

Комплексное рыбозащитное сооружение с использованием поверхностного непроницаемого экрана и пневматической завесы на водозаборе НС-1 Кармановской ГРЭС

DOI

Кандидат биологических наук, доцент **Ф.М. Шакирова** – ведущий научный сотрудник лаборатории ихтиологии;

Г.Д. Валиева – специалист лаборатории ихтиологии;

Кандидат биологических наук **Ю.А. Северов** – заместитель руководителя;

М.А. Горшков – заведующий лабораторией аквакультуры;

А.В. Гранин – специалист лаборатории аквакультуры;

Доктор сельскохозяйственных наук **Р.Р. Сафиуллин** – руководитель – Татарский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («ТатарстанНИРО»);

Кандидат технических наук **В.Д. Шульгин** – Начальник отдела;

В.А. Аксенов – Главный специалист – гидротехник – Отдел рыбозащиты Закрытого акционерного общества «ДАР/ВОДГЕО»;

С.С. Набоков – Генеральный директор группы компаний «Гидроремонт» – ООО МП «Гидроремонт»

@ shakirovafm@gmail.com;
object_sveta@mail.ru;
tatarstanniro@vniro.ru;
info@darvodgeo.ru;
shulgin@darvodgeo.ru;
office@gidroremont.com

INTEGRATED FISH PROTECTION STRUCTURE USING A SURFACE IMPENETRABLE SCREEN AND A PNEUMATIC CURTAIN AT THE WATER INTAKE OF NS-1 KARMANOVSKAYA GRES

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor **F.M. Shakirova** – Leading researcher of the Laboratory of Ichthyology;
G.D. Valieva – specialist of the Ichthyology Laboratory;
Candidate of Biological Sciences **Yu.A. Severov** – Deputy Head;
M.A. Gorshkov – Head of the Aquaculture Laboratory";
A.V. Granin – specialist of the aquaculture laboratory";
Doctor of Agricultural Sciences **R.R. Safiullin** – Head – Tatar branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography ("TatarstanNIRO");
Candidate of Technical Sciences **V.D. Shulgin** – Head of the Department;
V.A. Aksenov – Chief Specialist – Hydraulic engineer – Fish protection Department of the Closed Joint Stock Company "DAR/VODGEO";
S.S. Nabokov – General Director of the group of companies "Gidroremont" – LLC MP "Gidroremont"

The article provides a description of the complex pneumatic fish protection structure (FCS) of the pumping station No. 1 of the Karmanovskaya GRES. Estimated design flow rate of NS No. 1 of water intake is 44 m³/s. The RGU includes an impenetrable screen in the form of a zapan, covering the surface two-meter layer of the water intake flow and a pneumatic (water-air) curtain that provides protection for fish fry of various sizes living in the thickness, surface and bottom layers of the reservoir.

Ichthyological studies conducted by the Tatar branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "VNIRO" showed that the complex pneumatic fish protection structure protects juvenile fish living in the reservoir with an average efficiency of 86.51%, which exceeds the regulatory requirements of 70% of the current SP 101.13330.2012 (updated edition of SNiP 2.06.07 -87 "Retaining walls, shipping locks, fish passage and fish protection structures" (as amended No. 1)).

Ключевые слова:

водозабор, комплексное рыбозащитное сооружение, молодь рыб, отловы рыб, наплавная запань, вертикальные рыбоотводящие отбойные токи, вертикальные скорости, пневматическая завеса, водовоздушный поток, место безопасного обитания рыб

Keywords:

water intake, complex fish protection structure, juvenile fish, fish trapping, floating trap, vertical fish diverting fender currents, vertical speeds, pneumatic curtain, water-air flow, safe habitat for fish

ВВЕДЕНИЕ

Кармановская ГРЭС филиала ООО «БГК» является самой крупной ГРЭС республики Башкортостан: включает 6 энергоблоков суммарной мощностью 1800 МВт, а вырабатываемая энергия используется энергосистемой РФ [1].

Источником технического водоснабжения Кармановской ГРЭС

является Кармановское водохранилище, расположенное на р. Буй. Забор воды на нужды Кармановской ГРЭС осуществляется двумя береговыми насосными станциями: НС № 1 и НС № 2, производительностью 44,0 и 22,0 м³/с, которые расположены на южном берегу Кармановского водохранилища в 2,5 км от плотины гидроузла.

Конструкции обеих насосных станций аналогичны и выполнены на основании проектной документации, разработанной УралТЭП. Строительство ГТС водозаборных сооружений было начато в 1964 г., а завершено в 1973 году. На НС № 1, 2 установлены 12 циркуляционных насосов типа ОП-5-110КЭ, производительностью 18000 м³/ч или 5,0 м³/с.

Кармановское водохранилище в районе БНС имеет ширину 800 м, глубину по руслу (при НПУ) – 6,0 м, в прибрежной части – 2,5-3,0 метра.

По результатам многолетних исследований Татарского и Пермского отделений ФГБНУ «ГосНИОРХ» (в настоящее время Татарский и Пермский филиалы ФГБНУ «ВНИРО» «ТатарстанНИРО» и «ПермНИРО»), выявлено, что в Кармановском водохранилище обитает 23 вида рыб, из которых массовыми являются окунь, уклейка, красноперка, плотва. Достаточно обычны для водоема – лещ, густера, линь, карась золотой, карась серебряный, ерш, чехонь; реже попадаются судак, щука, налим, язь, голавль, елец, волжский подуст, пескарь; единично встречаются жерех, карп (сазан). Кроме того, водохранилище в 2012-2015 гг. искусственно зарыблялось молодь толстолобика и белого амура – рыбами-мелиораторами, для снижения зарастаемости водохранилища и улучшения экологического состояния водоема.

На сбросных каналах ГРЭС, не замерзающих в зимнее время, установлено несколько садковых линий Кармановского рыбхоза – крупнейшего рыбного хозяйства Башкирии, из которых в водохранилище попадают канальный сомик и сибирский осетр, роль которых в промысле неоднозначна [2-4].

Многолетние наблюдения прошлых лет «ТатарстанНИРО» и «ПермНИРО» показывают, что в насосные станции Кармановской ГРЭС попадают и гибнут сеголетки и годовики судака, уклейки, окуня, ерша, леща, чехони, красноперки, налима, пескаря (размеры учтенных рыб – от 7,0-15,0 см). Основное попадание отмечалось в ночное время суток с 00 до 02 часов [5-7].

В связи с этим и во исполнение природоохранного законодательства, администрацией Кармановской ГРЭС было принято решение оборудовать водозабор НС № 1 рыбозащитным сооружением [8]. При разработке рыбохозяйственного обоснования по выбору конструкции РЗС, на НС № 1 использовались материалы и публикации Татарского отделения ГосНИОРХ, ВНИРО, ДАР/ВОДГЕО, ИПЭЭ РАН, Главрыбвода и других организаций [5-7; 9-16], изучающих закономерности покатных миграций, данные гидравлично-биологических обоснований проектов рыбозащитных сооружений на водозаборах-аналогах, сведения по состоянию ихтиофауны водоема и динамике попадания молоди рыб в водозабор КГРЭС.

После анализа ихтиологической и гидравлической ситуации в районе водозаборов Кармановской ГРЭС и рассмотрения различных вариантов конструкций РЗС, было принято решение оборудовать НС № 1 комплексным пневматическим рыбозащитным сооружением, имеющим в своем составе два взаимно дополняющих элемента:

В статье приводится описание комплексного пневматического рыбозащитного сооружения (РЗС) насосной станции № 1 Кармановской ГРЭС. Расчетный проектный расход НС № 1 водозабора – 44 м³/с. РЗС включает непроницаемый экран в виде запани, перекрывающий поверхностный двухметровый слой водозаборного потока и пневматическую (водовоздушную) завесу, обеспечивающую защиту разновозрастной молоди рыб, обитающей в толще, поверхностных и придонных слоях водоема.

Ихтиологические исследования, проведенные Татарским филиалом ФГБНУ «ВНИРО», показали, что комплексное пневматическое рыбозащитное сооружение защищает молодь рыб, обитающую в водоеме со средней эффективностью 86,51%, что превышает нормативные требования 70% действующего СП 101.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стенки, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» (с изменениями № 1).

- поверхностный непроницаемый экран в виде наплавной запани, перекрывающий поверхностный полутораметровый слой водозаборного потока и обеспечивающий защиту от попадания в водозабор молоди рыб с размерами тела от 12 мм и более;

- пневматическая (водовоздушная завеса), которая, за счет создаваемых вертикальных рыбоотводящих токов и водовоздушного потока, обеспечивает защиту рыб, обитающих в толще и придонных слоях водоема.

Пневматическая завеса создается за счет перфорированного трубопровода, уложенного на дно подводящего канала. К трубопроводу от компрессора подается сжатый воздух. Схема поперечного

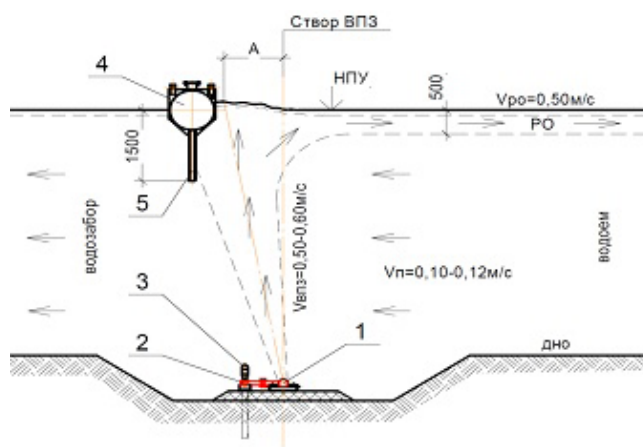


Рисунок 1. Схема поперечного разреза комплексного пневматического РЗС:

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

Figure 1. Scheme of a cross section of a complex pneumatic launcher: 1-perforated ABC pipe, 2-distribution pipeline, 3-air duct, 4-spani pontoon pipe, 5-spani skirt

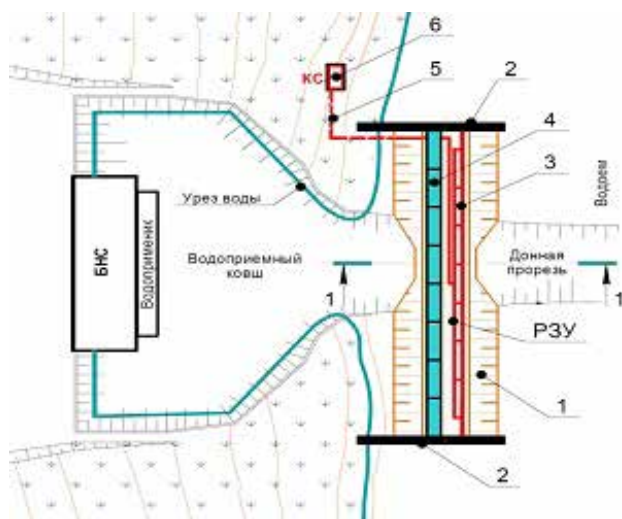


Рисунок 2. Схема компоновки основных элементов комплексного пневматического РЗС: 1-дноуглубление, 2-сопряжения, 3-технологические трубопроводы ВПЗ, 4-запань, 5-воздуховод, 6-компрессорная станция

Figure 2. Layout diagram of the main elements of the complex pneumatic ABC: 1-dredging, 2-couplings, 3-technological pipelines of the ABC, 4-pan, 5-air duct, 6-compressor station

разреза комплексного пневматического РЗС представлена на рисунке 1.

В процессе движения воздушных пузырьков, исходящих из перфорированного трубопровода РЗС сквозь толщу воды к свободной поверхности, происходит активное вовлечение частиц жидкости и, как результат – возникновение восходящих токов (эрлифтных течений). Вертикальные токи, достигая поверхности на оси водовоздушного факела, образуют валец, который, растекаясь в горизонтальной плоскости и взаимодействуя с наплавной запанью, обеспечивает принудительную и безопасную транспортировку разноразмерной молоди рыб, т.е. производится рыбоотведение разноразмерной молоди рыб от водозаборного сооружения в безопасную зону обитания.

Защита молоди на водозаборе Кармановской ГРЭС, с использованием непроницаемого экрана в виде наплавной запани и пневмозавесы (водовоздушной завесы), основана на использовании физических, поведенческого и экологического принципов рыбозащиты. На разноразмерную молодь рыб в рабочей зоне – в водовоздушном факеле РЗС, воздействуют восходящие вертикальные течения, флотация и барбардировка рыб поднимающимися пузырьками воздуха, совместная работа которых приводит к выносу рыб в сторону от водозабора.

Поведенческий принцип проявляется реакцией испуга рыб на сплошную воздушно-пузырьковую преграду в виде «зрительной стенки», создаваемую на пути их перемещения, и создаваемый шумовой эффект.

Экологический принцип заключается в том, что створ расположения РЗС на входе в подводящий

канал ГРЭС был вынесен в акваторию водоема на участок, где всасывающие скорости водозаборного потока не превышали сносящие скорости для рыб наименьшего защищаемого размера, т.е. не более 10-12 см/с [9]. Таким образом, данное комплексное пневматическое РЗС уже фактически располагается согласно п.3.3 СНиП 2.06.07-87 (с изменениями № 1) в безопасном месте водного объекта.

Рыбозащитное устройство НС № 1 водозабора Кармановской ГРЭС состоит из участка дноуглубления под установку РЗС, сопрягающих водонепроницаемых стенок, перфорированного трубопровода, наплавной запани, подводящего воздуховода Ду80, компрессорной станции и кабельных линий электроснабжения (см. рис. 1).

Перед выполнением работ по установке РЗС был выполнен цикл подготовительных работ. В акватории водоема, в створе установки РЗС водозабора БНС № 1, производилось удаление донных наносов, водной растительности, крупногабаритного мусора природного происхождения и затонувших конструкций за период эксплуатации ГТС.

Наплавная запань понтонного типа расположена на поверхности воды над створом пневмозавесы. Длина запани 80,0 м, глубина заглубления запани – 1,5 м, длина пневмозавесы тоже составляет 80 метров. Для исключения прогиба запани и обеспечения перемещения запани по вертикали, при изменении уровня воды за запанью установлены 5 шт. прикольных свай.

Для создания пневмозавесы, на дно подводящего канала перед запанью на специальные крепежные рамы уложен перфорированный трубопровод диаметром 159 мм, с пригрузом на хомутах. Сжатый воздух для него, по подводящему трубопроводу диаметром 80 мм, поступает от воздуховодки, размещенной в отдельном здании компрессорной станции. Пневматическую завесу создают пузырьки воздуха, выходящие из отверстий перфорированной трубы, которые затем поднимаются к поверхности воды. Вместе с пузырьками воздуха к поверхности воды, за счет интенсивных вертикальных токов, поднимается и часть водозаборного потока.

Схема компоновки основных элементов комплексного пневматического РЗС показана на рисунке 2.

Здание компрессорной станции заводского изготовления расположено на территории ГРЭС. Компрессорная станция оборудована 2-мя компрессорами Рутса ВРМТ 10/2 (1 рабочий +1 резервный). Расчетный расход воздуха 2-3 л/с на 1 метр пневмозавесы или 240 л/с на всю завесу (864 м³/ч). Внешний вид здания компрессорной станции, построенной на водозаборе-аналоге, показан на рисунке 3.

В 2020 г. комплексное пневматическое рыбозащитное сооружение на водозаборе Кармановской ГРЭС было построено. В соответствии с требованиями СП 101.13330.2012 актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» (с измен. № 1) на водозабо-

ре БНС № 1 в 2021-2022 гг. Татарским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), был проведен полный комплекс ихтиологических исследований по оценке рыбозащитной эффективности построенного РЗС.

Целью представленной работы явилось определение фактической эффективности комплексного пневматического рыбозащитного устройства (пневматическая завеса с наплавной рыбоотводящей запанью на БНС №1 (1 очередь) Кармановской ГРЭС филиала ООО «БГК», на основе гидрологических и ихтиологических исследований во все сезоны года (осень и зима 2021 г., весна и лето 2022 г.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сотрудниками «ТатарстанНИРО» во все сезоны года (осень, зима 2021 г. и весна, лето 2022 г.) проводились гидрологические и ихтиологические исследования на береговой насосной станции (БНС) №1 Кармановской ГРЭС по определению эффективности комплексного рыбозащитного устройства, с использованием пневмозавесы совместно с наплавной рыбоотводящей запанью, установленного в осенний период (сентябрь) 2021 года. Одновременно, в период проведения сотрудниками Татарского филиала ФГБНУ «ВНИРО» полевых исследований на водозаборных и рыбозащитных сооружениях Кармановской ГРЭС, участвовали наблюдатели ФГБУ «ЦУРЭН», за исключением работ по определению эффективности ВПЗ в критические или лимитирующие периоды: в процессе весенних наблюдений скат молоди не удалось застать, он был завершён, и летом в период максимального прогрева воды.

Гидрологические и ихтиологические пробы отбирались по общепринятым методикам [9; 17-22] в соответствии с Программой научно-исследовательских работ по оценке эффективности рыбозащитных устройств на БНС №1 (первая очередь) Кармановской ГРЭС. Видовую принадлежность рыб устанавливали в соответствии с определителями и с учетом новых таксономических ревизий и сводок [23-27].

Для сбора ихтиологического материала, перед и за рыбозащитным устройством (РЗУ) использовали следующие орудия лова: ихтиопланктонные конусные сети диаметром 50 см (ИКС-50) и 80 см (ИКС-80), в том числе изготовленные из безузловой дели ячеей 3 мм; прямоугольные ихтиопланктонные ловушки (ПИЛ) с размерами рамы 0,5х0,5 м и 0,6х1,5 м; ставные сети длиной 30-60 м, высотой 1,0-3,0 м, ячеей 10-12-16-25-30-35-50-60-70 мм; мультиячейные ставные сети длиной 40 м из 4-х полотен ячеей 20, 30, 40 и 50 мм (по 10 м каждое полотно); кастинговые сети американского типа диаметром 6 м, ячеей 12 мм. Также проводились исследования на наличие рыб на сородерживающих вращающихся сетках водоочистных машин (ВОМ) береговой насосной станции (БНС №1) при выключенном и включенном РЗУ.

При сборе ихтиологического материала одновременно проводились измерения гидрологических и гидрохимических параметров воды (температура воды, скорость течения, глубина, прозрачность, содержание в воде растворенного кислоро-

да) в районе проводимых исследований (рис. 4) с использованием следующих приборов: измеритель скорости потока ИСП-1М с преобразователем сигналов вертушки ПСВ-1 («Гидрометеоприбор») (в кейсе); термометр; термооксиметр «Самара-2рН» (в кейсе); диск Секки; устройство для мечения рыб (игловый пистолет с бирками). Для фото- и видеосъемки использовалась подводная камера «Калипсо».

Карта-схема расположения РЗУ, водоподводящих каналов и БНС №1 Кармановской ГРЭС, с обозначением точек отбора ихтиологических проб и измерений гидрологических и гидрохимических параметров водной среды, представлены на рисунке 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ихтиологические исследования проводились в водохранилище перед и за РЗУ на БНС (исследование молоди, попадающей на сороудерживающие сетки), на водоподводящих каналах и сопровождалась видеосъемками. Одновременно в районе работ проводились исследования гидрологических (температура воды, глубина, прозрачность, скорость течения) и гидрохимических (содержание растворенного кислорода) показателей воды.

Результаты гидрологических и гидрохимических наблюдений показали, что значения температуры воды в районе исследований во все сезоны года соответствовали среднесезонным показателям, кислородный режим водоема во все сезоны был достаточно благоприятный и не опускался ниже требуемых рыбохозяйственных нормативов (Приказ Минсельхоза РФ от 13.12.2016 г. №552).

Исследования попадания рыб непосредственно на вращающиеся сетки ВОМ на БНС №1 велись при включенном и выключенном РЗУ ежесезонно. Осмотр сеток, в течение всего периода работ, показал, что рыбы на них попадалось мало. Проникшая в водоподводящую прорезь (канал), рыба свободно нагуливается в его акватории, а попадание молодежи на сетки БНС, в целом носит случайный характер, подчиненный лишь природным закономерностям.

В соответствии с Программой работ и СП 101.13330.2012 (с Изм. №1 от 24.06.2020 г.),



Рисунок 3. Внешний вид здания компрессорной станции, построенного на водозаборе-аналоге

Figure 3. External view of the building of the compressor station, built on the water intake-analogue

Таблица 1. Показатели выживаемости рыб и эффективности РЗУ на БНС No 1 Кармановской ГРЭС во все сезоны года (осень и зима 2021 г., весна и лето 2022 г.) / **Table 1.** Indicators of fish survival and fish protecting facility efficiency at BNS No. 1 of Karmanovskaya GRES in all seasons of the year (autumn and winter 2021, spring and summer 2022)

Сезон	Коэффициент выживаемости		Коэффициент эффективности	
	Взрослые рыбы	Личинки	Взрослые рыбы	Личинки
Осень	1,000	–	86,66	–
Зима	1,000	–	87,49	–
Весна	1,000	1,000	87,27	75,00
Лето	1,000	–	84,62	–
Среднее за год	1,000	1,000	86,51	75,00



Рисунок 4. Карта-схема расположения Кармановской ГРЭС с обозначением станций отбора проб: желтый пунсон – водохранилище (ст.1, 2, 3а); красный пунсон – перед РЗУ (ст.3); голубой пунсон – после РЗУ (ст. 4, 5, между РЗУ и бонами)

Figure 4. Map-scheme of the location of the Karmanovskaya GRES with the designation of sampling stations: yellow punch – reservoir (st.1, 2, 3a); red punch – in front of the ABC (Article 3); blue punch – after ABC (Art. 4, 5, between ABC and bonds)

в осенний и зимний периоды 2021 г., при малых концентрациях рыб в потоке, направленном в ГТС и устройство забора воды, для получения достоверных результатов применяли метод искусственного зарыбления потока преимущественно из скоплений молоди рыб, отловленных в водохранилище.

Для искусственного зарыбления потока в акватории водохранилища активными орудиями лова (кастинговая сеть) были отловлены 60 особей окуня средней длиной 13,3 см, средней массой 50,0 граммов. Все рыбы на 1 час были рассажены в 2 контейнера для передержки, с целью выбраковки нежизнеспособных особей. Рыбы были поделены на 2 группы, в каждой из которых в среднем по 30 экземпляров. Рыб предварительно метили.

Как и рекомендуется в СП 101.13330.2012 (с Изм. №1 от 24.06.2020 г), рыб разделили на опытную и контрольную группы, первую из них

запускали перед РЗУ (ВПЗ), на глубине 1,5-2,0 м и на расстоянии 3 м от рыбозащитного устройства в сумеречное время, в отбойное течение после наплавной запани в поверхностном слое воды в 3-4 метра. Каждый запуск выполняли при включенной подводной видеокамере. Для соблюдения требований программы и СП 101.13330.2012, с целью определения вектора передвижения выпущенных рыб, после РЗУ в разных слоях воды на расстоянии 2,0-2,5 м, в среднем на 15-30 мин. были выставлены 2 ловушки (ПИЛ). Одновременно, перед РЗУ в водоотбойной струе ВПЗ в поверхностном слое была установлена 1 ловушка (ПИЛ). Акватория места выпуска (на расстоянии 15-20 м от места выпуска по полукругу) была огорожена разночечными сетями. После РЗУ и перед ним было проведено по 4 лова выпущенной рыбы (по 2 раза двумя ПИЛ, в течение 15 мин. каждый). Если в результате этих обловов попадались меченые рыбы, то их отсаживали в садки на сутки для определения коэффициента выживаемости.

Видеонаблюдение после РЗУ показало, что рыбы зоне действия РЗУ не сопротивлялись отбойному течению воздушного факела РЗУ и сносились в сторону акватории водохранилища в безопасную зону обитания.

Визуальный осмотр водоподводящего канала, со стороны наплавной запани в поверхностном слое воды, не выявил рыб, которые прошли РЗУ и были бы травмированы или ослаблены. Такие наблюдения велись ежедневно. Основная масса рыб, после выпуска опытной группы была отмечена в ловушках, выставленных в водоотбойной струе. Обнаружение рыб в этих ловушках, а также видеосъемка указывают, что основная доля рыб, попавших в пневмозавесу или ВПЗ, не могут справиться с создаваемым течением и их сносит в акваторию реки от водозабора. Таким образом, отмечено, что даже такие, относительно крупные особи рыб, размерами 13,3 см, не могут преодолеть РЗУ и проникнуть в водозабор.

Коэффициент выживаемости рыб после контакта с элементами конструкции рыбозащитного сооружения определяли специальными исследованиями с контрольной и опытной группами, согласно методике [22; 28]. Во все исследуемые сезоны значения данного коэффициента составляли единицу (1,000) (табл. 1).

Важной оценкой работы РЗУ данного типа в зимний период являлись исследования по опре-

делению «потенциального» привлечения рыбы к пневмозавесе, «вследствие естественного снижения растворенного кислорода в воде водоема и возникновения заморных явлений».

Для этого нами было проведено изучение кислородного режима водоема, подводящего канала и акватории в месте расположения РЗУ. Показатели растворенного кислорода были замерены на всех станциях. Отмечено, что на всех станциях показатели растворенного кислорода были значительно выше нормативов ПДК для рыбохозяйственных водоемов, минимальные значения которых составляют 4 мг/л для зимнего периода и 6 мг/л для летнего [29]. При этом наибольшие показатели растворенного кислорода отмечались в акватории водохранилища в поверхностном слое воды. В нижних слоях воды и у дна эти по-

казатели несколько снижались, но были вполне благоприятны для обитания рыб. Непосредственно перед РЗУ (в 3-х, 4-х м от него) величины растворенного кислорода несколько снижались, но за счет перемешивания воды пневмозавесой показатели выравнивались, как на поверхности, так и у дна (табл. 2).

Идентичная картина отмечалась также и в подводящем канале. Минимальные показатели растворенного кислорода были зафиксированы у боновых заграждений, составив в подводящем канале 12,5 мг/л, но они также были весьма высоки, в сравнении с биологически приемлемыми показателями для жизни гидробионтов. Обловы водохранилища вблизи РЗУ и осмотр водоема подводной видеокамерой не подтвердили наличие здесь высоких концентраций рыб, которые

Таблица 2. Усредненные значения гидрологических и гидрохимических показателей воды в районе работ на Кармановской ГРЭС в зимний период 2021 года / **Table 2.** Average values of hydrological and hydrochemical parameters of water in the area of work at Karmanovskaya GRES in the winter period of 2021

Местоположение и точки отбора		Содержание кислорода, мг/л / %	Температура воды, °С	Скорость течения, м/с	Глубина, м	Прозрачность, м
Водохранилище (ст. 1, 2, 3а)	с поверхности	14,3 / 100,6	1,36	0,07	3,0	1,4
	у дна	13,6 / 95,6	-	-		
Перед РЗУ (ст.3)	с поверхности	13,3 / 96,0	1,7	0,275	4,9	2,3
	у дна	13,3 / 96,0	-	-		
После РЗУ (ст.4)	с поверхности	12,5 / 92,0	2,3	0,013	3,2	3,0
	у дна	12,6 / 92,0	2,3	0,013		

Таблица 3. Результаты апробации комплексного РЗС с использованием пневматической завесы и непроницаемых экранов (наплавных запаней) на Кармановской ГРЭС в 2021-2022 гг. / **Table 3.** Results of testing the integrated fish protecting facility using a pneumatic curtain and impervious screens (floating tanks) at Karmanovskaya GRES in 2021-2022

Водоем	Тип РЗС	Период проведения испытаний (месяц, год)	Производительность водозабора Q (м³/с)	Усредненные значения концентраций молоди рыб С, экз./м³			Краткая характеристика защищаемого объекта		Рыбохозяйственная организация, участвовавшая в испытаниях РЗС
				До РЗС или РЗС отключено	После РЗС или РЗС включено	Показатель рыбозащитной эффективности РЗС Кэф (%)	Вид	Размер/ ср. размер, мм	
Кармановское водохранилище	Воздушно-пузырьковая завеса (ВПЗ) с наплавной рыбоотводящей запанью	Ноябрь 2021 г.	44 (БНС-1)	126,06 экз./100 м³	16,81 экз./100 м³	86,66	Лещ Густера Карась Окунь	245 110-185/ 162 85 90-160/ 131	"Татарстан-НИРО"
		Декабрь 2021 г.		0,653 экз./100 м³	0,082 экз./100 м³	87,49	Окунь	70-85/75	
		Май 2022 г.		3,09 (взросл.) 1,47 (личин.) экз./100 м³	0,39 (взросл.) 0,37 (личин.) экз./100 м³	87,27 (взросл.) 75,00 (личин.)	Уклейка Плотва Окунь личинки	90-105/96 155-235/169 95-190/128 <11/9	
		Июль 2022 г.		0,97 экз./100 м³	0,15 экз./100 м³	84,62	Уклейка Плотва Окунь	105-120/111 180 120	
		Среднее за 4 сезона		32,69 (только взросл.) или 26,45 (все) экз./100 м³	4,36 (только взросл.) или 3,56 (все) экз./100 м³	86,51 (только взросл.) или 84,21 (все)	Лещ Уклейка Густера Карась Плотва Окунь	245 90-120/ 104 110-185/ 162 85 155-235/ 169 70-190/ 114	

собираются на участке по причине кислородного голодания. Участок водохранилища вблизи РЗУ характеризуется отсутствием скоплений рыб. Отмеченные высокие показатели кислорода в водохранилище свидетельствуют о том, что кислородный режим водоема благоприятный для обитания рыб и причины для их концентрации у РЗУ отсутствуют. Вследствие этого, считаем, что на Кармановском водохранилище привлечение рыб к комплексному РЗУ с использованием пневмозавесы, по причине кислородного голодания, отсутствует.

Аналогичные замеры гидрохимических показателей воды проводились при оценке эффективности пневматических комплексных РЗС на водозаборах-аналогах на Яйвинской и Среднеуральской ГРЭС (р. Яйва, Исетское водохранилище). Было отмечено, что привлечение рыб к работающей пневматической завесе РЗС, при всех измеренных показателях растворенного в воде кислорода, не наблюдалось.

Таким образом, на основании проведенных исследований и расчетов, с учетом всех факторов внешней среды показатель эффективности (Кэф) РЗС (пневматическая завеса с наплавной рыбоотводящей запанью), установленных на береговой насосной станции №1 (1 очередь) Кармановской ГРЭС филиала ООО «БГК», составил:

- в осенний период – 86,66%;
- в зимний период – 87,49%;
- в весенний период: для взрослых рыб – 87,27%, для личинок – 75,00%;
- в летний период – 84,62%.

Показатель рыбозащитной эффективности (Кэф) комплексного РЗУ за период исследования по сезонам в среднем составил 86,51% (табл. 3), что соответствует показателям (70%), положенным по СП 101.13330.2012 (с изм. №1 от 24.06.2020 г.) и отвечает предъявляемым к ним (РЗУ) требованиям.

Результаты апробации комплексного РЗС с использованием пневматической завесы и непроницаемого экрана (наплавная запань), полученные нами в период исследований 2021-2022 гг. на Кармановской ГРЭС ООО «БГК», подтверждают эффективность данного типа рыбозащитного сооружения, полученного на других водозаборах крупных энергетических объектов, оборудованных данным типом РЗС (табл. 4):

- 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.).

Таблица 4. Результаты апробации комплексных РЗС с использованием пневматических завес и непроницаемых экранов (наплавных запаней) на различных типах водоемов РФ / **Table 4.** The results of testing complex fish protecting facility using pneumatic curtains and impermeable screens (floating sumps) on various types of water bodies of the Russian Federation

Место проведения работ	Водоем	Тип РЗС	Период проведения испытаний (месяц, год)	Производительность водозабора Q (м³/с)	Показатель рыбозащитной эффективности РЗС Кэф (%)	Рыбохозяйственная организация, участвующая в испытаниях РЗС
Тверская область, г. Конаково, Конаковская ГРЭС, ОАО «Энел ОГК-5» БНС No1	Р. Волга (Иваньковское водохранилище)	Комплексная РЗС ВПЗ-наплавная запань	Май-октябрь 2013 Ноябрь 2014-Апрель 2015	40,0	78,6 87,0 – 90,0	Верхне-Волжское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ»
Архангельская область, г. Коржма, БНС No1 и БНС No2 водозабора АО «Группа ИЛИМ»	Р. Вычегда (приток р. Северная Двина)	Комплексная РЗС ВПЗ-наплавная запань	Июнь – октябрь 2017	3,5 5,3	Не менее 96,0	Северный филиал ФГБНУ «ПИНРО» (СевПИНРО)
Свердловская область, Среднеуральская ГРЭС, филиал ПАО «Энел Россия», БНС No1 аварийного водозабора	Исетское водохранилище (озеро)	Комплексная РЗС ВПЗ-наплавная запань	Сентябрь 2017-июль 2018	8,33	80,5	Татарское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ»
Пермский край, п. Яйва, Яйвинская ГРЭС, ПАО «Юнипро», основной, вспомогательный каналы БНС первого подъема	Р.Яйва, левобережный приток р. Камы	Комплексная РЗС ВПЗ-наплавная запань	Годовой цикл: зимний, весенний, летний, осенний периоды 2021 г	Основной канал 14,0 Резервный канал 4,8	100,0–81,95–85,29–87,53	Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
Республика Башкортостан, Кармановская ГРЭС ООО «БГК», подводящий канал НС No1 первого подъема	Р. Буй, Кармановское водохранилище	Комплексная РЗС ВПЗ-наплавная запань	Годовой цикл: Осенний, зимний, весенний, летний периоды 2021– 2022 г	44,0	88,6–93,61–81,14–84,62	Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО»

Оценка соответствия полученных результатов нормативным требованиям по эффективности рыбозащитного устройства проведена путем сравнения их значений (п. «С.8» СП 101.13330.2012 с изм. №1 от 24.06.2020 г.). Если $K_{эф}$ лежит в пределах доверительного интервала вычисленного показателя эффективности ($K_{эф}-Sk$) $< K_{эф} < (K_{эф}+Sk)$ или ниже границы интервала $K_{эф} < (K_{эф}+Sk)$, то РЗУ работает достаточно эффективно и отвечает предъявляемым к нему требованиям.

По расчетам, показатель ($K_{эф}-Sk$) = 85,23, показатель ($K_{эф}+Sk$) = 87,79. Среднее значение эффективности РЗУ ($K_{эф}$) для взрослых рыб составило 86,51%, т.е. $K_{эф}$ лежит в пределах доверительного интервала вычисленного показателя эффективности, следовательно, рыбозащитные устройства на БНС № 1 Кармановской ГРЭС работают достаточно эффективно и отвечают предъявляемым к ним требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований отмечено, что комплексные пневматические РЗС успешно и эффективно работали на водозаборах крупных энергетических станций, как в речных условиях (р. Яйва, Северная Двина), так и в водоемах с замедленным водообменом – в водоемах-охладителях и озерах (оз. Исетское, Кармановское водохранилище), с расходами водозаборов до 44 м³/с.

Практика применения комплексных РЗС с использованием пневматических завес и непроницаемых экранов в виде запаней показала, что, при правильно подобранных параметрах оборудования и выбранном створе размещения РЗС с учетом гидравлических, технических и ихтиологических особенностей водозабора, их эффективность для водозаборов любой производительности гарантировано превышает 80%, что полностью соответствует рыбоохранным нормативам.

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Вклад в работу авторов: **Ф.М. Шакирова** – идея работы, анализ материала и подготовка первичного и окончательного варианта статьи; **Г.Д. Валиева** – сбор, обработка и анализ материалов и права первичного варианта статьи; **Ю.А. Северов** – сбор, обработка и анализ ихтиологического материала; **М.А. Горшков** – сбор и первичная обработка ихтиологического материала; **А.В. Гранин** – сбор и обработка ихтиологического материала; **Р.Р. Сафиуллин** – обсуждение материалов статьи; **В.А. Аксенов** – разработка технического решения и проектирование рыбозащитного сооружения; **В.Д. Шульгин** – научно-техническое обоснование конструкции и выбора створа рыбозащитного сооружения; **С.С. Набоков** – общее руководство работ, выполнение строительных работ и установка рыбозащитного сооружения.

The authors declare that there are no conflicts of interest

Contribution to the work of the authors: **F.M. Shakirova** – the idea of the work, analysis of the material and preparation of the primary and final version of the article; **G.D. Valieva** – collection, processing and analysis of materials and editing of the primary version of the article; **Yu. A. Severov** – collection, processing and analysis of ichthyological material; **M.A. Gorshkov** – collection and primary processing of ichthyological material; **A.V. Granin** – collection and processing of ichthyological material; **R.R. Safiullin** – discussion of the materials of the article; **V.A. Aksenov** – development of a technical solution and design of a fish protection structure; **V.D. Shulgin** – scientific and technical justification for the design and selection of the site of the fish

protection structure; **S.S. Nabokov** – general management of work, construction work and installation of a fish protection structure.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / REFERENCES AND SOURCES

1. Технический паспорт гидротехнических сооружений. ООО «Башкирская генерирующая компания, фонды Кармановской ГРЭС, 2018. – 144 с.
1. Technical passport of hydraulic structures. Bashkir Generating Company LLC, funds of Karmanovskaya GRES, 2018. – 144 p.
2. Браславская Л.М. Изучение состава местной ихтиофауны водохранилища Кармановской ГРЭС в связи с зарыблением его растительноядными рыбами // IV совещ. Молодых научных работников ГосНИОРХ (Ленинград, 4-6 апреля 1972г). – Л., 1972. – с. 4-6.
2. Braslavskaya L.M. Studying the composition of the local ichthyofauna of the Karmanovskaya GRES reservoir in connection with its stocking by herbivorous fish // IV meeting. Young scientists of GosNIORH (Leningrad, April 4-6, 1972). – L., 1972. – Pp. 4-6.
3. Гончаренко Р.И. Водохранилище Кармановской ГРЭС и перспективы его рыбохозяйственного использования / Р.И. Гончаренко, В.Г. Махнин, Г.Ф. Миловидова, Р.Г. Таиров, А.А. Щукина // Сб. науч. Тр. ГосНИОРХ, 1988. – Вып. 280. – с. 84-92.
3. Goncharenko R.I. Reservoir of Karmanovskaya GRES and prospects of its fishery use / R.I. Goncharenko, V.G. Makhnin, G.F. Milovidova, R.G. Tairov, A.A. Shchukina // Collection of scientific Tr. GosNIORH, 1988. – Issue 280. – Pp. 84-92.
4. Шакирова Ф.М., Салахутдинов А.Н. Современное состояние экосистемы Кармановского водохранилища // Эколого-биол. проблемы вод и биоресурсов: пути решения / Матер. Всерос. конф. (Ульяновск, 12-14 ноября 2007г). Ульяновск, 2007. – С.127-134.
4. Shakirova F.M., Salakhutdinov A.N. The current state of the ecosystem of the Karmanovsky reservoir // Ecologo-biol. problems of waters and bioresources: solutions / Mater. Vseros. conf. (Ulyanovsk, November 12-14, 2007). Ulyanovsk, 2007. – Pp.127-134.
5. Обследование водохранилища КГРЭС с целью разработки малоиздержечных рыбоохранных мероприятий, исключающих строительство малоэффективных и дорогостоящих РЗУ. Отчет НИОКР. – Казань: Татарское отделение ФГНУ «ГосНИОРХ», 2003-2004 гг. – 9 с., 22 с.
5. Survey of the KGRES reservoir in order to develop low-cost fish protection measures that exclude the construction of inefficient and expensive REZ. R&D report. – Kazan: Tatar branch of FGNU "GosNIORH", 2003-2004 – 9 p., 22 p.
6. Разработка рыбоводно-биологического обоснования (РБО) для зарыбления водоема-охладителя Кармановской ГРЭС растительноядными рыбами и подготовка обоснования для проектирования РЗУ. Отчет заключительный. – Казань: Татарское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2012. – 59 с.
6. Development of a fish-breeding and biological justification (RBO) for stocking the cooling reservoir of the Karmanovskaya GRES with herbivorous fish and preparation of a justification for the design of the RHU. The report is final. – Kazan: Tatar branch of FGBNU "GosNIORH", 2012. – 59 p.
7. Проектная документация по объекту: «Модернизация рыбозащитного сооружения на БНС № 1 (первая очередь) Кармановской ГРЭС филиала ООО «БГК». Раздел 8 МООС, раздел 4 КР. 9.71/0435/158/607/01658/19-М. РЗУ – Челябинск: ООО МП «Гидроремонт», 2019. – т. 8, 4.
7. Project documentation for the facility: "Modernization of the fish protection facility at the BNS No. 1 (first stage) of the Karmanovskaya GRES branch of BGC LLC. Section 8 of the MOE, section 4 of the CR. 9.71/0435/158/607/01658/19- M. RZU – Chelyabinsk: LLC MP "Gidroremont", 2019. – vol. 8, 4.
8. Михеев П.А. Рыбозащитные сооружения и устройства. – М.: издательство «Рома», 2000. – 405 с.
8. Mikheev P.A. Fish protection structures and devices. – M.: publishing house "Roma", 2000. – 405 p.

9. Павлов Д.С., Пахоруков А.М. Биологические основы защиты рыб от попадания в водозаборные сооружения. / Д.С. Павлов, А.М. Пахоруков – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 264 с.
9. Pavlov D.S., Pakhorukov A.M. Biological bases of fish protection from entering water intake structures. / D.S. Pavlov, A.M. Pakhorukov – M.: Light and food industry, 1983. – 264 p.
10. Павлов Д.С. и др. Покатная миграция молоди рыб в реках Волга и Или. – М.: Наука, 1981. – 304 с.
10. Pavlov D.S. et al. Sloping migration of juvenile fish in the Volga and Ili rivers. – M.: Nauka, 1981. – 304 p.
11. Программа научно-исследовательской работы по оценке эффективности рыбозащитного сооружения на Кармановской ГРЭС, разработанная в соответствии с пунктом С Изменений №1 к СП 101.13330.2012 «СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения». – Казань: Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), 2021. – 29 с.
11. The program of research work to assess the effectiveness of the fish protection facility at the Karmanovskaya GRES, developed in accordance with paragraph C of Amendments No. 1 to SP 101.13330.2012 "SNiP 2.06.07-87 Retaining walls, shipping locks, fish pass and fish protection structures". – Kazan: Tatar branch of FGBNU "VNIRO" ("TatarstanNIRO"), 2021. – 29 p.
12. Оценка эффективности рыбозащитных устройств на БНС № 1 (первая очередь) Кармановской ГРЭС филиала ООО «БГК». Отчет заключительный. – Казань: Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), 2022. – 97 с.
12. Evaluation of the effectiveness of fish protection devices at the BNS No. 1 (first stage) of the Karmanovskaya GRES branch of BGC LLC. The report is final. – Kazan: Tatar branch of FGBNU "VNIRO" ("TatarstanNIRO"), 2022. – 97 p.
13. Оценка эффективности рыбозащитного комплекса филиала «Среднеуральская ГРЭС» ПАО «Энел Россия». Отчет заключительный – Казань: Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТатарстанНИРО»), 2018. – 60 с.
13. Evaluation of the effectiveness of the fish protection complex of the Sredneuralskaya GRES branch of PJSC Enel Russia. Final report – Kazan: Tatar branch of FGBNU "VNIRO" ("TatarstanNIRO"), 2018. – 60 p.
14. Результаты исследований функциональной эффективности рыбозащитных сооружений, установленных на БНС № 1 и БНС № 2 водозабора АО «Группа «Илим» в г. Коряжма Архангельской области. Отчет о НИР. – Архангельск: Северный филиал ФГБНУ «ПИНРО» («СевПИНРО»), 2017. – 96 с.
14. Results of studies of the functional efficiency of fish protection structures installed at the BNS No. 1 and BNS No. 2 of the water intake of JSC "Ilim Group" in Koryazhma, Arkhangelsk region. Research Report. – Arkhangelsk: Northern Branch of PINRO Federal State Budgetary Institution ("SvPINRO"), 2017. – 96 p.
15. Шульгин В.Д. Разработка комплексных рыбозащитных устройств с использованием воздушно-пузырьковой завесы, потокообразующих и рыбоотводящих элементов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Тверь, 2002. – 30 с.
15. Shulgin V.D. Development of complex fish protection devices using an air-bubble curtain, flow-forming and fish-removing elements. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences – Tver, 2002. – 30 p.
16. Шульгин В.Д. Обобщение опыта по применению воздушно-пузырьковых завес (ВПЗ) и эрлифтного способа защиты рыб в составе комплексных РЭС. / В.Д. Шульгин, В.А. Аксенов, В.А. Петрухин, С.С. Набоков // Рыбное хозяйство. – 2016. – №6. – С. 98-104.
16. Shulgin V.D. Generalization of experience in the use of air-bubble curtains (VPZ) and the airlift method of protecting fish as part of complex REDS. / V.D. Shulgin, V.A. Aksenov, V.A. Petrukhin, S.S. Nabokov // Fisheries. – 2016. – No. 6. – Pp. 98-104.
17. Расс Т.С. Методическое руководство по сбору икринок, личинок и мальков рыб. / Т.С. Расс, И.И. Казанова – М.: «Пищевая промышленность», 1966. – 42 с.
17. Russ T.S. Methodical guide to collecting eggs, larvae and fry of fish. / T.S. Russ, I.I. Kazanova – M.: "Food industry", 1966. – 42 p.
18. Руденко Г.П. Методы определения ихтиомассы, прироста рыб и рыбопродукции / Г.П. Руденко // М.: Продукция популяций сообществ водных организмов и методы ее изучения, 1985. – С. 111-138.
18. Rudenko G.P. Methods for determining ichthyomass, fish growth and fish products / G.P. Rudenko // M.: Production of populations of communities of aquatic organisms and methods of its study, 1985. – Pp. 111-138.
19. Руденко Г.П. Численность рыб, ихтиомасса, продукция выживших рыб и управление рыбопродукционным процессом в пресноводных водоемах (методическое пособие). – С-Пб., ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2014. – 106 с.
19. Rudenko G.P. The number of fish, ichthyomass, the production of surviving fish and the management of the fish production process in freshwater reservoirs (methodological guide). – S-Pb., FGBNU "GosNIORH", 2014. – 106 p.
20. Павлов Д.С. Покатная миграция рыб из Усть-Хантайского водохранилища / Д.С. Павлов, А.И. Лупандин, В.В. Костин // Вопросы ихтиологии. – 1994. – Т. 34. – Вып. 3. – С. 359-365.
20. Pavlov D.S., Lupandin A.I., Kostin V.V. Seasonal migration of fish from the Ust-Khantai reservoir / D.S. Pavlov, A.I. Lupandin, V.V. Kostin // Questions of ichthyology. - 1994. – Vol. 34. – Issue 3. – Pp. 359-365.
21. Павлов Д.С. Миграции рыб в зарегулированных реках. / Д.С. Павлов, М.А. Скоробогатов – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 413 с.
21. Pavlov D.S. Fish migration in regulated rivers. / D.S. Pavlov, M.A. Skorobogatov – M.: Association of Scientific Publications of the CMC, 2014. – 413 p.
22. СП 101.13330.2012 СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стенки, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» (с изменениями № 1). Приложение к приказу Минрегиона России № 267 от 30.06.2012 г. Применяется с 24.06.2020 г.
22. SP 101.13330.2012 SNiP 2.06.07-87 "Retaining walls, navigable locks, fish-passing and fish-protection structures" (with amendments No. 1). Appendix to the Order of the Ministry of Regional Development of Russia No. 267 dated 30.06.2012 It has been used since 06/24/2020.
23. Коблицкая А.Ф. Определение молоди пресноводных рыб. – М.: Легкая и пищевая промышленность., 1981. – 208 с.
23. Koblitskaya A.F. Determination of juvenile freshwater fish. – M.: Light and food industry, 1981. – 208 p.
24. Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России (под ред. Ю.С. Решетникова). – М.: Наука, 1998. – 219 с.
24. Annotated catalog of roundworms and fishes of the continental waters of Russia (edited by Yu.S. Reshetnikov). – Moscow: Nauka, 1998. – 219 p.
25. Атлас пресноводных рыб России в 2 томах (под ред. Ю.С. Решетникова). – М.: Наука, 2003. – 253 с, 379 с.
25. Atlas of freshwater fishes of Russia in 2 volumes (edited by Yu.S. Reshetnikov). – Moscow: Nauka, 2003. – 253 p., 379 p.
26. Рыбы в заповедниках России. В двух томах / Под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – Т.1. – 627 с.
26. Fish in the reserves of Russia. In two volumes / Edited by Yu.S. Reshetnikov. – M.: Association of Scientific publications of the CMC, 2010. – Vol.1. – 627 p.
27. Макеева А.П. Атлас молоди пресноводных рыб России / А.П. Макеева, Д.С. Павлов, Д.А. Павлов – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. – 383 с.
27. Makeeva A.P. Atlas of juvenile freshwater fish of Russia / A.P. Makeeva, D.S. Pavlov, D.A. Pavlov – M.: Association of Scientific publications of the CMC, 2011. – 383 p.
28. Методические рекомендации по определению эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах. – М.: ЦУРЭН, 2016.
28. Methodological recommendations for determining the effectiveness of fish protection structures at water intakes. – M.: TSUREN, 2016.
29. Содержание растворенного кислорода в воде: Методические указания / сост. Кузьмина И.А. – НовГУ, Великий Новгород, 2007. – 12 с.
29. The content of dissolved oxygen in water: Guidelines / comp. Kuzmina I.A. – NovSU, Veliky Novgorod, 2007. – 12 p.