

# ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

## TECHNOSPHERE SAFETY



УДК 639.3

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-1-32-41>

### Применение подводного видеонаблюдения для контроля рыбозащитного устройства на водозаборном сооружении тепловой электростанции



EDN: GZMIUV

А.Р. Саетов , М.Л. Калайда

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Российская Федерация

✉ [sactov67@mail.ru](mailto:sactov67@mail.ru)

#### Аннотация

**Введение.** В ближайшее время сохранит актуальность проблема выбора средств определения эффективности рыбозащитных устройств (РЗУ). Ранее необходимые данные можно было получить только ихтиологическими исследованиями. Для этого используются специфические методики и оборудование. Ситуацию изменила новая редакция Свода правил СП 101.13330.2023<sup>1</sup>, которая предусматривает возможность применения гидроакустических средств для определения эффективности РЗУ. В открытом доступе нет публикаций об особенностях и перспективах такого подхода. Можно предположить, что метод подводного видеонаблюдения сопоставим по результатам с ихтиологическим (гидроакустическим). Цель работы — подтвердить данную гипотезу.

**Материалы и методы.** При ихтиологических исследованиях на Заинской электростанции рыб отлавливали сетями с ячейей 10, 18, 20, 22, 30 и 70 мм. Для отбора проб фитопланктона применяли батометр Молчанова ГР-18. Пробы зоопланктона отбирали сетью Апштейна. Зообентос собирали автоматическим дночерпателем ДАК-250. Подводное видеонаблюдение вели с помощью камеры «Практик Мурена» с разрешением 720 HD (1280×720 пикселей). Это оборудование оснащено встроенной инфракрасной подсветкой. Информация выводится на надводный мониторный блок. Объектив — широкоугольный, с углом обзора 130°.

**Результаты исследования.** Преимущество предложенного метода, выявленное в ходе научных изысканий, касается объема выборки. При видеонаблюдении она оказалась в 2,25 раза больше, чем при традиционном методе. Очевидно, что видеокамеры фиксируют больше особей в сравнении с количеством рыб, попавших в сети. Широкая выборка обеспечивает статистически более значимый эффект. С ростом объема данных увеличивается точность характеристик генеральной совокупности, сокращается случайная ошибка. Для определения коэффициента эффективности (Кэф) РЗУ учитывали концентрацию рыб до и после РЗУ, а также показатель выживаемости особей после контакта с РЗУ. При использовании традиционного метода в 2023 году средний Кэф рыбозащитной эффективности РЗУ на береговой насосной станции № 3 Заинской электростанции составил 86,9 %. Новый подход, предложенный авторами данной статьи, в тех же условиях показал аналогичную среднюю эффективность — 87,3 %. Разница совершенно незначительна — 0,46 %. Максимальное расхождение фиксировалось весной 2023 года. Тогда показатель альтернативного метода был на 9,3 % больше в сравнении с традиционным. Минимум отметили осенью — 0,1 %.

**Обсуждение и заключение.** Удалось подтвердить гипотезу, согласно которой метод подводного видеонаблюдения сопоставим по результатам с ихтиологическим (гидроакустическим). Новый подход все еще не признан законодательно, и его можно использовать только как вспомогательный. Во-первых, видеонаблюдение позволит выяснить, нужны ли ихтиологические изыскания. Во-вторых, эксплуатант водозабора может задействовать экспериментальный метод между ихтиологическими исследованиями для получения оперативной информации об эффективности РЗУ.

**Ключевые слова:** эффективность рыбозащитного устройства, гидроакустическая проверка устройства, ихтиологическая проверка рыбозащиты, подводное видеонаблюдение рыбозащитного устройства

<sup>1</sup> Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Свод правил СП 101.13330.2023 Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL. <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/318744/> (дата обращения: 10.12.2024).

**Благодарности.** Авторы благодарят руководство и коллег Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Татарского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, филиала АО «Татэнерго» — Заинской государственной районной электростанции, а также анонимных рецензентов за помощь, оказанную при подготовке статьи.

**Для цитирования.** Саетов А.Р., Калайда М.Л. Применение подводного видеонаблюдения для контроля рыбозащитного устройства на водозаборном сооружении тепловой электростанции. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2025;9(1):32–41. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-1-32-41>

Original Empirical Research

## Use of Underwater Video Surveillance to Monitor a Fish Protection Device at a Thermal Power Plant Water Intake Facility

Ainur R. Saetov , Marina L. Kalaida 

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

✉ [saetov67@mail.ru](mailto:saetov67@mail.ru)

### Abstract

**Introduction.** In the near future, the issue of selecting appropriate methods to assess the effectiveness of fish protection devices (FPDs) will continue to be relevant. Previously, the necessary data could only be obtained by ichthyological studies, which involved using specific techniques and equipment. However, the introduction of a new edition of the Code of Rules SP 101.13330.2023 changed the situation and opened up the possibility of using sonar tools to determine the FPDs effectiveness. While there is a lack of public information regarding the specifics and potential of this approach, it is possible that underwater video surveillance may yield similar results to ichthyological (hydroacoustic) methods. This study aims to verify this hypothesis.

**Materials and Methods.** During ichthyological studies at the Zainskaya power plant, fish were captured using nets with mesh sizes of 10, 18, 20, 22, 30, and 70 mm. A Molchanov GR-18 bathometer was used to take phytoplankton samples. Zooplankton samples were collected by the Apstein network. Zoobenthos samples were collected using an automatic DAK-250 dredger. Underwater video surveillance was conducted using a Praktik Murena camera with a resolution of 720 HD (1280×720 pixels), which is equipped with built-in infrared illumination and displays information on a surface monitor. The camera has a wide-angle lens with a 130° viewing angle.

**Results.** A notable advantage of the proposed method, identified in the course of scientific research, concerned the sample size. With video surveillance, it turned out to be 2.25 times larger than with the traditional method. This was because video cameras captured more individuals than the number of fish caught in a net. A larger sample size provided a more statistically significant result. As the amount of data increased, the accuracy of the characteristics of the general population increased, and random error decreased. To determine the FPD efficiency coefficient (EC), the concentration of fish before and after the FPDs, as well as the survival rate of individuals after contact with the FPDs were taken into account. When using the traditional method in 2023, the average EC of the FPDs efficiency at on-shore pumping station No. 3 was 86.9%. Under the same conditions, the new approach proposed by the authors showed a similar average efficiency of 87.3%, with a difference of only 0.46%, which was completely insignificant. The maximum discrepancy was in the spring of 2023, where the indicator of the alternative method was 9.3% higher than the traditional one, while the minimum was noted in autumn at 0.1%.

**Discussion and Conclusion.** So, it was possible to confirm the hypothesis that the underwater video surveillance method is comparable in results with the ichthyological (hydroacoustic) method. However, the new approach is not yet legally recognized and can only be used as an additional tool. Firstly, video surveillance can help to determine whether ichthyological studies are necessary. Secondly, water intake operators can use the experimental method in between ichthyological surveys to obtain operational data on the effectiveness of FPDs.

**Keywords:** fish protection device efficiency, hydroacoustic verification of the device, ichthyological verification of fish protection, underwater video surveillance of the fish protection device

**Acknowledgements.** The authors would like to thank the management and colleagues of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kazan State Power Engineering University, the Tatar branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, the branch of JSC Tatenergo — Zainskaya State Regional Power Plant, as well as anonymous reviewers for their help in preparing the article.

**For citation.** Saetov AR, Kalaida ML. Use of Underwater Video Surveillance to Monitor a Fish Protection Device at a Thermal Power Plant Water Intake Facility. *Safety of Technogenic and Natural Systems*. 2025;9(1):32–41. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2025-9-1-32-41>

**Введение.** Оборудование тепловых электростанций требует охлаждения. Для этого используют воду, которую гидротехнические сооружения (водозаборы) берут из природных и искусственных водоемов [1]. Два обязательных условия работы такого объекта — бесперебойная подача воды и рыбозащитное устройство (РЗУ), препятствующее попаданию рыб в оборудование [2].

Минимальная нормативная эффективность РЗУ — 70 % [3]. Этому требованию соответствуют современные конструкции РЗУ<sup>2</sup>.

Система водоснабжения Заинской государственной районной электростанции (ГРЭС) — оборотная. Сбросная вода охлаждается в Заинском водохранилище. Циркуляционно-техническую воду подают три береговые насосные станции (БНС). Заинское водохранилище — рыбохозяйственный водоем. С учетом этого обстоятельства и природных факторов на всех трех БНС с 2015 по 2018 гг. установили РЗУ типа ВВЗ (водовоздушная завеса). Она должна защищать молодь рыб от водозабора, а водозабор — от плавающего и притоленного мусора. Такими же РЗУ оснащали промышленные и энергетические водозаборы на Ириклинской, Калининградской и Рефтинской ГРЭС. Устройства показали высокую рыбозащитную эффективность [4].

Восходящая водовоздушная завеса формируется потоком воды, которая подается насосами на систему придонных модулей РЗУ. Туда же по параллельному трубопроводу поступает воздух. Проходя через аэрирующие сопла, он направляется в перфорированный трубопровод, смешивается с водой, поднимается на поверхность и таким образом образует препятствие для рыб и мусора (рис. 1).

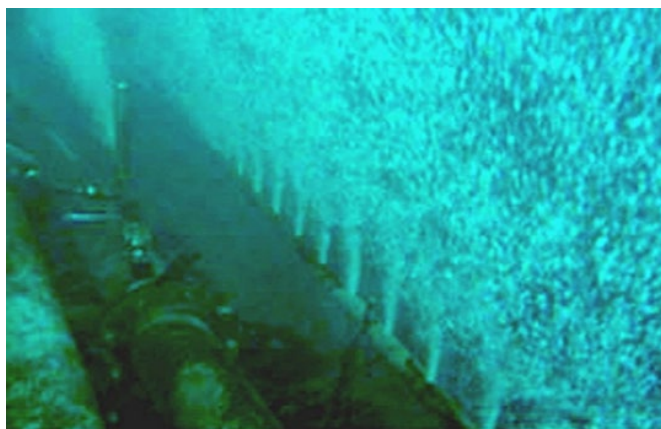


Рис. 1. РЗУ типа ВВЗ в действии

Для РЗУ типа ВВЗ по дну перед зоной водозабора прокладывают перфорированный трубопровод. Из его отверстий постоянно подается водовоздушная смесь. Рыбы зрительно воспринимают «стену» из пузырьков воздуха как физическую преграду. Кроме того, их отпугивает гидроакустический шум воздушных потоков. При этом рыбы не травмируются. РЗУ типа ВВЗ состоит из однотипных взаимозаменяемых модулей, поэтому обслуживать его проще, чем другие защитные устройства. В зимнее время водовоздушная завеса образует полынь. Из-за постоянного перемешивания воды она не замерзает, и водозабор не забивается льдом.

Использование РЗУ типа ВВЗ для защиты молоди рыб базируется, в частности, на испуге. Именно так рыбы реагируют на стену из движущихся вверх пузырьков воздуха — и отплывают от нее. Высокая эффективность метода объясняется комплексным воздействием на молодь. Во-первых, для зрительных рецепторов рыбы водовоздушная завеса — это внешний раздражитель. Во-вторых, она воспринимается как механическая преграда (стена). В-третьих, завеса издает шум. Пузырьки воздуха поднимаются из отверстий перфорированных труб. При всплытии они расширяются и схлопываются с гидрокавитационным эффектом. Происходит микровзрыв, который отпугивает рыб.

В сравнении с воздушно-пузырьковой завесой энергетика водовоздушной завесы намного выше, так как ее формирует не только воздух, но и гораздо более плотный водной поток. В водовоздушной завесе рыба эффективнее поднимается в верхние слои и выносится оттоком от водозабора [5]. Как правило, водовоздушная завеса применяется на крупных водозаборах энергетического назначения.

<sup>2</sup> Об Инструкции о порядке осуществления контроля за эффективностью рыбозащитных устройств и проведения наблюдений за гибелью рыбы на водозаборных сооружениях. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 1 сентября 2009 г. № 786. URL: <https://base.garant.ru/12171525/> (дата обращения: 10.12.2024).

**Материалы и методы.** Для оценки эффективности РЗУ водозаборных сооружений Заинской ГРЭС проводились ихтиологические исследования<sup>3</sup>. Анализировались количественный и качественный состав рыб, которые попали в сети в подводящем канале. Для вычисления коэффициента выживаемости выполнили специальные исследования. Контрольную группу рыб отлавливали перед РЗУ, а опытную — в подводящем канале после контакта с элементами РЗУ. В обеих группах подсчитывали число погибших и живых особей. Выживших наблюдали в течение суток [6]. Затем число погибших и выживших снова подсчитывали и таким образом получали коэффициент выживаемости.

Коэффициент эффективности РЗУ выражается в процентах. Это отношение количества рыб, задержанных РЗУ, к числу рыб, попадающих в водозаборное сооружение при отсутствии РЗУ. Учет вели круглосуточно в течение года.

На БНС № 3, оснащенной РЗУ, организовали наблюдательный пункт для отбора ихтиологических проб по стандартным методикам [7]. Вид рыб определяли по таксономическим ревизиям и сводкам [8].

Отмечена сезонная динамика попадания рыб в водозаборные сооружения БНС № 3 Заинской ГРЭС. До и после РЗУ самое большое количество рыбы попадает летом, наименьшее — осенью, зимой и ранней весной (таблица 1). Это объясняется тем, что холодная вода снижает активность рыб.

Таблица 1

Количественный и видовой состав рыб, зафиксированных в водозаборных сооружениях БНС № 3 Заинской ГРЭС перед РЗУ и после РЗУ в 2023 году, экз.

| Виды рыб | Зима      |           | Весна     |           | Лето      |           | Осень     |           |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          | Перед РЗУ | После РЗУ | Перед РЗУ | После РЗУ | Перед РЗУ | После РЗУ | Перед РЗУ | После РЗУ |
| Лещ      | —         | —         | —         | —         | 5         | —         | —         | —         |
| Уклейка  | 45        | —         | 1         | 1         | 6         | 1         | —         | 2         |
| Густера  | 6         | —         | 7         | 1         | —         | —         | —         | 4         |
| Голавль  | —         | —         | 2         | —         | —         | —         | —         | —         |
| Плотва   | —         | —         | 2         | 1         | 56        | 1         | 2         | 4         |
| Сом      | —         | —         | —         | —         | 1         | —         | —         | —         |
| Окунь    | 21        | 2         | 36        | 6         | 250       | 115       | 152       | 6         |
| Всего    | 72        | 2         | 48        | 9         | 318       | 117       | 154       | 16        |

По данным круглосуточных наблюдений на БНС № 3, наибольшее число рыб попадает в сети и оборудование в сумерки и ночью (в 21:00, 1:00, 5:00 и 9:00). В это время рыбы хуже видят преграды, и их захватывает течение у РЗУ. В первую очередь это касается молоди. Ей сложнее сопротивляться потоку.

Двигательная активность карповых рыб уменьшается с 20:00 до 6:00. Это выявил спектральный анализ, который занял 34 часа.

Одновременно с ихтиологическими исследованиями организовали подводное видеонаблюдение. Перед РЗУ и после РЗУ устанавливали камеру «Практик Мурена» [9]. Она вела фото- и видеосъемку. Это оборудование выводит информацию на надводный монитор и сохраняет данные. Разрешение 1280×720 пикселей обеспечивает четкое изображение даже в условиях слабого освещения. Кроме того, можно включить светодиодную или инфракрасную подсветку. Они дистанционно регулируются, и это важно при работе в мутной воде или в плохую погоду. Специальные датчики измеряют глубину и температуру воды. Опциональная функция компаса отображает направление камеры, то есть показывает, в какую сторону она повернута.

Благодаря мощному встроенному литийионному аккумулятору (10 000 мА·ч) камера может работать 6 часов даже в холодную погоду, при этом индикатор аккумулятора отображает время его работы.

На рис. 2 представлен надводный блок. Это портативный пятидюймовый цветной TFT-монитор (от англ. thin-film transistor — тонкопленочные транзисторы).

<sup>3</sup> Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Свод правил СП 101.13330.2023. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/318744/> (дата обращения: 10.12.2024).





Рис. 2. Подводная видеочка «Практик Мурена»

Высокое разрешение 720 HD (1280×720 пикселей) дает ясную и четкую картинку даже на глубине 10–15 м в условиях средней прозрачности воды. Специальный козырек защищает экран от солнечного света. Можно установить карту памяти microSD объемом до 128 Гб. Широкий угол обзора — 130 градусов. Мощная подсветка — 2 LED белых и 4 инфракрасных светодиода позволяют изучать подводный мир днем и ночью даже в условиях слабой прозрачности воды. Класс защиты видеочка (объектива): IP 68. Влагозащищенный и износостойкий видеокабель длиной 15 м выдерживает нагрузку до 15 кг. Температурный режим эксплуатации от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ .

Комплекс объединяет элементы с тремя основными функциями: видеочка, источник питания и накопитель информации. Потребовалось лишь два дополнения. Во-первых, для переноски, хранения и защиты от осадков купили алюминиевый бокс (рис. 3). Его утеплили, чтобы аккумулятор дольше работал в холодное время года. Во-вторых, дополнительно установили внешний жесткий диск объемом 2 терабайта, чтобы сохранять весь отснятый материал.



Рис. 3. Бокс и надводный блок видеочка «Практик Мурена»

Для установки и фиксации камеры под водой разработали специальный кондуктор (рис. 4).

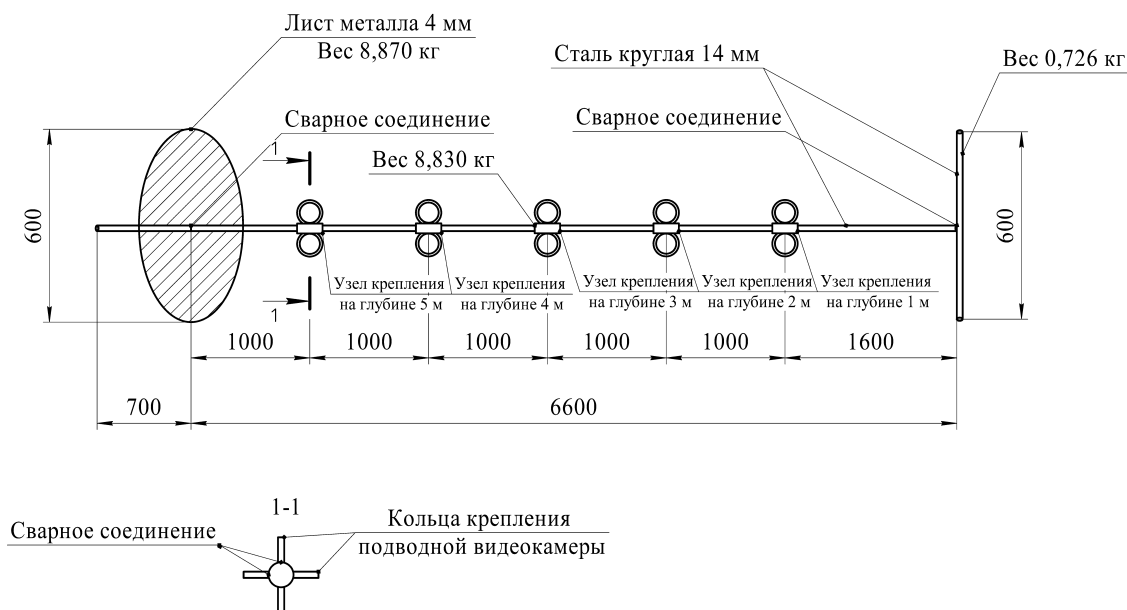


Рис. 4. Кондуктор для установки подводного видеонаблюдения

Кондуктор изготовлен из стального круглого прутка диаметром 14 мм длиной 7300 мм. В верхней части — поперечная перекладина диаметром 14 мм длиной 600 мм, приваренная к основной части. Перекладина выполняет роль рукояти при погружении нижнего конца кондуктора в донный грунт и при повороте для ориентации видеокамеры в нужном направлении. На расстоянии 600 мм от нижнего конца кондуктора сварным соединением закреплён круглый металлический лист толщиной 4 мм. Он ограничивает проникновение кондуктора в грунт и фиксирует его в вертикальном положении. Для крепления подводной камеры через каждые 90° по окружности металлического листа приварены металлические кольца. Расстояние между ними — 1 000 мм. Общая масса конструкции кондуктора не превышает 19 кг, поэтому с ней может работать даже один исследователь.

**Результаты исследования.** Съёмка перед и после РЗУ на БНС № 3 Заинской ГРЭС выявила стабильность видового состава рыб. Он не зависит от сезона и в целом соответствует данным ихтиологических исследований. В ходе работ удалось зафиксировать 1654 особей. У 256 экземпляров (15,48 % от общего числа) не удалось установить вид [10]. Поэтому для объективности на рис. 5 представлен количественный состав, а в таблицу 2 внесли все полученные данные [11].

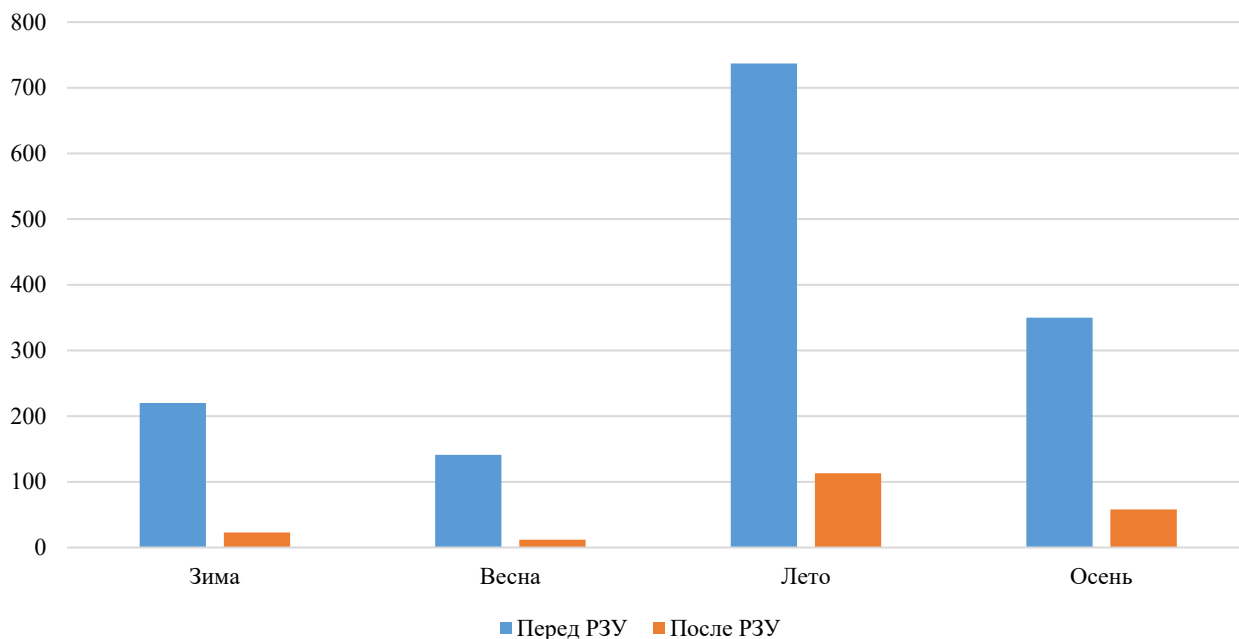


Рис. 5. Количество рыб, попавших на камеру подводного видеонаблюдения перед и после РЗУ на БНС № 3 в 2023 году, экз.

Таблица 2

Количество и виды рыб, зафиксированных камерами подводного видеонаблюдения до и после РЗУ на БНС № 3 в разные сезоны 2023 года, экз.

| Виды рыб      | Зима      |           | Весна     |           | Лето      |           | Осень     |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | Перед РЗУ | После РЗУ | Перед РЗУ | После РЗУ | Перед РЗУ | После РЗУ | Перед РЗУ | После РЗУ |
| Уклейка       | 89        | 3         | 63        | 2         | 271       | 15        | 131       | 7         |
| Густера, лещ* | 18        | 1         | 12        | –         | 71        | 8         | 35        | 5         |
| Окунь         | 42        | 6         | 24        | 2         | 143       | 25        | 72        | 15        |
| Голавль       | 22        | 3         | 12        | 3         | 78        | 16        | 35        | 8         |
| Плотва        | 20        | 5         | 14        | 2         | 69        | 14        | 32        | 5         |
| Не определено | 29        | 5         | 16        | 3         | 105       | 35        | 45        | 18        |
| Всего         | 220       | 23        | 141       | 12        | 737       | 113       | 350       | 58        |

\*Густеру и леща объединили, т.к. их бывает сложно различить на экране.

Общее количество рыб, зафиксированных в районе РЗУ двумя методами, представлено в таблице 3. Согласно этим данным, рыба особенно активна осенью. Сравнительно высокая активность отмечается летом, низкая — зимой и весной.

Таблица 3

Общее количество рыб, зафиксированных в районе РЗУ Заинской ГРЭС в период проведения исследований ихтиологическим (ихт.) методом и методом подводного видеонаблюдения (эксп.) в 2023 году

| Сезон и метод фиксации | Зима |       | Весна |       | Лето |       | Осень |       | Всего за год |       |
|------------------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|--------------|-------|
|                        | Ихт. | Эксп. | Ихт.  | Эксп. | Ихт. | Эксп. | Ихт.  | Эксп. | Ихт.         | Эксп. |
| Количество             | 74   | 243   | 57    | 153   | 170  | 408   | 435   | 850   | 736          | 1654  |

В сравнении с ихтиологическим наблюдением подводное зафиксировало в 2,25 раза больше особей. Чем больше размер выборки, тем выше вероятность обнаружить статистически значимый эффект. К тому же больший объем данных увеличивает точность оценки параметров генеральной совокупности и уменьшает случайную ошибку. Это преимущество альтернативного метода исследования.

Согласно итогам круглосуточных наблюдений, вне зависимости от сезона подводные камеры чаще фиксируют рыб в светлое время суток (таблица 4).

Таблица 4

Количество рыб, зафиксированных камерами подводного видеонаблюдения в 2023 году на БНС № 3 Заинской ГРЭС, экземпляров/%

| Время        | 0:00–4:00    | 4:00–8:00      | 8:00–12:00     | 12:00–16:00   | 16:00–20:00    | 20:00–0:00    | За сезон     |
|--------------|--------------|----------------|----------------|---------------|----------------|---------------|--------------|
| Зима         | 4/<br>1,65   | 78/<br>32,10   | 53/<br>21,81   | 36/<br>14,81  | 42/<br>17,28   | 30/<br>12,35  | 243/<br>100  |
| Весна        | 2/<br>1,31   | 51/<br>33,33   | 33/<br>21,57   | 15/<br>9,8    | 33/<br>21,57   | 19/<br>12,42  | 153/<br>100  |
| Лето         | 13/<br>1,53  | 337/<br>39,65  | 185/<br>21,76  | 104/<br>12,24 | 155/<br>18,23  | 56/<br>6,59   | 850/<br>100  |
| Осень        | 4/<br>0,98   | 162/<br>39,71  | 93/<br>22,79   | 39/<br>9,56   | 77/<br>18,87   | 33/<br>8,09   | 408/<br>100  |
| Всего за год | 23/<br>1,39* | 628/<br>37,97* | 364/<br>22,01* | 194/<br>11,73 | 307/<br>18,56* | 138/<br>8,34* | 1654/<br>100 |

\*Показатель рассчитывается не по времени суток, а по итогам года. Это доля от общего годового количества — 1654.

Подводное видеонаблюдение выявило наименьшее количество рыбы в сумерки и ночью, с 22:00 до 4:00. Это объясняется биоритмикой большинства рыб. Их двигательная активность снижается с 20:00 до 6:00 [11]. С 0:00 до 4:00 камера подводного видеонаблюдения зафиксировала лишь 23 экземпляра из 1654, или 1,39 %. Этот показатель остается низким (от 0,98 % до 1,65 %) независимо от сезона.

С 20:00 до 0:00 видеоследование обнаружило 138 экземпляров из 1654, или 8,34 %. Особенно низкие показатели фиксировались летом (6,59 %) и осенью (8,09 %).

С 12:00 до 16:00 удалось заснять 194 экземпляра из 1654, или 11,37 %. Минимумы отмечены весной (9,80 %) и осенью (9,56 %).

Для ихтиологических исследований коэффициент эффективности (Кэф) РЗУ рассчитали по формуле:

$$K_{\text{эф}} = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot B \cdot 100 \%,$$

где  $C$  — концентрация рыб после РЗУ;  $C_0$  — концентрация рыб перед РЗУ;  $B$  — коэффициент выживаемости рыб после контакта с элементами конструкции РЗУ.

$K_{\text{эф}}$  (в %) РЗУ по результатам ихтиологических исследований в 2023 году:

- зима — 97,2;
- весна — 83,7;
- лето — 83,4;
- осень — 83,3.

В 2023 году средний коэффициент рыбозащитной эффективности РЗУ на БНС № 3 составил 86,9 % (по нормам — не менее 70 %).

Одновременно с ихтиологическими исследованиями на БНС № 3 шли опыты по фиксации рыб с помощью подводной камеры. Их также отслеживали до и после РЗУ. Кэф РЗУ по результатам видеонаблюдения в 2023 году:

- зима — 89,6 %;
- весна — 91,5 %;
- лето — 84,7 %;
- осень — 83,4 %.

Средний Кэф РЗУ в этом случае — 87,3 %.

В таблице 5 сопоставляются показатели рыбозащитной эффективности РЗУ, полученные разными методами.

Таблица 5

Сравнение эффективности ихтиологического и альтернативного (экспериментального) методов определения рыбозащитной эффективности на РЗУ БНС № 3 в 2023 году, %

| Время года | Кэф РЗУ (ихтиологический метод) | Кэф РЗУ (экспериментальный метод) | Разница<br>(– ниже, + выше) |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Зима       | 97,20                           | 89,60                             | –7,80                       |
| Весна      | 83,70                           | 91,50                             | +9,30                       |
| Лето       | 83,40                           | 84,70                             | +1,60                       |
| Осень      | 83,30                           | 83,40                             | +0,10                       |
| 2023 год   | 86,90                           | 87,30                             | +0,46                       |

Как видим, пиковая разница в эффективности — менее 10 %, минимальная — 0,1 %, средняя — 0,46 %.

**Обсуждение и заключение.** Подводное видеонаблюдение на РЗУ типа ВВЗ в условиях БНС № 3 Заинской ГРЭС подтвердило данные традиционных ихтиологических исследований. По результатам эти два метода расходятся незначительно. Средняя разница менее 1 % (точнее, 0,46 %) говорит о корректности результата. Это подтверждает гипотезу об информативности и перспективности метода подводного видеонаблюдения.

Уточним, что экспериментальный метод все еще не признан законодательно. В связи с этим его нельзя использовать как самостоятельный и достаточный подход. Однако он будет полезен, во-первых, чтобы выяснить, нужны ли ихтиологические изыскания. Во-вторых, между традиционными исследованиями можно задействовать подводное видеонаблюдение для получения дополнительной информации об эффективности РЗУ.

Таким образом, предложенный метод дает эксплуатанту водозабора возможность оперативно отслеживать эффективность работы РЗУ. Такой мониторинг можно проводить значительно чаще, чем профессиональный ихтиологический (гидроакустический).

Подводное видеонаблюдение хорошо подходит также для дистанционного определения таких параметров рыб, как длина. При этом особи не извлекаются из воды и не травмируются [12].



Еще одно преимущество нового метода перед традиционным — большая выборка. В рамках представленной научной работы отмечено различие в 2,25 раза в пользу подводного видеонаблюдения. Увеличение выборки позволяет повысить точность оценки и сократить вероятность ошибок при расчетах.

### Список литературы / References

1. Афанасьева Е.А., Кислякова М.Д. Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения. *Молодой ученый*. 2017;40(174):1–4. URL: <https://moluch.ru/archive/174/45823/> (дата обращения: 13.12.2024).  
Afanaseva EA, Kislyakova MD. The Main Challenges of Energy and Potential Solutions. *Molodoi uchenyi*. 2017;40(174):1–4. (In Russ.) URL: <https://moluch.ru/archive/174/45823/> (accessed: 13.12.2024).
2. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Казань: Фолиант; 2018. С. 189–203.  
*Water Bodies of the Republic of Tatarstan. Hydrographic Reference Book*. Kazan: Foliant; 2018. P. 189–203. (In Russ.)
3. Bretzel JB, Doyle KE, An Vi Vu, Watts RJ, Galbusera C, Boys CA, et al. A Touch too Much — Interactions of Various Species of Freshwater Fish and Crustacea at a Simulated Fish Protection Screen. *Ecological Engineering*. 2024;204:107281. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107281>
4. Ivanov AV. Safe Habitation for Protected Fish at Hydroelectric Power Plants. *Power Technology and Engineering*. 2023;57:26–38. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01619-4>
5. Ivanov AV. On Protecting Fish in a Hydroelectric Power Station. *Power Technology and Engineering*. 2022;56:529–537. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01548-2>
6. Бражник С.Ю., Устюжинский Г.М., Валуев К.В., Гончаров С.М., Меньшиков С.И., Леман В.Н. и др. Методические рекомендации по сбору и обработке данных гидрологических и ихтиологических исследований в ходе проведения испытаний по определению эффективности рыбозащитных сооружений (устройств). Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии; 2024. С. 52.  
Brazhnik SYu, Ustyuzhinskii GM, Valuev KV, Goncharov SM, Menshikov SI, Leman VN, et al. Methodological Recommendations for the Collection and Processing of Hydrological and Ichthyological Research Data during Tests to Determine the Effectiveness of Fish Protection Structures (Devices). Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography; 2024. P. 52. (In Russ.)
7. Калайда М.Л., Саатов А.Р. Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов. *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2022;24(2):175–185. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185>
8. 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. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-2-175-185>
9. Elham Foroozandeh, Pouya Derakhshan Barjoei. Fish Behaviors in Electromagnetic Fields. *Journal of Molecular Biomarkers & Diagnosis*. 2018;09(1):1000377. <http://doi.org/10.4172/2155-9929.1000377>
10. Christie AE. Fish Protection at Ontario Hydro Thermal Generating Stations: Recent Developments. *SIL Proceedings, 1922–2010*. 1985;22(4):2508. <https://doi.org/10.1080/03680770.1983.11897713>
11. Павлов Д.С., Скоробогатов М.А. Миграции рыб в зарегулированных реках. Москва: КМК; 2014. С. 413. URL: <http://elibrary.vniro.ru/lib/document/DB4/9EBCA007-6936-4D97-8FF9-40975ACE5665/> (дата обращения: 17.09.2024).  
Pavlov DS, Skorobogatov MA. *Fish Migrations in Regulated Rivers*. Moscow: KMK; 2014. P. 413. (In Russ.) URL: <http://elibrary.vniro.ru/lib/document/DB4/9EBCA007-6936-4D97-8FF9-40975ACE5665/> (accessed: 17.09.2024).
12. Решетников Ю.С. (ред.). Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. Москва: Наука; 1998. С. 21–219. URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_000573328/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000573328/) (дата обращения: 17.09.2024).  
Reshetnikov YuS. (ed.). *An Annotated Catalog of Cyclostomes and Fishes of the Continental Waters of Russia*. Moscow: Nauka; 1998. P. 21–219. (In Russ.) URL: [https://rusneb.ru/catalog/000199\\_000009\\_000573328/](https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_000573328/) (accessed: 17.09.2024).
13. Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра. *Известия ТИНРО*. 2013;172:20–51. URL: [https://www.researchgate.net/publication/291228890\\_Gidroakusticeskie\\_metody\\_i\\_sredstva\\_ocenki\\_zapasov\\_ryb\\_i\\_ih\\_promysla\\_Cast\\_1\\_Gidroakusticeskie\\_sredstva\\_i\\_tehnologii\\_ih\\_ispolzovania\\_pri\\_provedenii\\_bioresurnyh\\_issledovanij\\_TINRO-Centra](https://www.researchgate.net/publication/291228890_Gidroakusticeskie_metody_i_sredstva_ocenki_zapasov_ryb_i_ih_promysla_Cast_1_Gidroakusticeskie_sredstva_i_tehnologii_ih_ispolzovania_pri_provedenii_bioresurnyh_issledovanij_TINRO-Centra) (дата обращения: 17.09.2024).
14. Kuznetsov MYu. Hydroacoustic Methods and Tools for Fish Stock Assessment and Fishery Maintenance. Part 1. Hydroacoustic Tools and Technologies of Their Use in Bioresource Researches of TINRO-Center. *Izv. TINRO*. 2013;172:20–51. (In Russ.) URL: [https://www.researchgate.net/publication/291228890\\_Gidroakusticeskie\\_metody\\_i\\_sredstva\\_ocenki\\_zapasov\\_ryb\\_i\\_ih\\_promysla\\_Cast\\_1\\_Gidroakusticeskie\\_sredstva\\_i\\_tehnologii\\_ih\\_ispolzovania\\_pri\\_provedenii\\_bioresurnyh\\_issledovanij\\_TINRO-Centra](https://www.researchgate.net/publication/291228890_Gidroakusticeskie_metody_i_sredstva_ocenki_zapasov_ryb_i_ih_promysla_Cast_1_Gidroakusticeskie_sredstva_i_tehnologii_ih_ispolzovania_pri_provedenii_bioresurnyh_issledovanij_TINRO-Centra) (accessed: 17.09.2024).

**Об авторах:**

**Айнур Расихович Саетов**, аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Красносельская улица, 51), [ORCID](#), [saetov67@mail.ru](mailto:saetov67@mail.ru)

**Марина Львовна Калайда**, доктор биологических наук, заведующая кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры Казанского государственного энергетического университета (420066, Российская Федерация, г. Казань, Красносельская улица, 51), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [kalayda4@mail.ru](mailto:kalayda4@mail.ru)

**Заявленный вклад авторов:**

**А.Р. Саетов:** разработка методологии, написание чернового варианта статьи, иллюстрации.

**М.Л. Калайда:** разработка концепции, научное руководство.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**About the Authors:**

**Ainur R. Saetov**, Postgraduate Student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Kazan State Power Engineering University (51, Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), [ORCID](#), [saetov67@mail.ru](mailto:saetov67@mail.ru)

**Marina L. Kalaida**, Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, Kazan State Power Engineering University (51, Krasnoselskaya St., Kazan, 420066, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [ScopusID](#), [kalayda4@mail.ru](mailto:kalayda4@mail.ru)

**Claimed Contributorship:**

**AR Saetov:** methodology development, writing a draft of a manuscript, visualization.

**ML Kalaida:** concept development, academic advising.

**Conflict of Interest Statement:** the authors declare no conflict of interest.

**All authors have read and approved the final version of the manuscript.**

Поступила в редакцию / Received 28.12.2024

Поступила после рецензирования / Revised 20.01.2025

Принята к публикации / Accepted 31.01.2025