

# ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭНЕРГЕТИКЕ



УДК 639.3

DOI:10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185

## ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ В СТРУКТУРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

М.Л. Калайда., А.Р. Саетов

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

*kalayda4@mail.ru*

**Резюме.** **ЦЕЛЬ.** Исследование рыбозащитного сооружения типа водовоздушной завесы как пример экологического решения проблемы сохранения водных биологических ресурсов на энергетическом объекте. **МЕТОДЫ.** Проведен сравнительный анализ собственных исследований и литературных данных по применению и оценке эффективности рыбозащитных сооружений (РЗС). Для отбора ихтиологических проб применялись сети ячеей 10, 18, 22, 30 и 70 мм, установленные перед водоподводящими каналами к береговым насосным станциям (БНС). При анализе эффективности работы РЗС рассмотрены методы учета рыбы: способ отлова рыб и порядок проведения наблюдений на объекте. Оценка попадания рыб на БНС (после РЗС) осуществлялась по круглосуточным наблюдениям за проникающими в водоподводящий канал рыбами в сравнении с попаданием их на сороудерживающие вращающиеся сетки водоочистных машин на БНС. Коэффициент эффективности определяли по разности концентрации рыбы перед РЗС (на водохранилище) и после РЗС (на БНС). **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Показано, что коэффициент эффективности РЗС по типу водовоздушной завесы в среднем составил 86,9%, что превышает нормативную эффективность. Выявлено, что рыбозащитное сооружение (РЗС) по типу водовоздушной завесы является наиболее экологичным техническим решением при заборе воды на энергообъектах. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Отмечено улучшение экологической ситуации в районе расположения РЗС по типу водовоздушной завесы по концентрации кислорода в воде и снижению трофии за счет окисления органических веществ.

**Ключевые слова:** аквакультура; объекты энергетики; ихтиоценоз; рыбозащитное сооружение; водовоздушная завеса; эффективность рыбозащиты.

**Для цитирования:** Калайда М.Л., Саетов А.Р. Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24. № 2. С. 175-185. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185.

## WATER BIOLOGICAL RESOURCES IN THE STRUCTURE OF ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF ENERGY FACILITIES

ML. Kalaida., AR. Saetov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

*kalayda4@mail.ru*

**Abstract.** **THE PURPOSE.** The study of a fish protection structure such as a water-air curtain as an example of an ecological solution to the problem of conservation of aquatic biological resources at an energy facility. **METHODS.** A comparative analysis of our own research and literature data on the use and evaluation of the effectiveness of fish protection structures (FPS) has been carried out. For the selection of ichthyological samples, mesh networks of 10, 18, 22, 30 and 70 mm were used, installed in front of the water supply channels to the shore pumping stations (SPS). When analyzing the efficiency of the FPS, the methods of fish accounting are considered:

*the method of catching fish and the procedure for conducting observations at the facility. The assessment of fish ingress to the SPS (after the FPS) was carried out by round-the-clock observations of fish penetrating into the water supply channel in comparison with their ingress to the water-retaining rotating nets of water treatment machines on the SPS. The efficiency coefficient was determined by the difference in the concentration of fish before the FPS (at the reservoir) and after the FPS (at the SPS). RESULTS. It is shown that the efficiency coefficient of the FPS by the type of water-air curtain averaged 86.9%, which exceeds the regulatory efficiency. It has been revealed that a fish protection structure (FPS) by the type of a water-air curtain is the most environmentally friendly technical solution for water intake at power facilities. CONCLUSION. The improvement of the ecological situation in the area of the location of the RSL by the type of water-air curtain in terms of the concentration of oxygen in the water and the reduction of trophies due to the oxidation of organic substances was noted. concentration in water and of decrease in trophy due to the oxidation of organic substances.*

**Keywords:** *aquaculture; energy facilities; ichthyocenosis; fish protection structure; water-air curtain; fish protection efficiency.*

**For citation:** Kalaida ML, Saetov AR. Water biological resources in the structure of environmental problems of energy facilities. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(2):175-185. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185.

### **Введение**

Современный уровень производства тепловой и электрической энергии сопровождается использованием большого количества природной воды. Опыт многолетней эксплуатации мощных энергоблоков свидетельствует о том, что необходимым условием длительной, надежной и экономичной эксплуатации ТЭС является рациональная организация водоподготовки и водного режима [1].

В разработанной «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» определено, что целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций [2]. Достижение этой цели намечено путём перехода на путь инновационного и энергоэффективного развития, изменения структуры и масштабов производства энергоресурсов, создания конкурентной рыночной среды и интеграции в мировую энергетическую систему.

Электропотребление в 2021 году увеличилось на 6% по сравнению с 2020 годом, и на 2,6% – от уровня доковидного 2019 года. Выработка электроэнергии за 2021 год выросла на 6,6%, в том числе: выработка ТЭС выросла на 10%, ГЭС на 1,3%, АЭС около 2% [3]. Следует заметить, что энергия в пригодной к употреблению форме является ресурсом ограниченным, поэтому её относительная доступность влияет как на развитие отдельных стран, так и в целом на развитие мировой экономики.

Тепловые электростанции являются наиболее крупными потребителями воды с наибольшим расходом ее для охлаждения технологического оборудования. Основное потребление технической воды на ТЭС вызвано необходимостью отвода теплоты от отработавшего пара в конденсаторах турбин – 85-95 %. Для конденсации 1 т пара необходимо в среднем 60-100 м<sup>3</sup> воды [4]. Остальные 5-15 % объема воды расходуются на нужды различных технологических циклов: охлаждение масла и воздуха, подшипников различных механизмов – 3-8 %; восполнение потерь пара и конденсата в рабочем пароводяном цикле – 0,2-0,8 %; удаление золы и шлака при работе на твердом топливе – 2-5 %; подготовка подпиточной воды теплосети на ТЭС и др. [4].

Тепловые электростанции используют при своей работе большие объёмы водных ресурсов для охлаждения оборудования. Законодательно определено, что все водозаборные сооружения должны быть оснащены эффективно функционирующими рыбозащитными сооружениями (РЗС). Одним из наиболее часто используемых на энергетических объектах и наиболее эффективных технических решений по установке рыбозащитных сооружений является РЗС по типу водовоздушной завесы. Актуальность нашего исследования заключается в том, что результаты данного исследования могут быть использованы многочисленными эксплуатантами РЗС типа водовоздушная завеса, как предприятий энергетики, так и во многих других областях промышленности.

Научная значимость работы заключается в том, что РЗС исследуется не только по основному назначению как средство защиты рыб (особенно личинок и молоди) от попадания в водозаборы, в результате чего рыба погибает и рыбному хозяйству наносится ущерб, но и как эффективный аэратор воды, который повышает концентрацию кислорода в воде, что, в свою очередь, приводит к снижению трофии за счет окисления органических веществ. Результаты исследований позволяют прийти к интересному выводу: рыбозащитное сооружение (РЗС) по типу водовоздушной завесы является многофункциональным техническим решением, которое в процессе работы позволяет значительно улучшить экологическую ситуацию в районе расположения РЗС.

Практическая значимость исследования рыбозащитного сооружения типа водовоздушной завесы заключается в том, что результаты исследования опробованы в условиях реально функционирующего РЗС предприятия энергетики. Результаты данной работы можно использовать при разработке, модернизации и внедрении РЗС, что будет полезно как для владельцев функционирующих РЗС, так и для разработчиков РЗС.

Исторически производство энергии в регионе Среднего Поволжья было связано с водными объектами – мельничными запрудами на малых реках. В конце 19 – начале 20 столетия развитие рыбного хозяйства было связано с практически первыми энергетическими установками – мельничными запрудами. М.Д.Рузский первый описывает своеобразную категорию рыбохозяйственных водоемов, существовавших в тот период, – мельничные пруды. Он писал, что мельничные пруды настолько характерны для реки, что заслуживают особого изучения. Он писал, что: "эти пруды, находящиеся всегда ...около водяных мельниц, представляют особый тип речных образований и являются продуктом деятельности человека". Пруды образуются при преграждении реки мельничными плотинами и очень удобны для жизни рыб. Многие виды рыб использовали мельничные пруды не только для нагула, но и для размножения и нагула молоди. Для Казанской губернии на реке Свияге были характерны мельничные пруды, у которых плотины были не высокими, не сплошными, с широким отверстием в середине, через которое вода протекала постоянно быстрой струей с шумом и волнами "до некоторой степени напоминали горные речки: текли быстро по песчаному и каменистому ложу и имели прозрачную воду с низкой температурой воды». В р. Свияге обитало 33 вида рыб, среди которых была форель (*Salmo fario*, L.). Форель обитала исключительно в самых мелких притоках с холодной ключевой водой, быстрым течением и песчано-каменистым дном. Среди обитателей р. Свияги и ее притоков приводятся стерлядь и минога (*Petromyzon sp.*). Берега мельничных прудов были часто очень крутыми, поэтому почти совершенно отсутствовали заросли жесткой растительности. А благодаря высокому подпору (2-4 м), мельничные пруды имели значительную протяженность. Так, на р. Свияге Киятский пруд имел протяженность 19,5 км, а Ивановский -14,8 км [5]. Для этого периода характерно экстенсивное рыбоводство, ориентированное на выращивание рыбной продукции на естественной кормовой базе в водоемах разной трофности с рыбопродуктивностью от нескольких кг/га в олиготрофных форелевых хозяйствах до 200 кг/га в эвтрофных прудовых хозяйствах. Эти первые «энергетические» водоемы выполняли очень важные экологические функции: они обеспечивали подпор грунтовых вод и, тем самым, делали территорию комфортной для земледелия. Сохранились сведения о необходимом количестве рыбы для ее потребления городским населением в Казанской губернии. Эти данные собирались Управлением делами Особого Совещания по продовольствию в 22 губерниях России. Из Казанской губернии были поданы сведения о том, что в декабре 1915 и январе 1916 года, города Казанской губернии нуждаются в 135 тыс. пудов рыбы (около 2200 тонн) [5].

Река Волга являлась своеобразным центром, связывающим старые промышленные районы России - Московский, Нижне-Новгородский, Северный и Средний Урал - обладающие богатейшими земельными, водными, минеральными ресурсами. Эти ресурсы могли быть использованы лишь при наличии энергетической базы. Еще в конце 19 и начале 20 столетий выдвигались различные проекты сооружения ГЭС, однако среди них не было проектов, учитывающих весь комплекс проблем. Отсутствовали необходимые топографические, геологические, гидрологические и экономические обоснования. В связи с этим в 1931 году Госплан СССР поручил Всесоюзному научно-исследовательскому институту энергетики и электрификации разработать рабочую гипотезу комплексной схемы использования Волги в энергетических и транспортных целях. Эта схема была рассмотрена на ноябрьской сессии Академии наук СССР в 1933 году, посвященной проблеме "Большой Волги". Проблема трактовалась как ирригационная, транспортная и энергетическая. Мнение крупнейших ученых географов, ихтиологов, биологов Л.С. Берга, Н.М. Книповича, Н.И. Вавилова, А.А. Рихтера и других, указывавших на недопустимость строительства

гидроузлов на нижней Волге, поскольку они существенно нарушают условия воспроизводства ценнейших осетровых рыб, не было принято во внимание [5]. Уловы в р. Волге до ее зарегулирования в пределах будущего Куйбышевского водохранилища колебались от 1350 до 1910 тонн [5]. Максимальные уловы в водоемах Татарстана в период до образования Куйбышевского водохранилища приходятся на начало 30-ых годов. Товарная рыбная продукция всех водоемов Татарстана составила в 1932 г. – 2020 тонн, в 1933 г. - 2300 тонн [5].

Гидроэнергетика в мире обуславливает 6,7% от производимой энергии (рис.1), это составляет 71% от возобновляемой электроэнергии [6]. В период формирования волжских водохранилищ закладывается целый комплекс экологических проблем, связанных с изменением речного режима на озерный. Смена экологических факторов среды для гидробиологических объектов привела к изменениям в структуре ихтиоценоза и, одновременно, вызвала необходимость совершенствования биотехнологий воспроизводства ценных видов рыб [7, 8].

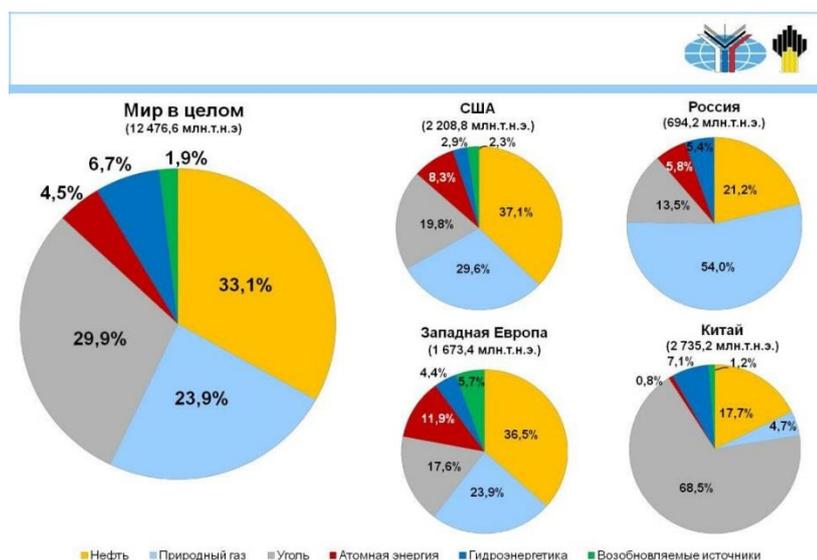


Рис. 1. Структура энергетики в мире в %-ном соотношении по источникам энергии по [2, 3]

Fig. 1. The structure of energy in the world in % ratio by energy sources according to [2, 3].

В развитии аквакультуры для этого периода характерно интенсивное рыбоводство на базе прудов и водохранилищ, включая увеличение плотности посадки рыбы в хозяйствах, кормление искусственными кормами, поликультуру, различные приемы мелиорации, позволяющие повысить рыбопродуктивность до 30 ц/га.

При современном уровне развития науки и техники тепловые электростанции имеют очень высокий потенциал в плане улучшения экологических показателей. К примеру, эти станции используют при своей работе большие объемы водных ресурсов, необходимые для охлаждения оборудования. В соответствии с Водным Кодексом РФ, Постановлением правительства Российской Федерации № 380 от 29.04.2013 г. «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания» – запрещена эксплуатация водозаборных сооружений, не оборудованных рыбозащитными устройствами (РЗУ) или сооружениями (РЗС). Водозаборы должны не только надежно подавать воду, но и функционировать как средство рыбозащиты [9]. Эффективность предотвращения попадания рыб и иных водных биологических ресурсов в водозаборы должна составлять не менее 70% [10, 11].

К концу XX столетия сформировалось интенсивное индустриальное рыбоводство на базе установок с замкнутым циклом водоснабжения с адаптированными методами интенсификации для круглогодичной эксплуатации водных экосистем с возможностью увеличения рыбопродуктивности до 300 и более кг/м<sup>3</sup>. Круглогодичное выращивание аквабиокультур в замкнутом цикле водооборота позволяет вовлекать в производство теплые отработанные воды объектов энергетики [12].

В сентябре 2015 года Организация Объединенных Наций обозначила среди главных направлений деятельности обеспечение устойчивого развития на период до 2030 года [13, 14]. Отмечено, что 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР) пока не достигли необходимых темпов и масштабов. В связи с этим основными задачами сегодняшнего

времени стало рассмотрение состояния мирового рыболовства и аквакультуры с позиций выбора мер по повышению устойчивости. Подчеркивается все более важная роль рыболовства и аквакультуры в обеспечении продовольствия, питания и занятости населения.

В материалах ФАО (2020) отмечаются стратегии включения рыбы в продовольственные системы в интересах обеспечения продовольственной безопасности и питания, среди которых подчеркивается значимость переосмысления подходов к промышленному рыболовству в XXI веке, повышению качества оценки рыболовства во внутренних водоемах в мировом масштабе [13].

По данным доклада в 2020 г. Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций [13] отмечаются две основные тенденции в изменении вылова рыбы по основным водосборным речным бассейнам. Первая тенденция – рост вылова рыбы во внутренних водоемах – отмечается в 37 странах, на долю которых приходилось 58,7 % мирового вылова рыбы во внутренних водоемах: самый значительный рост был отмечен в Китае, Индии, Камбодже, Индонезии, Нигерии, Российской Федерации и Мексике. В 28 странах, на которые приходилось 5,9 % мирового вылова во внутренних водоемах, вылов сокращался, а объем продукции аквакультуры значительно рос – в Бразилии, Таиланде, Вьетнаме и Турции. Доля реки Волги в глобальном вылове рыбы по основным водосборным речным бассейнам в мире от общего вылова – 0,28 %, а Каспийского моря – 0,76 %.

Переосмысление освоения ресурсов внутренних водоемов включает такие задачи как направленное формирование ихтиофауны, пастбищную аквакультуру, увеличение компенсационных выпусков молоди рыб от искусственного воспроизводства. Не менее значимым мероприятием в этих условиях становится повышение эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах энергетических предприятий.

#### *Постановка задачи*

*Цель* данного исследования - рассмотрение рыбозащитной водовоздушной завесы как современного экологического решения проблемы сохранения водных биологических ресурсов.

#### *Материал и методика исследования*

В ходе работы был проведен анализ собственных исследований и литературных данных по применению и оценке эффективности рыбозащитных сооружений. Для отбора ихтиологических проб применялись сети ячеей 10, 18, 22, 30 и 70 мм перед водоподводящими каналами к БНС-3 (перед РЗС на Заинском водохранилище). При анализе эффективности рыбозащитных сооружений рассмотрены методы учета рыбы: способ отлова рыб и порядок проведения наблюдений на объекте. Оценка попадания рыб на БНС-3 (после РЗС) осуществлялась по круглосуточным наблюдениям (в течение 4 суток) за проникающими в водоподводящий к БНС-3 канал рыбами и попаданием их на сороудерживающие вращающиеся сетки водоочистных машин на БНС по [15, 16]. Рассмотрены и изучены основные технологические параметры РЗУ, учитываемые при их эксплуатации.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В связи с гидростроительством с 50-х лет XX столетия РЗУ являются обязательным компонентом водозаборных сооружений. Организация эксплуатации РЗУ включает контроль за оборудованием и водными параметрами (расход, уровни, скорость потока и др.).

Современные РЗУ являются составной, технически сложной, частью водозаборных сооружений, работа которых совершенствуется в направлении улучшения технических характеристик, обеспечивающих более высокую эффективность рыбозащиты.

Большинство водозаборных сооружений оказывают отрицательное влияние на ихтиофауну водного бассейна. Водные экосистемы испытывают высокую нагрузку, а отдельные ценные виды рыб находятся на грани исчезновения.

Внедрение РЗУ на водозаборах направлено на решение 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.

Различают три основных принципа предотвращения попадания молоди рыб в водозаборные сооружения с использованием РЗУ: экологический, поведенческий и физический. На основании этих принципов разработаны способы защиты, определяющие характер воздействия на объект защиты. Основной причиной попадания рыбы в водозаборные сооружения является пассивный снос ее потоком воды. Попадание рыб в водозаборные сооружения связано с одной стороны с физической невозможностью сопротивляться течению, а с другой стороны, с отсутствием условий для ориентации рыб в потоке, в первую очередь, с отсутствием условий для зрительной ориентации.

Анализ патентных материалов показал, что, начиная с 2000-х годов и по настоящее время, практика использования РЗУ направлена в основном на защиту молоди лососевых видов рыб. В сооружения рыбозащиты, кроме РЗУ входит рыбосборник, рыбонасос, сепаратор рыб, бассейн для сбора рыб, станции мечения и профилактики рыбы от болезнетворных инфекций, система охлаждения воды, система подачи рыбы в транспортные средства, автоцистерны или баржи с системой жизнеобеспечения рыб [17, 18, 19].

Одним из наиболее эффективных и в то же время наиболее экологичных типов рыбозащитных устройств являются конструкции воздушно-пузырькового типа - водовоздушная завеса [20]. Данное РЗУ работает по принципу восходящей водовоздушной завесы, сформированной системой придонных модулей РЗУ с аэрирующими соплами. Принцип работы данного типа сооружений состоит в подаче насосами воды на модули РЗУ с одновременным забором воздуха по отдельному трубопроводу-воздуховоду (Рис.1). Эффект водовоздушной завесы, создается подачей в перфорированный трубопровод мелкодисперсной водовоздушной суспензии. Опыт применения гидрокавитационных технологий позволил создать гидрокавитационный аэратор для получения водовоздушной суспензии с эжекцией воздуха из атмосферы.

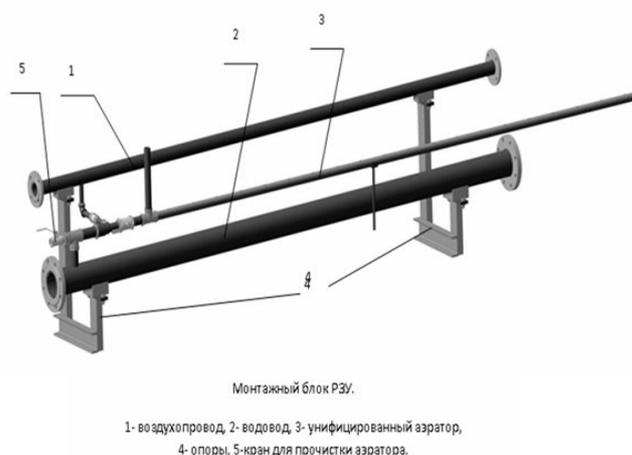


Рис. 2. Монтажный блок РЗУ

Fig. 2. The mounting block of the FPS

Отточные потоки вальцов водовоздушных завес создают устойчивый поверхностный рыбоотводящий поток, обеспечивающий отвод молоди рыбы в зону действия транзитного потока реки. В результате на выбранном участке водоёма от дна до поверхности воды образуется рыбозащитный фронт, не позволяющий рыбе попадать в водоприёмные устройства. Использование V-образного луча заградительного фронта РЗУ типа «Водовоздушная завеса» повышает эффективность работы не только за счет наличия двойного заградительного фронта, но и за счет появляющегося отточного течения между расходящимися лучами на поверхности водоёма, этим обеспечивается отвод молоди рыб на край заградительного фронта (рис. 2, 3). Проект РЗУ на основе водовоздушной завесы реализован на водозаборных сооружениях береговых насосных станций филиала ОАО «Татэнерго» Зайнская ГРЭС, где в 2015-2019 годы были смонтированы РЗУ типа водовоздушная завеса.

Проведенное исследование выявило, что основными видами воздействия на молодь рыб в районе РЗУ на основе водовоздушной завесы являются: тактильное, визуальное, акустическое и механическое. Особенностью данного типа РЗУ является создание условий для избегания рыб из зоны восходящих водо-воздушных потоков, издающих низкочастотные колебания.

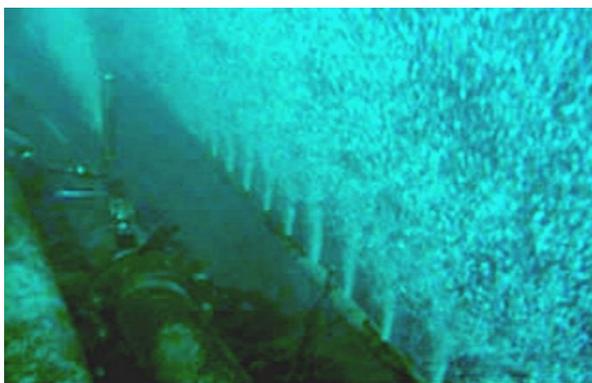


Рис. 3. Работа РЗУ типа «водовоздушная завеса» в действии *Fig.3. The work of the FPS type "water-air curtain" in action*

РЗУ на основе водовоздушной завесы характеризует высокая надежность, простота конструкции, отсутствие загрязнения окружающей среды. Дополнительным преимуществом водовоздушной завесы является защита водозабора от взвешенного и плавающего мусора, который поднимается восходящим потоком на поверхность и отводится из зоны водозабора поверхностным течением. Кроме того, в зимний период в зоне действия водовоздушной завесы образуется полынья, что благодаря поверхностным течениям защищает водозабор от попадания плавающего льда и шуги.

Для современного этапа эксплуатации водохранилищ характерны изменения климатических характеристик – повышение в летний период температуры воды, снижение содержания растворенного кислорода, цветение за счет развития цианобактерий, приводящие к «заморным» условиям – массовой гибели рыбы [21, 22, 23].

РЗУ на основе водовоздушной завесы с пузырьками воздуха диаметром 1...3 мм за счет использования гидродинамического кавитационного аэратора оказывает значительное положительное воздействие на гидрохимическое состояние, увеличивая содержание кислорода, как в летний период, так и зимой за счет аэрации и образования полыньи зимой. Аэрация способствует окислению органических веществ в воде, тем самым способствуя снижению уровня эвтрофирования водной экосистемы. Восходящие потоки улучшают условия перемешивания вод, способствуя снижению температуры летом в поверхностных слоях [24, 25, 26].

На основании исследований, проведенных на водозаборных сооружениях Заинской ГРЭС в течение четырех сезонов (весна, лето, осень, зима), выявлено, что наибольшее количество рыб попадает на береговую насосную станцию №3 Заинской ГРЭС в летний период, а наименьшее – в ранневесенний (преднерестовый), зимний и осенний периоды [25, 26]. Так как РЗС на Заинской ГРЭС уже установлено, то коэффициент его эффективности определяли по разности концентрации рыбы перед РЗС (Заинское водохранилище) и после РЗС (БНС-3). На основании проведенных расчетов с учетом всех факторов внешней среды средний показатель рыбозащитной эффективности (Кэф) РЗС составил: в весной – 83,7%; летом – 83,4%; осенью – 83,3%; зимой – 97,2%. Таким образом, на основании проведенных сезонных исследований и расчетов с учетом факторов внешней среды показатель рыбозащитной эффективности РЗУ на основе водовоздушной завесы, установленного на БНС №3 филиала АО «Татэнерго» – Заинская ГРЭС, в среднем составил 86,9%, что намного превышает нормативную эффективность (не менее 70%) [26, 27].

Средняя суммарная эффективность всех РЗУ типа водовоздушная завеса, установленных на Заинской ГРЭС составила 80%, что на 14,3% выше нормативной эффективности предотвращения попадания рыб в водозаборы [26, 27]. Кроме того, определилась задача совершенствования методов контроля эффективности РЗУ - проведения мониторинга в режиме постоянной работы.

Наблюдения за состоянием экосистемы в районе действия водовоздушной завесы выявили улучшение экологической ситуации, снижение цветения воды в зоне РЗУ.

#### **Заключение**

При повышении эффективности рыбохозяйственных работ на водохранилищах, организации мероприятий по направленному формированию ихтиоценозов, пастбищной аквакультуре повышается роль рыбозащитных устройств при заборе воды. [24, 27].

Модернизация основного элемента РЗУ типа «водовоздушная завеса» обеспечила формирование водо-воздушную смеси с пузырьками воздуха диаметром 1...3 мм за счет

использования гидродинамического кавитационного аэратора, устанавливаемого на берегу на линии обратного сброса воды. [27, 28]. Получен положительный эффект: коэффициент эффективности РЗУ в среднем составил 86,9%, что превышает нормативную эффективность. Отмечен позитивный факт значительного улучшения экологической ситуации в районе расположения РЗУ по содержанию растворенного кислорода в воде и снижению трофии за счет окисления органических веществ [28].

В работе исследована эффективность работы РЗС в условиях реально функционирующего РЗС по типу водовоздушной завесы, функционирующего на предприятии энергетики. Коэффициент эффективности РЗС в среднем составил 86,9%. Сравнительный анализ проведенных исследований и литературных данных по применению и оценке эффективности рыбозащитных сооружений (РЗС) показал, что РЗС по типу водовоздушной завесы эффективно защищает рыб (особенно личинок и молоди) от попадания в водозаборы. Нормативная эффективность составляет 70% [27, 28].

Известные из литературы исследования работы рыбозащитных сооружений (РЗС) типа водовоздушной завесы посвящены, в основном, определению эффективности рыбозащитных сооружений (РЗС) [28]. В работе авторы исследовали влияние рыбозащитного сооружения (РЗС) типа водовоздушной завесы на концентрацию кислорода в воде в районе расположения РЗС. Авторы пришли к выводу, что установка и функционирование РЗС типа водовоздушной завесы приводит к снижению трофии за счет выявленного результата в виде окисления органических веществ. Таким образом, в известной литературе вопрос влияния рыбозащитного сооружения (РЗС) типа водовоздушной завесы на экологическую составляющую изучен недостаточно всесторонне. Научное приращение результатов данного исследования заключается в обнаружении эффекта положительного воздействия РЗС типа водовоздушной завесы на улучшение экологической ситуации в районе расположения РЗС.

#### Литература

1. Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н.Г. Залогина, Л.И. Кроппа, Ю.М. Кострикова. М.: Энергия, 1979. 352 с.
2. Электронный ресурс. <https://minenergo.gov.ru/node/15357>
3. Электронный ресурс. <https://www.m.eprussia.ru/epr/articles/elektroenergetika-v-2021-godu-itogi-i-perspektivy>
4. Экология энергетики / Под ред. В.Я. Путилова. М.: МЭИ. 2003. 715 с.
5. Калайда М.Л. История и перспективы развития рыбного хозяйства Татарстана. Казань: Изд-во «Матбугат йорты», 2001. 96 с.
6. Афанасьева Е. А., Кислякова М. Д. Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения // Молодой ученый. 2017. № 40 (174). С. 1-4.
7. Хамитова М.Ф., Калайда М.Л. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги. LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/Германия. 2018, 310 с.
8. Калайда М.Л., Муганцева Т.П. Повышение эффективности работы системы технического водоснабжения ТЭС // Известия ВУЗов: Проблемы энергетики 2012. № 7/8. С. 128
9. Электронный ресурс [https://i-a.d-cd.net/VASC5L9CrrNd\\_3puOqYsjZv8qFs-1920.jpg](https://i-a.d-cd.net/VASC5L9CrrNd_3puOqYsjZv8qFs-1920.jpg)
10. Методические рекомендации по определению эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах. М.: ЦУРЭН, 2016.
11. Беспалов А.Г., Сальников А.Л., Беспалова О.Н., Давыдова С.А. 2016 Гидротехнические сооружения (Москва: КНОРУС) С. 94-95.
12. Калайда М.Л. Задачи развития аквакультуры в Республике Татарстан на современном этапе. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2017. №8 (139)/2017. С.7-16
13. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры-2020. Меры по повышению устойчивости. Рим, ФАО. 223 с.
14. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры: достижение целей устойчивого развития 2018 // Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние202018.pdf> (дата обращения: 20.02.2020).
15. Малеванчик Б.С., Никоноров И.В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения // Москва. Легкая и пищевая промышленность, 1984. С. 256

16. Кузьмин Ю.И. Методические рекомендации по Проектированию рыбозащитных устройств водозаборных сооружений // Ленинград. ГосНИОРХ. 1972. С. 57.
17. Чистяков А.А., Шкура В.Н., Михеев П.А. Способ защиты молоди рыб от попадания в водозаборное сооружение и рыбозащитное устройство, его осуществляющее // Патент России №2326209. 2008.
18. Чистяков А.А., Шкура В.Н., Михеев П.А. Способ промывки сетного полотна рыбозащитного сооружения и устройство, его осуществляющее // Патент России №2326206. 2008.
19. Иванов А.В., Филиппов Г.Г. Способ обеспечения безопасности рыб на ГАЭС // Патент России №2346108. 2009.
20. Калайда М Л, Саетов А Р Рыбозащитные сооружения на водоемах объектов энергетики как важное мероприятие по сохранению стада рыб. Международный водно-энергетический форум-2018: сборник материалов докладов. 2 т. Т.1.-Казань: Казанский государственный энергетический университет 2018. С.108-113.
21. Калайда М.Л. Процессы самоочищения водных экосистем и их регуляция в условиях эвтрофирования // Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения. Материалы международной научно-практической конференции. Казань, 2017. С.4-12.
22. Калайда М.Л., Гордеева М.Э. Особенности физико-химического состояния вод водоемов объектов энергетики. - Международный водно-энергетический форум -2018: сборник материалов докладов/ в 2 т. Т.1. Казань:Казанский государственный энергетический университет 2018. С.284-290.
23. Говоркова Л. К., Калайда М. Л. Проблемы и перспективы использования теплых вод ГРЭС в решении обеспечения населения рыбой. - Международный водно-энергетический форум 2018: сборник материалов докладов / в 2 т. Т.1. Казань: : Казанский государственный энергетический университет, 2018. С.113-119.
24. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. // Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, 2018. URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние202018.pdf> (дата обращения: 20.02.2020).
25. Калайда М.Л. Современное состояние и задачи развития аквакультуры в Республике Татарстан. Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны: материалы национальной научно-практической конференции (Саратов, 4-5 октября 2016 г.) Саратов: изд. «Научная книга», 2016. С.38-45.
26. Калайда М.Л. Обеспечение качества вод в Республике Татарстан – глобальный гражданский долг каждого современного человека / Хартия земли – практический инструмент решения фундаментальных проблем устойчивого развития: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию реализации принципов Хартии Земли в Республике Татарстан. Казань: Татар. кн. изд-во, 2016. С. 148-152.
27. Калайда М.Л., Абдрахманов И.К., Хамитова М.Ф., и др. Выпуск стерляди в Куйбышевское водохранилище – важная задача развития аквакультуры // Международный водно-энергетический форум – 2018: сборник материалов докладов/ в 2 т. Т.1. –Казань: Казан.гос.энерг.унт, 2018. С.68–74.
28. Хамитова М.Ф., Калайда М.Л. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги / LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/ Германия, 2018. 310 с

#### **Авторы публикации**

**Марина Львовна Калайда** – д-р биол. наук, профессор; заведующий кафедрой «Водных биоресурсов и аквакультуры», Казанский государственный энергетический университет. [kalayda4@mail.ru](mailto:kalayda4@mail.ru).

**Айнур Расихович Саетов** – аспирант, Казанского государственного энергетического университета; [saetov67@mail.ru](mailto:saetov67@mail.ru).

## References

1. *Energy and environmental protection*. Edited by N.G. Zalogin, L.I. Kropp, Yu.M. Kostrikova. M.: Energiya, 1979. 352 p.
2. Electronic resource <https://minenergo.gov.ru/node/15357>
3. Electronic resource <https://www.m.eprussia.ru/epr/articles/elektroenergetika-v-2021-godu-itogi-i-perspektivy>
4. *Ecology of energy* / Edited by V.Ya. Putilova. M.: MEI. 2003. 715 p.
5. Kalaida ML. *The history and prospects of the development of the fishing industry of Tatarstan*. Kazan: Publishing house «Matbugat yorty», 2001. 96 p.
6. Afanasyeva E.A, Kislyakova M.D. The main problems of energy and possible ways to solve them. *Young scientist*. 2017;40 (174):1-4.
7. Khamitova MF, Kalaida ML. *Investigation of changes in hydrobiological characteristics under conditions of local pollution in the Middle Volga region*. LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/ Germany. 2018, 310 p.
8. Kalaida ML, Mugantseva TP. Improving the efficiency of the TPP technical water supply system. *Izvestiya VUZov: Problems of Energy*. 2012;7/8:128
9. Electronic resource [https://i-a.d-cd.net/VASC5L9CrrNd\\_3puOqYsjZv8qFs-1920.jpg](https://i-a.d-cd.net/VASC5L9CrrNd_3puOqYsjZv8qFs-1920.jpg)
10. *Methodological recommendations for determining the effectiveness of fish protection structures at water intakes*. Moscow: TSUREN, 2016.
11. Bespalov AG, Salnikov AL., Bespalova ON, et al. 2016 *Hydraulic structures* (Moscow: KNORUS) pp. 94-95.
12. Kalaida ML. Problems of aquaculture development in the Republic of Tatarstan at the present stage. *Fish farming and fisheries*. 2017;8 (139):7-16
13. FAO. 2020. The state of world fisheries and aquaculture – 2020. *Measures to increase sustainability*. Rome, FAO. 223 p.
14. The state of world fisheries and aquaculture: achieving the Sustainable Development Goals 2018. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/State202018.pdf> (accessed: 02/20/2020).
15. Malevanchik BS, Nikonorov IV. Fish-passing and fish-protection structures. *Moscow. Light and food industry*. 1984. p. 256
16. Kuzmin YuI. Methodological recommendations for the design of fish protection devices of water intake structures. *Leningrad. GosNIORH*. 1972. p. 57.
17. Chistyakov AA, Shkura VN, Mikheev PA. *A method for protecting juvenile fish from entering a water intake structure and a fish protection device that implements it*. Patent of Russia No. 2326209. 2008.
18. Chistyakov AA, Shkura VN, Mikheev PA. *Method of washing the netting of a fish protection structure and the device that implements it*. Russian Patent No. 2326206. 2008.
19. Ivanov AV, Filippov GG. *Method of ensuring the safety of fish at the PSPP*. Russian Patent No. 2346108. 2009.
20. Kalaida ML, Saetov AR. *Fish protection structures on reservoirs of energy facilities as an important event for the conservation of fish herds*. International Water and Energy Forum-2018: collection of materials of reports/ in 2-vols. t.1.-Kazan: Kazan.state.energy.unt, 2018. 373 pp.108-113.
21. Kalaida ML. Processes of self-purification of aquatic ecosystems and their regulation in conditions of eutrophication. *Global spread of anthropogenic eutrophication of water bodies: problems and solutions*. Materials of the international scientific and practical conference. Kazan, 2017. pp.4-12.
22. Kalaida ML, Gordeeva ME. *Features of the physico-chemical state of waters of reservoirs of energy facilities*. International Water and Energy Forum -2018: collection of materials of reports/ in 2 vols. Vol.1. -Kazan: Kazan.state.energy.unt, 2018. 373 p. p.284-290.
23. Govorkova LK, Kalaida ML. *Problems and prospects of using warm waters of GRES in the solution of providing the population with fish*. International Water and Energy Forum 2018: collection of materials of reports/ in 2 vols. V.1. Kazan: Kazan. state. energy. cnt, 2018;373:113-119.
24. *Background information on the development and support of aquaculture (fish farming) in the Russian Federation*. Moscow: FSBI «Rosinformagrotech», 2017. 64 p. Food and Agriculture Organization of the United Nations. // The state of world fisheries and aquaculture, 2018. URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/State202018.pdf> (accessed: 02/20/2020).
25. Kalaida ML. *The current state and tasks of aquaculture development in the Republic of Tatarstan*. The state and ways of aquaculture development in the Russian Federation in the light of import substitution and ensuring the country's food security: Proceedings of the National Scientific

and Practical conference (Saratov, October 4-5, 2016) Saratov: ed. «Scientific Book», 2016. - pp.38-45.

26. Kalaida ML. *Ensuring water quality in the Republic of Tatarstan is a global civic duty of every modern person*. The Earth Charter is a practical tool for solving fundamental problems of sustainable development: a collection of materials of the International scientific and Practical Conference dedicated to the 15th anniversary of the implementation of the principles of the Earth Charter in the Republic of Tatarstan. Kazan: Tatar. publishing House, 2016. pp. 148-152.

27. Kalaida ML, Abdrakhmanov IK, Khamitova MF, et al. The release of sterlet into the Kuibyshev reservoir is an important task for the development of aquaculture. International Water and Energy Forum -2018: collection of materials of reports/ in 2 vols. V.1. Kazan: Kazan.state.energy.cnt, 2018;373(1):68-74.

28. Khamitova MF, Kalaida ML. Investigation of changes in hydrobiological characteristics under conditions of local pollution in the Middle Volga. LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/ Germany, 2018. 310 p.

#### **Authors of the publication**

**Marina L. Kalaida** –Kazan State Power Engineering University. Email kalayda4@mail.ru.

**Аунур R. Saetov** – Kazan State Power Engineering University; Russia. Email: saetov67@mail.ru.

**Получено** 25.03.2022г.

**Отредактировано** 30.03.2022г.

**Принято** 01.04.2022г.