурвич, В.П. Романцов, В.В. Голубцов [и др.]. – EDN LTAVCX.

26. Приложение к материалам оценки воздействия на окружающую среду. Рыбохозяйственная характеристик р. Большая Еловка, ручья без названия канала нагорных и дренажных вод ТЭЦ-10), подводящего канала ТЭЦ-10 ООО «БЭК», сбросного канала ТЭЦ-10 ООО «БЭК», малого канала АО «АЭХК», отводящего (сбросного) канала АО «АЭХК», канала осветленной воды ТЭЦ-10. URL:<https://angarsk-adm.ru/upload/iblock/cd8/>

i2g2dny1udq3g00i7bq5zbnjelju357/Prilozhenie-_2-k-pismu-_495-ot-13.12.2022-
Predvaritelnye-materialy-OVOS.pdf (дата обращения: 03.12.2024).

27. Промысловые виды рыб водоемов Иркутской области / А.Н. Матвеев, В.П. Самусенок, А.И. Вокин [и др.] // Байкальский зоологический журнал. – 2012. – № 2(10). – С. 16-29. – EDN REYNPB.

28. Сайридинов С.Ш. Опыт и проблемы рыбозащиты на водозаборах России / С.Ш. Сайридинов, З.М. Каюмова, И.А. Лушкин // Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод: межвузовский сборник научных трудов. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. С. 251-255. EDN WPNHWZ.

29. СП 101.13330.2023. Свод правил. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. СНиП 2.06.07-87 (утв. Приказом Минстроя России от 16.06.2023 N 420/пр).

30. СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (с Изменениями N 1, 2, 3) (утв. Приказом Минрегион России от 29 декабря 2011 г. N 635/14).

31. Учнин, С.С. Проблемы эффективности водозаборов ввиду негативного воздействия наносов / С.С. Учнин, В.М. Филенков // Мировая наука. – 2017. – № 1. – С. 36-41. – EDN ZCNOVT.

32. Хецуриани, Е.Д. Импульсное гидродинамическое рыбозащитное устройство машинных водозаборов с расходом до 0,5 м³/с: специальность 05.23.07 "Гидротехническое строительство" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Е.Д. Хецуриани. – Новочеркасск, 2006. – 24 с. – EDN UWLBGJ.

33. Цивин М.Н. Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах / Цивин М.Н., Абраменко П.И.. — Киев : ИГиМ, 2004. — 108 с. ил.; 20. — ISBN 966-96361-1-6.

34. Шульгин В.Д. Разработка комплексных рыбозащитных устройств с использованием воздушно-пузырьковой завесы, потокообразующих и

рыбоотводящих элементов: специальность 05.23.07 «Гидротехническое строительство»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шульгин Владимир Денисович. – Тверь, 2002. – 191 с. – EDN QDSAGL.

35. Яковлев А.Е. Разработка способов и сооружений для защиты рыб на крупных водозаборах: специальность 05.23.07 «Гидротехническое строительство»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Яковлев Александр Евгеньевич. – Тверь, 1997. – 33 с. – EDN WWDREN.

36. Brevik, I. The flow in and around air-bubble plumes / I. Brevik, O. Kristiansen // International Journal of Multiphase Flow. – 2002. – Vol. 28, No. 4. – P. 617-634. – EDN ATYOPR.

37. Experimental Analysis of a Fish Guidance System for a River Water Intake / G. Cîrciumaru, R.A. Chihaia, A. Voina [et al.] // Water. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – P. 370. – DOI 10.3390/w14030370. – EDN MVRCGK.

38. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 2021 International Symposium «Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021», Moscow, 10 марта 2021 года. Vol. 867. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – EDN QRBWRF.

39. Kalayda, M.L. Fish protection structures on reservoirs of energy facilities as an important measure for the conservation of the herd of fish / M.L. Kalayda, A.R. Saetov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kazan, 29 октября – 02 2018 года. Vol. 288. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012049. – DOI 10.1088/1755-1315/288/1/012049. – EDN QHFZLU.

40. Webb, J.F.; Fay, R.R.; Popper, A.N. (Eds.) Fish Bioacoustics. In Springer Handbook of Auditory Research; Springer / J.F Webb, R.R Fay, A.N Popper // New York. – 2008. – Vol. 32.