

УДК 626.882+502.2+532.525.2

О. Г. Введенский

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АНАДРОМНЫХ МИГРАЦИЙ РЫБ ЧЕРЕЗ ВЫСОКОНАПОРНЫЕ ГИДРОУЗЛЫ

Анализируется воздействие ряда негативных факторов на отдельные популяции рыб, и в частности проблема перекрытия миграционных путей. Предложены несколько вариантов новых технических решений модернизации классических рыбоходных сооружений по восстановлению анадромных миграций рыб через каскады средне- и высоконапорных гидроузлов. Представлено математическое обоснование предлагаемых технических решений. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: гидроузел, каскад гидроузлов, рыбоход, нерестовая миграция рыб, естественное воспроизводство рыб, природоохранные мероприятия.

Введение. Проблема охраны живой природы и рационального природопользования является одной из самых актуальных в мире. Сейчас ясно, что без специальных мер охраны, рационального использования и эффективных комплексов инженерно-технических решений некоторые животные, в частности отдельные виды рыб, могут не выжить. Как показывают палеонтологические исследования, современная фауна рыб сформировалась в основном 9 – 10 млн. лет назад. С конца плиоцена (около 4 млн. лет назад) ведет свое начало большинство обитающих на Земле видов рыб, которые существуют и до настоящего времени. Рассматривая в историческом аспекте воздействие антропогенных факторов на рыб, можно выделить три этапа.

Первый, наиболее продолжительный, этап был связан с развитием земледелия – вырубкой лесов по водоразделам и берегам рек, распашкой больших земельных площадей, приведшего к изменению режима стока, обмелению рек и значительному сокращению нерестовых ареалов ряда ценных видов рыб.

Второй этап определялся развитием промышленности и интенсификацией промысла, однако на этом этапе воспроизводство многих проходных рыб осуществлялось еще за счет естественного нереста.

Третий этап, наступивший после зарегулирования стока рек плотинами гидроэлектростанций и другими гидротехническими сооружениями, характеризовался резким сокращением естественного воспроизводства многих видов рыб вплоть до полной утраты мест нереста.

Естественно, что на каждый последующий этап накладывались и все факторы предыдущих этапов. В последнее же время одними из негативных основных факторов стали прогрессирующее загрязнение водоемов и зарегулирование рек. Строительство плотин на внутренних реках и озерах вызывает тем самым перекрытие миграционных путей рыб, что особенно пагубно отражается на проходных и полупроходных видах рыб. Для данных видов рыб анадромные или нерестовые миграции особенно ярко выражены. Они кормятся в морях, но для размножения входят в реки. Анадромные миг-

рации свойственны главным образом рыбам Северного полушария: сельдевым, лососевым, осетровым и др. [1]. Их адаптивное значение заключается в том, что они способствуют устойчивому поддержанию границ ареала обитания и использованию его трофической части.

Анализ большого археологического материала и многочисленных письменных источников показывает, что ареалы отдельных видов осетровых оставались более или менее стабильными примерно до XVII–XVIII вв. и охватывали даже самые верхние участки бассейнов крупных рек в европейской части нашей страны – Днепра, Дона, Волги, Урала и др. Так, например, на Волге проходные осетровые (белуга, русский осетр, севрюга) поднимались в самые верхние ее участки, заходили во многие притоки – Каму, Вятку, Ветлугу, Клязьму, Оку и даже Москву-реку [2]. Численность их в реках была весьма высокой, что позволяло добывать этих рыб в значительных количествах. В раскопках древних поселений и городищ на Волге, датируемых VI – XIV вв., на долю остатков осетровых приходится до 65 – 70 % рыбных костей. Характерно, что в уловах преобладали очень крупные экземпляры: у белуги примерно пятую часть составляли особи длиной 4 – 6 м. В XX столетии случаи поимки таких гигантов исчислялись единицами. В XVII столетии среднегодовой улов осетровых рыб на Каспии доходил до 500 тыс. ц, в то время как в XX в., несмотря на многократно усиливающуюся интенсивность промысла, он редко когда превышал 100 – 150 тыс. ц. Резкое снижение численности этих рыб и сокращение их ареалов произошло на рубеже XIX и XX столетий и впоследствии все более усугублялось. В настоящее время осетровые Каспия находятся на грани исчезновения. Кроме того, сокращение ареалов отмечено и для большинства других проходных видов рыб, которые ныне отсутствуют в реках или в их отдельных участках, где прежде всего они встречались, и нередко в значительном количестве. Так, каспийский лосось (*Salmo trutta caspius*) еще в конце XIX в. поднимался высоко по Волге и заходил в ее притоки – Оку, Каму, Ветлугу, а в XIII в. даже в приток Оки – р. Клязьму. Белорыбицу (*Stenodus leucichthys leucichthys*) в XVIII в. промыслили в верховьях Волги у Ржева и Твери, в Оке у Калуги, а также в притоках Оки – Клязьме и Москве-реке. Помимо того, зарегулирование стока рек резко изменяет их гидрологические характеристики, что приводит к превращению лотических экосистем в лимнические. У туводных рыб вместо единого стада образуются два стада – выше плотины и ниже нее. Таким образом, зарегулирование стока, как правило, ведет к разрушению популяционной системы воспроизводства не только проходных (лососевые, осетровые и др.) и полупроходных (вобла, тарань, судак, жерех, лещ и др.), но и многих жилых видов рыбы (окунь, щука, линь и др.).

Анадромная миграция рыб в зарегулированных реках прекращается под первыми плотинами в каскаде гидроузлов. Величина наносимого ущерба зависит от доли нерестилищ, утраченных вследствие гидротехнического строительства. При этом зарегулирование стока в нижних участках рек имеет особенно негативные последствия, угрожая исчезновением или резким сокращением отдельных популяций и видов (проходных или полупроходных) рыб. Например, на Волге для проходных рыб после строительства Волгоградской плотины (около 700 км от моря) оказались отрезанными практически 100 % нерестилищ белорыбицы и белуги, 85 % осетра и 70 % проходных сельдей. Из 3600 га естественных нерестилищ осетровых осталось только 395 га. Лишь на двух плотинах (Волгоградской и Саратовской ГЭС) предусмотрены рыбопропускные сооружения (соответственно гидравлический и механический рыбоподъемники), которые в настоящее время по ряду причин, к сожалению, не эксплуатируются. Строительство плотин на внутренних реках и озерах в сочетании с другими антро-

погенными факторами в наибольшей степени повлияло на сокращение ареалов ценных видов рыб, в первую очередь осетровых и лососевых.

Целью настоящей работы является совершенствование существующих конструкций рыбопропускных сооружений (РПС) и разработка технологий их работы, обеспечивающих восстановление анадромных миграций рыб на зарегулированных реках. Для этого поставлена следующая **задача**: существенно повысить эффективность работы рыбопропускных сооружений вне зависимости от величины напора на плотину гидроузла.

Решение поставленной задачи. В практике отечественного [3] и зарубежного гидростроительства [4, 5] все РПС делят на два основных вида: рыбоходы, по которым рыба движется самостоятельно, и рыбоподъемники, принудительно перемещающие рыб в верхний бьеф гидроузла. В связи с этим рыбоходы рекомендуют применять на низконапорных гидроузлах с напором до 10 м, а рыбоподъемники – на средне- и высоконапорных. Рыбоходы являются наиболее простыми в конструктивном отношении рыбопропускными сооружениями. При соответствующем конструктивном решении и правильно подобранных параметрах такие сооружения приемлемы для пропуска любых видов мигрирующих рыб. Условия нахождения рыб в таких сооружениях наиболее близки к речным условиям. С увеличением напора на плотину гидроузла будет возрастать и скорость транзитного потока в рыбоходном тракте, которая не должна превышать некоторого порогового значения [5]. Данное обстоятельство, являясь их главным недостатком, существенным образом ограничивает область применения рыбоходных сооружений.

Сносящие скорости транзитного водного потока для различных видов рыб

| Виды рыб | Скорость течения, м/с |
|--|-----------------------|
| Лососи, форель, кумжа, жерех, щука | 2,3...3,5 |
| Усач, хариус, миноги | 1,8...2,3 |
| Сельди, подуст, краснопер | 1,5...1,8 |
| Белорыбица, осетр, севрюга, судак, язь | 1,2...1,5 |
| Сазан, лещ, окунь, линь, плотва | 0,6...1,2 |

Рыбоподъемные сооружения могут быть устроены на гидроузлах с любым напором. Но, устраняя главный недостаток конструкций рыбоходов, рыбоподъемные сооружения приобретают также значительный ряд слабых сторон: цикличность действия, малые объемы рыбонакопителей (улавливающей части), большая искусственность условий для рыб, наличие большого количества движущихся элементов, дороговизна строительства и эксплуатации и др.

Выход из сложившихся противоречий можно найти в дальнейшем совершенствовании конструкций классических рыбоходов, как наиболее простых по конструкции и максимально приближенных к естественным условиям обитания рыб, по пути, обозначенному в работах [6–9]. Применяемая для этих целей технология использования гидравлических струй позволит восстановить анадромные миграции рыб на зарегулированных реках с каскадом высоконапорных плотин.

Предлагаемое техническое решение. Гидравлические струи позволяют нейтрализовать встречное течение во вливных отверстиях рыбоходного сооружения. В данном случае имеется возможность выполнить рыбоход применительно для высоконапорного гидроузла по классическому типу в виде лоткового или же в виде лестничного рыбохода. Такой рыбоход представляет собой быстроток (канал) прямо-

угольного сечения с уклоном дна, в котором установлены неполные поперечные перегородки или лоток со ступенчатым дном и поперечными перегородками с вливными отверстиями, образующий ряд бассейнов и перепадов между ними (рис. 1).

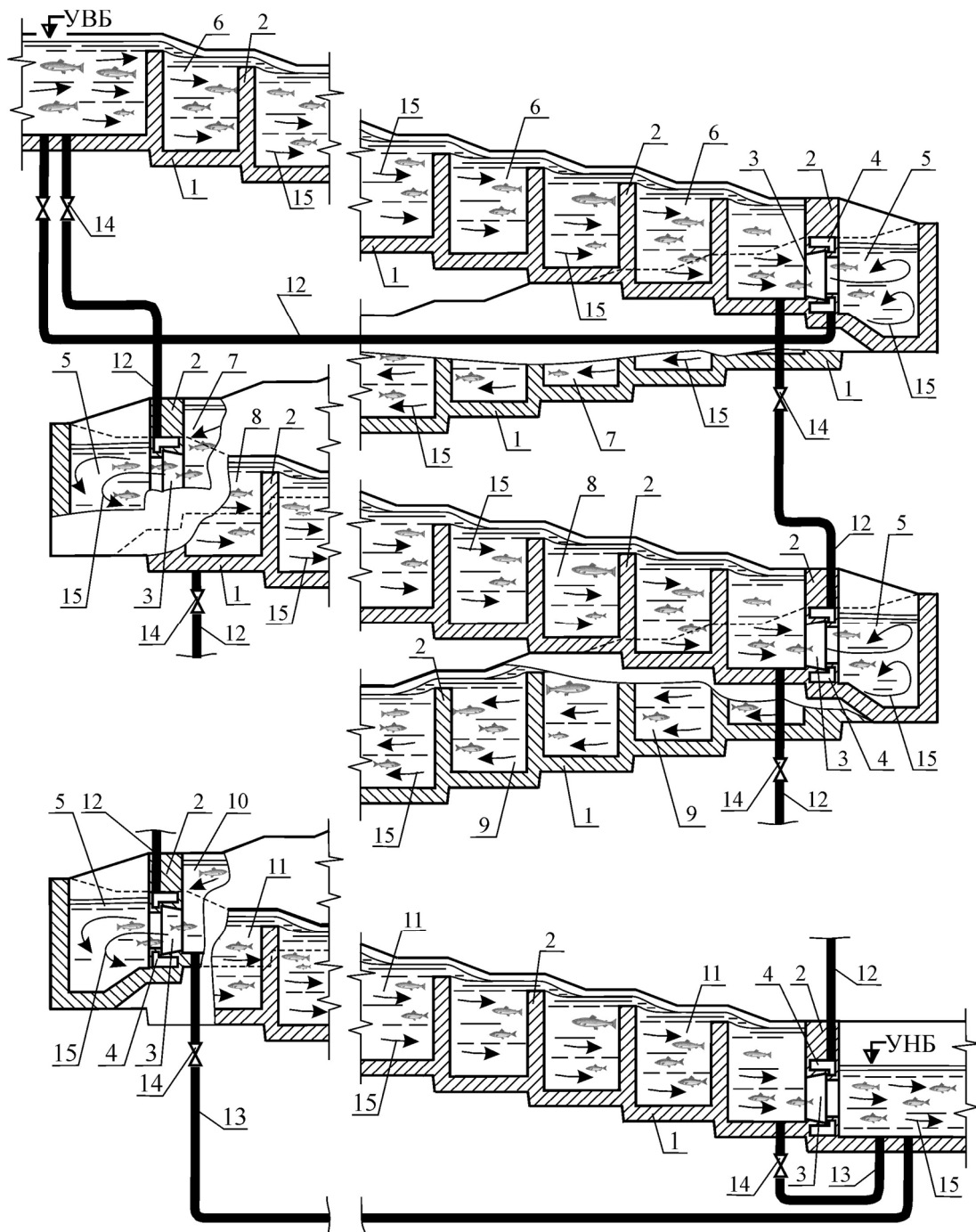


Рис. 1. Многомаршевый рыбоход для высоконапорного гидроузла на разрезе вертикальной плоскостью: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальные поперечные перегородки; 3 – вливные отверстия, оборудованные системами струеобразующих насадок; 4 – раздающие коллекторы, питающие системы струеобразующих насадок; 5 – бассейны рыбохода для отдыха; 6 – бассейны первой или верхней секции рыбохода; 7 – бассейны второй секции рыбохода; 8 – бассейны третьей секции рыбохода; 9 – бассейны четвертой секции рыбохода; 10 – бассейны предпоследней секции рыбохода; 11 – бассейны последней или нижней секции рыбохода; 12 – обводные напорные трубопроводы; 13 – отводящие трубопроводы; 14 – задвижки; 15 – направление привлекающего рыб потока

В некоторых полных внутренних поперечных перегородках рыбохода вливные отверстия обрамляют потокоформирующим фартуком, где под его прикрытием в галереях размещают систему струеобразующих насадок, которые направляют в сторону верхнего бьефа и располагают под углом или параллельно к оси вливного отверстия (рис. 2). Подобная поперечная перегородка совместно с нижерасположенной поперечной перегородкой, у которой вливное отверстие без насадок, образуют бассейны рыбохода для отдыха, делящие рыбоход на секции.

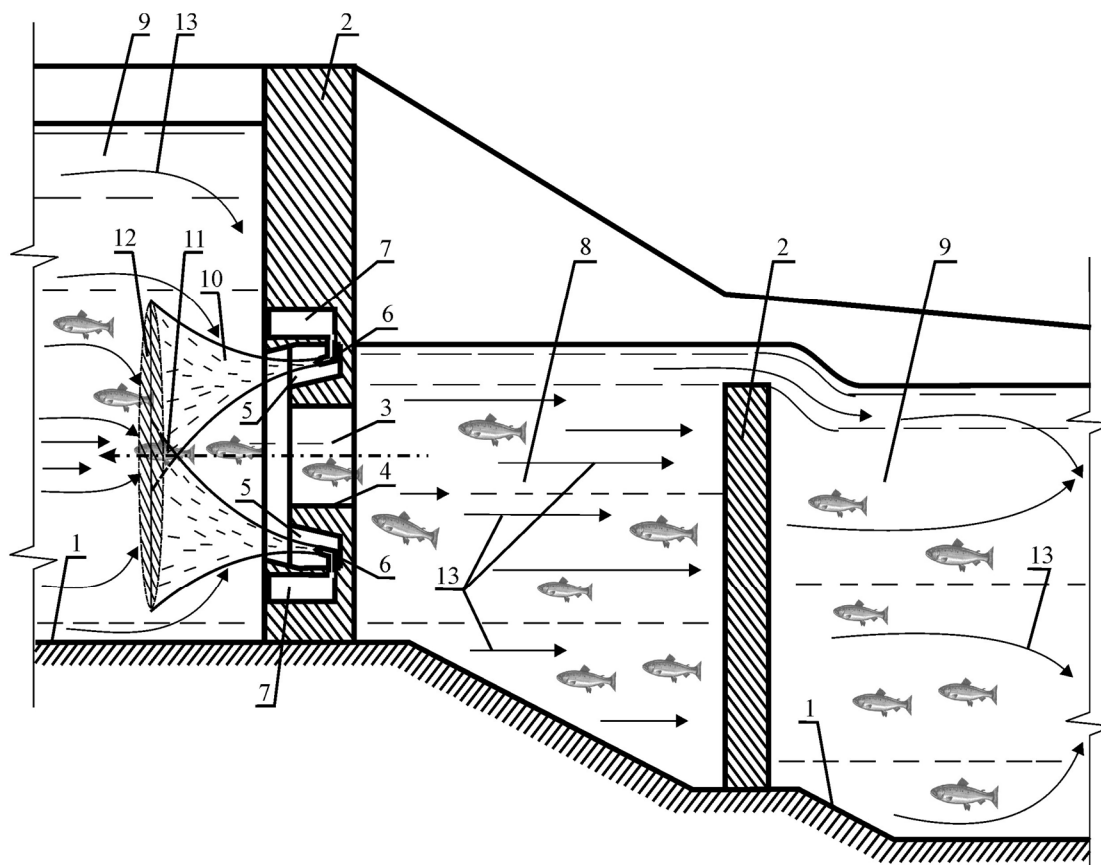


Рис. 2. Бассейн рыбохода для отдыха на разрезе вертикальной плоскостью со схемой создания гидравлических условий для отдыха двигающихся по рыбоходу рыб: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальные поперечные перегородки; 3 – вливное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – раздающие коллекторы, питающие системы струеобразующих насадок; 8 – бассейн рыбохода для отдыха; 9 – бассейны секций рыбохода; 10 – ряды параллельных гидравлических струй; 11 – суммарный поток; 12 – зона «частично равных давлений»; 13 – направление привлекающего рыб потока

Благодаря такому сочетанию поперечных перегородок разных конструкций в бассейне рыбохода для отдыха получают заданные гидравлические условия, которые характерны для свободной реки. Данное техническое решение позволит использовать конструкции классических рыбоходов на средне- и высоконапорных гидроузлах, обеспечивая при этом высокую эффективность рыбопропуска при нерестовой миграции рыб. Кроме того, предлагаемый подход по совершенствованию конструкций классических рыбоходов открывает огромные перспективы создания конструкций рыбоходных сооружений, учитывающих в полной мере не только плавательную способность мигрирующих рыб (см. табл.), но и технические, а также технологические особенности самого гидроузла: компоновка гидроузла; высота плотины и ее тип;

режимы работы; гидрологическая обстановка в нижнем бьефе и др. Так, например, секции рыбохода могут состоять как из одинакового (см. рис. 1), так и различного числа камер рыбохода. Первый вариант рыбохода рассчитан на более сильных пловцов, второй – менее слабых. Во втором варианте по мере продвижения вверх по рыбоходу преодолеваемый рыбой напор между бассейнами рыбохода для отдыха будет уменьшаться, давая тем самым возможность чаще отдыхать двигающейся по рыбоходу рыбе. В то же время, конструкция рыбохода по первому варианту является более простой и легкой в управлении.

Математическая модель и экологическое обоснование предлагаемых технических решений. Гидравлические струи, истекая из струеобразующих насадок и взаимодействуя между собой, перед вливными отверстиями бассейнов рыбохода для отдыха со стороны верхнего бьефа образуют противоток основному потоку (см. рис. 2). Начальную скорость противотока можно определить из следующего выражения [5, 6]:

$$V_{U_0} = \varphi \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} n}{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}, \quad (1)$$

где V_{U_0} – начальная скорость противотока, м/с; V_0 – начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок, м/с; d_{0n} – диаметр струеобразующих насадок, м; $b_{\text{э}}$ – расстояние между осями гидравлических струй, м; n – число струеобразующих насадок в ряду; $h_{\text{э}}$ – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м; φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем.

Противоток основному потоку на некотором расстоянии от плоскости, проходящей через выходные сечения насадок, перед вливным отверстием образует «зону частично равных давлений». В первом приближении математическое условие образования «зоны частично равных давлений» можно представить в виде:

$$V_{U_0} = \sqrt{gH}, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор противотока, м.

Противоток (гидравлическое сопротивление) обеспечивает поддержание расчётного уровня воды во внутренних бассейнах рыбохода путём пропуска транзитного расхода воды заданной величины через вливные отверстия, оборудованные системами струеобразующих насадок, и тем самым создание благоприятных условий для прохода рыб через вливные отверстия в сторону верхнего бьефа. Величина расхода транзитного или привлекающего рыб потока зависит от размеров вливного отверстия и скорости потока:

$$Q_{\text{ТРАНЗИТ}} = bhV_{\text{ПРИВЛЕК}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ТРАНЗИТ}}$ – расход транзитного (привлекающего рыб) потока, м³/с; b – ширина вливного отверстия, м; h – высота вливного отверстия, м; $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ – величина скорости привлекающего рыб потока, м/с.

Благодаря образованию «зоны частично равных давлений», в нижерасположенном бассейне рыбохода формируют гидравлические условия, свободные от критических скоростей плавания для рыб. Данное обстоятельство позволяет на отдельных участках по длине рыбоходного тракта восстанавливать плавательную способность двигающимся по рыбоходу рыбам, предоставляя им возможность эффективного отдыха.

Используя выражения (1) и (2), получим формулу для нахождения величины напора

противотока H в сторону верхнего бьефа на поперечной перегородке бассейна рыбохода для отдыха:

$$H = \varphi_{\text{ПТ}} \frac{V_0^2 d_{0n}^3 b_{\text{Э}}^3 n^2}{g(h_{\text{Э}} - b_{\text{Э}})^2}, \quad (4)$$

где $\varphi_{\text{ПТ}} = \varphi^2 / 90,52$ – коэффициент противотока.

Величина скорости привлекающего рыб потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$, а значит и гидравлические условия в бассейнах рыбохода для отдыха зависят от разницы между действительным напором $H_{\text{ДЕЙСТВИТ}}$, приходящимся на вертикальную поперечную перегородку бассейна для отдыха, и напором противотока [8]:

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \varphi_{\text{П}} \sqrt{2g(H_{\text{ДЕЙСТВИТ}} - H)} \quad (5)$$

или, учитывая выражение (4), получим следующую зависимость:

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \varphi_{\text{П}} \sqrt{2gH_{\text{ДЕЙСТВИТ}} - \varphi_{\text{ПТ}} \frac{2V_0^2 d_{0n}^3 b_{\text{Э}}^3 n^2}{(h_{\text{Э}} - b_{\text{Э}})^2}}, \quad (6)$$

где $\varphi_{\text{П}}$ – безразмерный коэффициент привлекающего рыб потока, устанавливаемый опытным путём.

Скорость привлекающего рыб потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ следует назначать в соответствии с их плавательной способностью, проходящей через рыбоход рыбы (см. табл.). Анализируя выражение (5), видно, что привлекающая скорость $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$, а вместе с ней, согласно формуле (3), и расход транзитного потока $Q_{\text{ТРАНЗИТ}}$ будет снижаться с увеличением V_0 , d_{0n} , n и с уменьшением $h_{\text{Э}}$, а также с увеличением $b_{\text{Э}}$ до значений, близких к $h_{\text{Э}}$. Это подтверждают и данные экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных условиях. Величина $h_{\text{Э}}$ определяется видовым и размерным составом проходящих через рыбоход видов рыб, а отсюда, соответственно, конструкцией вливного отверстия, поэтому скорость $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ и расход $Q_{\text{ТРАНЗИТ}}$ регулируют изменением начальной скорости истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок V_0 , диаметра d_{0n} или числа n струеобразующих насадок. Кроме того, из формулы (5) можно получить зависимость для нахождения необходимой величины напора противотока $H_{\text{НЕОБХОД}}$ в зависимости от требуемой скорости привлекающего рыбу потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$:

$$H_{\text{НЕОБХОД}} = H_{\text{ДЕЙСТВИТ}} - \frac{V_{\text{ПРИВЛЕК}}^2}{2\varphi_{\text{П}}^2 g}. \quad (7)$$

Реализация предлагаемой технологии обеспечения анадромных миграций рыб через высоконапорные гидроузлы требует подачи воды в системы струеобразующих насадок вливных отверстий бассейнов рыбохода для отдыха. Систему струеобразующих насадок питают от раздающих коллекторов, которые в свою очередь соединены посредством обводных трубопроводов с вышерасположенными участками рыбохода или верхним бьефом гидроузла (см. рис. 2). Используя выражение (4), можно получить формулу для вычисления потребляемого секундного расхода через систему струеобразующих насадок в зависимости от необходимого напора противотока $H_{\text{НЕОБХОД}}$:

$$Q = \frac{\pi \cdot H_{\text{НЕОБХОД}}^{\frac{1}{2}} \cdot d_{0n}^{\frac{4}{3}} (h_{\text{Э}} - b_{\text{Э}}) g^{\frac{1}{2}}}{2\varphi_{\text{ПТ}}^{\frac{1}{2}} b_{\text{Э}}^{\frac{1}{3}}}, \quad (8)$$

где Q – потребляемый секундный расход воды через струеобразующие насадки, м³/с; $H_{\text{НЕОБХОД}}$ – необходимый напор противотока, м; d_{0n} – диаметр струеобразующих насадок, м; $h_{\text{Э}}$ – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м; $b_{\text{Э}}$ – расстояние между осями гидравлических струй, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\varphi_{\text{ПТ}}$ – безразмерный коэффициент противотока.

При таком подходе достигаемый напор противотока $H_{\text{ДОСТИГ}}$ перед вливным отверстием поперечной перегородки бассейна рыбохода для отдыха будет зависеть от суммы локальных перепадов на предшествующих со стороны верхнего бьефа поперечных перегородках до места забора воды, необходимой для питания насадок:

$$H_{\text{ДОСТИГ}} = \sum_{k=1}^n H_k - h_{\omega_n}, \quad (9)$$

где $H_{\text{ДОСТИГ}}$ – достигаемый напор противотока перед вливным отверстием поперечной перегородки бассейна рыбохода для отдыха, м; $\sum_{k=1}^n H_k$ – сумма локальных перепадов на предшествующих со стороны верхнего бьефа поперечных перегородках от рассматриваемой поперечной перегородки бассейна рыбохода для отдыха до места забора воды для питания насадок, м; h_{ω_n} – потери напора в подающем трубопроводе и питающем коллекторе системы струеобразующих насадок вливного отверстия поперечной перегородки бассейна рыбохода для отдыха, м.

Тогда для обеспечения эффективной работы рыбохода предлагаемых конструкций необходимо, чтобы $H_{\text{НЕОБХОД}} \leq H_{\text{ДОСТИГ}}$ или, учитывая выражение (9), получим следующее:

$$H_{\text{НЕОБХОД}} \leq \sum_{k=1}^n H_k - h_{\omega_n}. \quad (10)$$

Формула (10) является математическим условием обеспечения питания струеобразующих насадок. Как показывают теоретические и экспериментальные исследования, в целях обеспечения безопасности мигрантов, а также достижения высокой экономичности технологии рыбопропуска, величину необходимого напора противотока $H_{\text{НЕОБХОД}}$ не следует назначать более 1 м. При этом, на участке коллектора, питающего струеобразующие насадки, распределение воды будет осуществляться непрерывно и равномерно. В этом случае потери напора h_{ω_n} будут в три раза меньше потерь при подаче того же расхода транзитом.

Помимо того, с целью обеспечения стабильной работы рыбохода необходимо достичь равенства подаваемых расходов воды Q (8) через струеобразующие насадки в соответствующие бассейны рыбохода и забираемых расходов Q'' из этих же бассейнов для питания нижерасположенных систем насадок, тем самым сохраняя равновесное состояние в бассейнах рыбохода. Отсюда следует, что вторым необходимым условием успешного функционирования рыбохода предлагаемых конструкций является выполнение следующего условия для всех секций рыбохода:

$$Q_n = Q_n'', \quad (11)$$

где Q_n – потребляемый секундный расход воды через струеобразующие насадки вливного отверстия n -й поперечной перегородки бассейна рыбохода для отдыха, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_n'' – отводимый секундный расход воды из n -го бассейна рыбохода (нумерация поперечных перегородок и бассейнов рыбохода ведется со стороны верхнего бьефа), $\text{м}^3/\text{с}$.

Расход воды, используемый для питания систем струеобразующих насадок вливных отверстий бассейнов рыбохода для отдыха со стороны нижнего бьефа и сбрасываемый в нижний бьеф гидроузла, целесообразно использовать для усиления привлекающего потока на входе в рыбоходное сооружение (см. рис. 1). Для этой цели необходимо увеличить ширину самого нижнего бассейна рыбохода для отдыха и по всей длине поперечной перегородки выполнить вливное отверстие, образуя тем самым входной оголовок рыбохода [10]. Такая конструкция входного оголовка рыбохода и увеличение размера привлекающего шлейфа позволяют повысить эффективность привлечения рыб в рыбоход.

Краткие результаты экспериментальных исследований. Возможность использования предлагаемой технологии для восстановления анадромных миграций рыб через высоконапорные гидроузлы была проверена экспериментально на лабораторной модели масштабом $\lambda_L = 10$. При проведении лабораторных исследований за основной критерий гидродинамического подобия был принят критерий подобия Фруда. Для возможности применения выражения (4) на практике были вычислены значения коэффициента противотока $\varphi_{\text{ПТ}}$ для различных конфигураций расположения струеобразующих насадок, представленные в виде графических зависимостей (рис. 3).

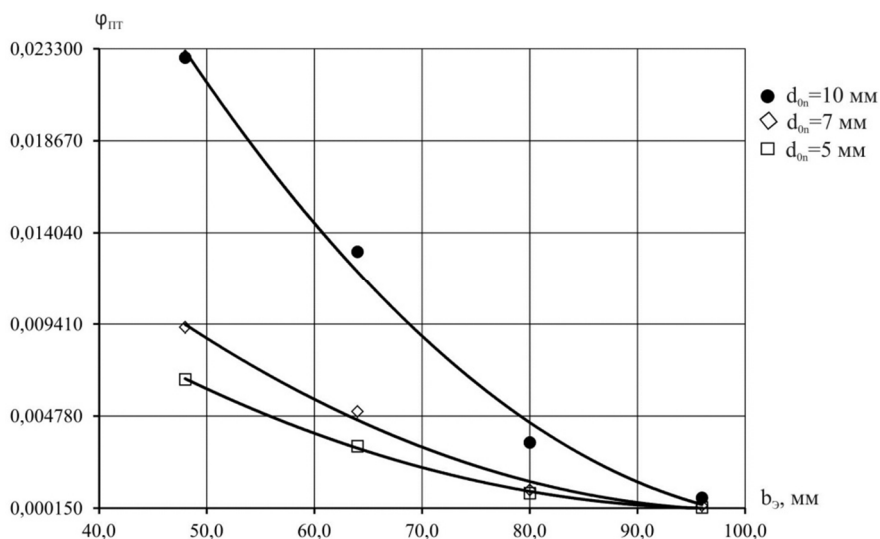


Рис. 3. Графическая зависимость изменения значения коэффициента противотока $\varphi_{\text{ПТ}}$ от величины расстояния между осями гидравлических струй $b_э$ для струеобразующих насадок различных диаметров d_{0n} , полученная на гидравлической модели масштабом $\lambda_L = 10$

Также в ходе проведенных экспериментов выявлено, что факторами, существенно влияющими на значение коэффициента привлекающего рыбу потока $\varphi_{\text{П}}$, оказались величина напора противотока H , расстояние между осями гидравлических струй $b_э$, а

также диаметр струеобразующих насадок d_{0n} (рис. 4). Установлено, что значение коэффициента ϕ_{II} колеблется в пределах 0,3...0,7 в зависимости от перечисленных выше факторов и соответственно от размеров вливающего отверстия.

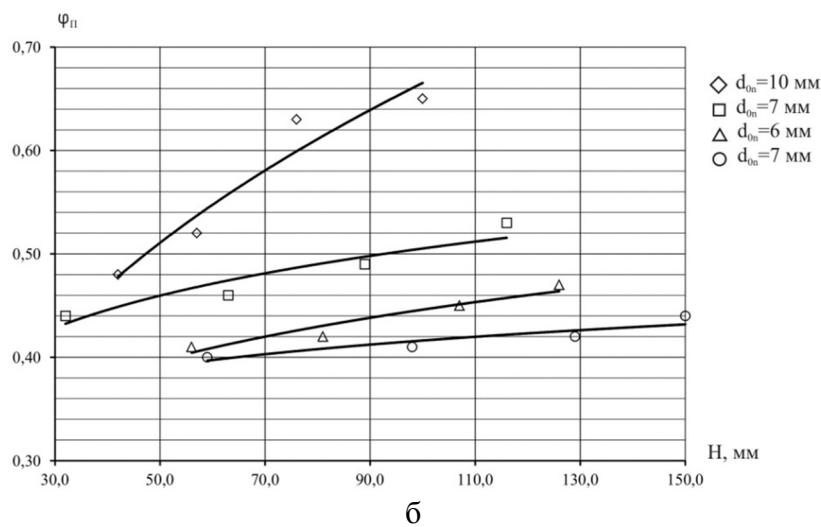
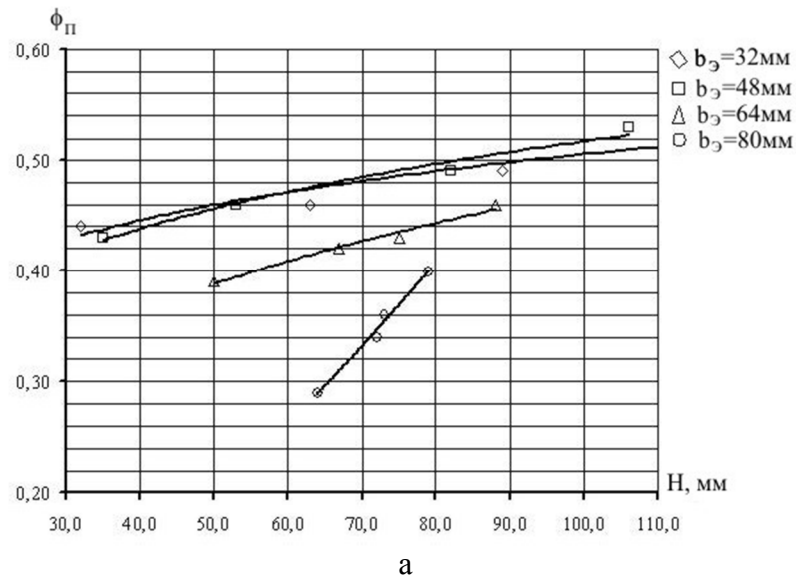


Рис. 4. Графические зависимости изменения значения коэффициента привлекающего рыбу потока ϕ_{II} от величины напора противотока H , полученные на гидравлической модели масштабом $\lambda_L = 10$:

- а) диаметр струеобразующих насадок $d_{0n} = 7$ мм при различных расстояниях между осями гидравлических струй $b_э$; б) расстояние между осями гидравлических струй $b_э = 32$ мм при различных диаметрах струеобразующих насадок

Заключение. Предлагаемая технология обеспечения анадромных миграций рыб через каскады высоконапорных гидроузлов позволяет подойти к решению проблемы восстановления естественного воспроизводства проходных и полупроходных видов рыб на зарегулированных реках. Решение данной проблемы крайне важно для сохранения популяций многих видов рыб. На водоемах, подверженных отрицательному техно-

генному воздействию, нельзя полностью полагаться на искусственное компенсационное рыборазведение, так как в результате его происходит снижение генетического разнообразия из-за использования ограниченного числа особей для получения половых продуктов. У видов, обладающих сложной популяционной структурой, этому также способствует использование для воспроизводства представителей только какого-то одного локального стада или экологической формы. Происходит снижение уровня белкового полиморфизма, утрата аллелей и обеднение генофонда и, как результат, снижение уровня генетической изменчивости. Это отрицательно отражается на генетическом популяционном гомеостазе, т. е. на наборе генетически обусловленных реакций, обеспечивающих устойчивость развития организма в меняющихся условиях среды, поэтому уменьшение генетической гетерогенности в результате искусственного разведения приводит популяцию к вырождению.

С технической стороны предлагаемая технология дает возможность модернизировать конструкции классических рыбоходов с возможностью их использования на средне- и высоконапорных гидроузлах, сохраняя при этом простоту конструкции и эксплуатации, а также естественность условий рыбопропуска. Кроме того, рыбоходы подобных конструкций по сравнению с прототипами позволяют регулировать скорость привлекающего потока по длине рыбохода в зависимости от плавательной способностидвигающихся по рыбоходу видов рыб и колебаний бьефов гидроузла. Экономическая эффективность рассматриваемых конструкций рыбохода будет тем выше, чем больше напор на плотину гидроузла. Так как с ростом напора на гидроузле возрастает и экономия эксплуатационных ресурсов (электроэнергии, расходов воды) в расчете на единицу высоты общего перепада на гидроузле. Конкретный выбор того или иного варианта конструкции предлагаемого рыбохода в конечном итоге будет зависеть от разновидности и компоновки самого гидроузла, режимов и графика его работы, видов пропускаемой через рыбоход видов рыб и сроков нереста.

Список литературы

1. Жизнь животных: в 6 т./ Гл. ред. В.Е. Соколов; Под. ред. Т. Е. Расса. –М.: Просвещение, 1983. – Т.4: Рыбы. –575 с.
2. Редкие и исчезающие животные. Рыбы: Справ. пособие/ Д.С. Павлов, К.А. Савваитова, Л.И. Соколов и др. – М.: Высш. шк., 1994. –334 с.
3. Строительные нормы и правила: Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СНиП 2.06.07-87: Утв. Гос.строит. ком. СССР 14.04.87: Срок введ. в действие 01.01.88. Изд. офиц. –М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 34 с.
4. *Чистяков, А.А.* Конструкции рыбоходов / А. А. Чистяков. – Новочеркасск: Темп, 2006. –532 с.
5. *Шкура, В.Н.* Рыбопропускные сооружения: В 2-х ч./ В.Н. Шкура. –Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиоративная акад., 1998. –728 с.
6. *Введенский, О.Г.* Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений / О.Г. Введенский // Гидротехническое строительство. –2009. – № 1. – С. 21 – 27.
7. *Vvedenskii, O.G.* Use of hydraulic jets to improve the efficiency of fish-passing structures / O.G. Vvedenskii// Power Technology and Engineering. –2009. – Vol. 43. – № 2. – Pp. 79 – 84.
8. Пат. 2377365 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ пропуска рыб через рыбоход из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф (варианты)/ О.Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – №2008137015/03; Заявлено 15.09.2008; Опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. – 28 с.
9. *Введенский, О.Г.* Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла/ О.Г. Введенский// Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2010. – № 1. – С. 59 – 68.

10. Пат. 2363807 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Входной оголовок рыбохода (варианты)/ О.Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – №2008108567/03; Заявлено 04.03.2008; Опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. – 42 с.

Статья поступила в редакцию 25.03.11.

O. G. Vvedensky

PROVIDING OF ANADROMOUS FISH MIGRATION THROUGH HIGH-HEAD WATER DEVELOPMENTS

Negative influence of a number of factors, in particular the problem of migration paths damming, on certain fish population is analyzed. A few technical solutions are offered. The solutions cover modernization of classic fish passing facilities. Modernization is required in order to restore anadromous migration of fish through series of medium-head and high-head water developments. Mathematical background of the technical solutions is offered. Experimental research results are given.

Key words: *waterpower development, series of waterpower developments, fish-pass, fish spawning migration, natural reproduction of fish, environmental protection activities.*

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, машиноведения и технологии Марийского государственного университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – разработка технологий и создание технических устройств рыбозащиты и рыбопропуска через плотины гидроузлов. Автор 64 публикаций, включая 32 патента.

E-mail: vedo.67@mail.ru