

УДК 626.882+502.2+532.525.2

## ОРГАНИЗАЦИЯ МИГРАЦИОННОГО ЦИКЛА РЫБ В СОСТАВЕ РЫБООХРАННОГО КОМПЛЕКСА ГИДРОУЗЛА

**О. Г. Введенский**

Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3  
E-mail: VvedenskyOG.@volgatech.net

*Анализируется проблема разрушения миграционного цикла рыб, вызванная гидротехническим строительством. Предложен комплекс мероприятий по организации миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла. Выработаны технические решения по повышению эффективности работы рыбопропускных сооружений и рыбонаправляющих устройств с целью обеспечения покатных, нерестовых и других миграций через гидроузлы вне зависимости от величины напора на плотину гидроузла. Представлено математическое обоснование предлагаемых технических решений. Приведены результаты экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** гидроузел; рыбоход; нерестовая и покатная миграция рыбы; естественное воспроизводство рыбы; рыбоохранный комплекс гидроузла; природоохранные мероприятия.

**Введение.** Острота проблемы охраны живой природы, начиная с середины прошлого века по настоящее время, не только не снижается, а наоборот продолжает нарастать. Сейчас совершенно очевидно, что без специальных мер охраны некоторые виды животных не могут выжить, причём списки их, в частности рыб, увеличиваются с каждым годом. Необходимо достигнуть того, чтобы человек своей деятельностью не ставил под угрозу генофонд живых существ, для этого нужно сохранять численность популяций рыб на уровне, достаточном для их выживания [1].

Основной причиной сокращения численности многих видов рыб на современном этапе явилось гидротехническое строительство на реках и внутренних водоёмах. Зарегулирование стока, вызванное гидротехническим строительством, ведёт к разрушению популяционной системы воспроизводства проходных, полупроходных и многих жилых видов рыб [1]. Создание плотин и водохранилищ влечёт за собой сезонное, суточное или многолетнее перераспределение стока реки, происходит утрата естественных нерестилищ. Данное обстоятельство резко изменяет

гидрологические характеристики рек и приводит к превращению лотических экосистем в лентические. При этом происходит исчезновение или резкое сокращение численности и ареалов реофильных и диадромных рыб. Плотины практически полностью разрушают условия для миграции рыб. Нерестовые миграции против течения приостанавливаются плотинами, что ведёт к прекращению естественного воспроизводства, а покатные миграции заканчиваются гибелью рыб в турбинах ГЭС и в водохранилище. Кроме того, сокращаются и нагульные миграции, у туповодных рыб вместо единого стада образуются два стада – выше плотины и ниже её.

С другой стороны, гидротехническое строительство направлено на решение целого ряда важнейших для человечества задач, без решения которых невозможно дальнейшее устойчивое развитие человеческого общества. Это такие задачи, как проблемы получения энергии, создания больших запасов пресной воды для питьевого и хозяйственного водопотребления, обеспечения водного транспорта полноводными магистралями, получения обширных угодий для развития рекреации и др.

Рассматривая негативные экологические последствия гидротехнического строительства рыбному хозяйству, следует иметь в виду, что большинство видов ущерба можно предотвратить предупредительными мерами. Данные меры должны состоять из комплекса технологий и сооружений, направленных на сохранение условий естественного воспроизводства водных биологических ресурсов на всех стадиях их жизненного цикла при эксплуатации плотин и образующих рыбоохранные комплексы гидроузлов [2, 3].

**Целью** настоящей работы является разработка мероприятий по организации миграционного цикла рыб в составе рыбоохранных комплексов гидроузлов. Для этого поставлена следующая **задача**: существенно повысить эффективность работы рыбопропускных сооружений (РПС) и рыбонаправляющих устройств (РНУ) по обеспечению покатных, нерестовых и других миграций через гидроузлы вне зависимости от величины напора на плотину гидроузла.

**Решение поставленной задачи.** Цикл миграций для рыб является неотъемлемой частью их жизни, определяя важнейшие стороны экологии рыб [4]. Миграции как биологическое явление характерны не только для проходных и полупроходных видов рыб, но и для туводных рыб.

Миграционный цикл состоит из нескольких звеньев миграций: покатная, нерестовая, зимовальная, нагульная (кормовая) и др. Важнейшими из всего разнообразия миграций рыб являются покатная и нерестовая. Покатная миграция молоди проявляется в движении рыб вниз по течению, в так называемом скате молоди от мест рождения к местам нагула. Адаптивное значение таких миграций заключается в том, что они способствуют расселению молоди, устойчивому поддержанию границ ареала и использованию его трофической части. Покатные миграции молоди – это первое звено миграционного цикла рыб, от которого во многом будет зависеть

масштаб и характер миграций в последующие периоды жизни.

Нерестовая, или анадромная, миграция рыб заключается в движении рыб от мест нагула к местам нереста. Данный вид миграций хорошо выражен у проходных рыб, которые кормятся в море, но для размножения входят в реки. Они свойственны главным образом рыбам Северного полушария: сельдевым, лососёвым, осетровым и др. [4]. Помимо того, нерестовые миграции ярко проявляются и у полупроходных видов (жерех, щука, судак, язь, чехонь, стерлядь), кроме того, они необходимы и для туводных (жилых) видов рыб для поддержания целостности их популяции.

Для восстановления нерестовых путей рыб в практике отечественного [5] и зарубежного гидростроительства [6, 7] используют рыбопропускные сооружения. Все РПС делят на два основных вида: рыбоходы, по которым рыба движется самостоятельно, и рыбоподъёмники, принудительно перемещающие рыб в верхний бьеф гидроузла. В связи с этим рыбоходы рекомендуют применять на низконапорных гидроузлах с напором до 10 м, а рыбоподъёмники – на средне- и высоконапорных.

С другой стороны, пропуск рыб, идущих на нерест, через плотины будет целесообразным лишь в том случае, когда на данном гидроузле будет организован обратный скат производителей рыб и её молоди [2, 3]. Но, к сожалению, из используемых на практике конструкций РПС для ската молоди можно использовать рыбоходы и то только при определённых условиях. Так как скорость транзитного потока в рыбоходном тракте рыбохода зависит от колебаний бьефов [2,3, 7 – 11], характерных практически для всех гидроузлов, то эффективность их работы в этом случае будет крайне мала. Касаясь конструкций рыбоподъёмников, можно отметить, что применить их для организации покатных миграций практически невозможно.

Выход из сложившихся противоречий можно найти в дальнейшем совершен-

ствовании конструкций классических рыбоходов, как наиболее простых по устройству и максимально приближенных к естественным условиям обитания рыб, по пути, обозначенном в работах [8–11]. Применяемая для этих целей технология использования гидравлических струй позволит модернизировать конструкции классических рыбоходов не только для эффективного пропуска рыб, идущих на нерест, через плотины гидроузлов, но и для организации высокорезультативной покатной миграции. Причём восстановление миграционного цикла рыб можно будет считать завершённым лишь в том случае, если предлагаемые конструкции рыбоходов будут входить в состав рыбоохранных комплексов гидроузлов и работать с соответствующими рыбонаправляющими устройствами [2, 3].

**Предлагаемые технические решения.** 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 и её молоди. Гидравлические струи позволяют нейтрализовать встречное течение в рыбопропускных отверстиях рыбоходного сооружения. В данном случае имеется возможность не только повысить эффективность действующих рыбоходных сооружений в период нерестовых миграций [8, 9] или использовать рыбоходы на высоконапорных гидроузлах [10, 11], но и применить данные конструкции РПС в условиях тех же гидроузлов для обратного ската производителей рыбы и её молоди [12]. Кроме того, гидравлические струи позволяют действительно направлять и перенаправлять мигрирующих рыб и её молодь в желаемое место водоёма, сохраняя при этом естественность среды обитания [3, 13].

Известно, что движущиеся против течения на нерест рыбы, пройдя посредством РПС в верхний бьеф гидроузла, по-

падают из условий реки в условия озера [2, 3, 7]. Это, безусловно, отрицательно сказывается на эффективности отыскания ими нерестилищ, поэтому в водохранилищах целесообразно создавать потоки воды для привлечения и проводки производителей рыб на участки и притоки водохранилища с ярко выраженными естественными течениями. Отнерестившись, производители и их молодь начинают совершать покатные миграции. В условиях водохранилищ происходит задержка ската молоди перед плотиной, вынос покатников в ирригационные системы и их массовое попадание в другие водозаборные сооружения, а также массовая гибель молоди рыб в турбинах гидроэлектростанций. Для предупреждения подхода рыб к источнику опасности в условиях самостоятельного или пассивного расселения рыб по акватории водохранилища разумно использовать рыбоотводящие течения со сносными скоростями для рыб, которые позволят защитить мигрантов от попадания в водозаборные сооружения. Решить указанную задачу можно с помощью рыбонаправляющих устройств гидравлического типа [3, 14].

Предлагаемая нами конструкция рыбонаправляющего устройства (рис. 1) [13] в части исполнения рыбопропускного отверстия повторяет рыбоход на гидравлических струях [8–11]. Оно включает в себя водонепроницаемую стенку 1, установленную в параллельных друг другу направляющих балках 2, которые вертикально прикреплены к понтонам 3. Сами балки скреплены между собой посредством мостика 4, опирающегося на понтоны 3. Для придания жёсткости конструкции рыбонаправляющего устройства используют поперечные и наклонные тяги 5. В водонепроницаемой стенке устраивают одно или несколько рыбопропускных отверстий 6 с системами струеобразующих насадок 7. Питание струеобразующих насадок осуществляют посредством разводящих коллекторов 8, выполненных в

водонепроницаемой стенке. Помимо того, водонепроницаемая стенка фиксируется в направляющих балках по заданной высоте с помощью троса 9. Длину троса регулируют с помощью барабана 10, связанного с червячным приводом 11.

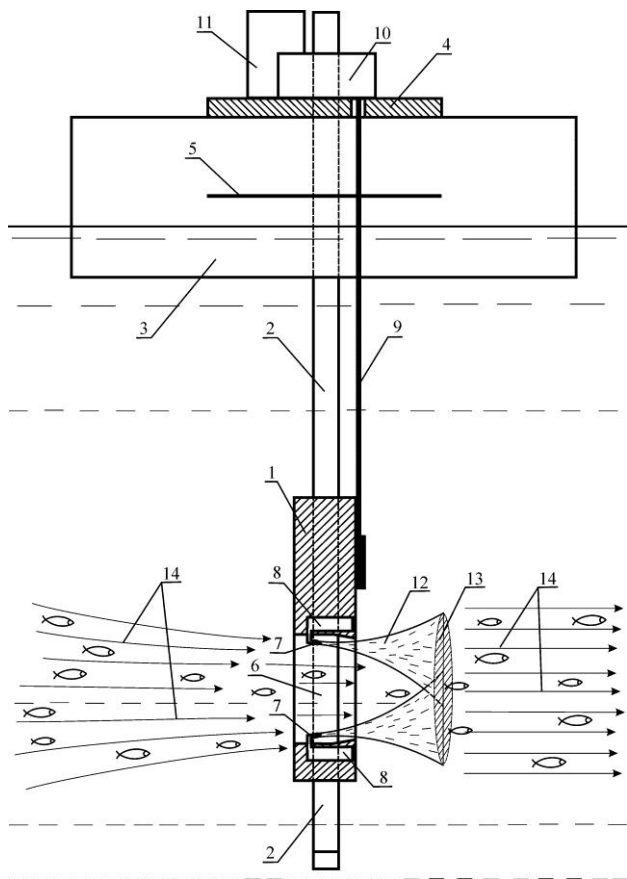


Рис. 1. Рыбонаправляющее устройство гидравлического типа: 1 – водонепроницаемая стенка; 2 – направляющие балки; 3 – понтоны; 4 – мостик; 5 – тяги; 6 – рыбопропускное отверстие; 7 – системы струеобразующих насадок; 8 – раздающие коллекторы; 9 – трос; 10 – барабан; 11 – червячный привод; 12 – гидравлические струи; 13 – суммарный поток; 14 – транзитное водное течение рыбоотводящего или рыбопривлекающего назначения

Рыбонаправляющие устройства предлагаемой конструкции размещают на водной акватории рек, озёр или водохранилищ на существующих или проектируемых трассах движения рыб, идущих на нерест, или покатников, либо вблизи ис-

точников опасностей для предотвращения гибели молоди и взрослой рыбы (рис. 2).

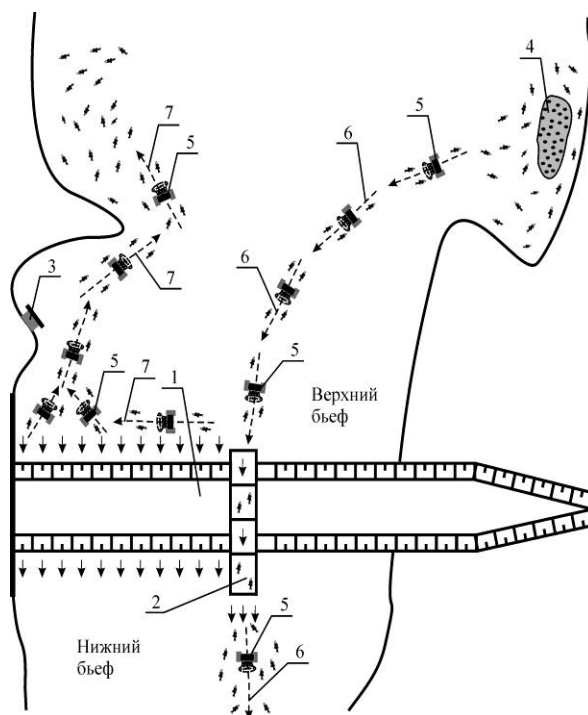


Рис. 2. Схема размещения рыбонаправляющих устройств на акватории гидроузла: 1 – плотина гидроузла; 2 – рыбопропускное сооружение; 3 – водозабор; 4 – нерестилище; 5 – рыбонаправляющее устройство; 6 – транзитное водное течение рыбопривлекающего назначения; 7 – транзитное водное течение рыбоотводящего назначения

Посредством насосов, установленных на мостике рыбонаправляющего устройства или на отдельном понтоне, либо на берегу, подают воду через раздающие коллекторы в систему струеобразующих насадок рыбопропускных отверстий, которые формируют гидравлические струи. Гидравлические струи, взаимодействуя между собой, образуют в зависимости от количества рыбопропускных отверстий один или несколько суммарных потоков. В свою очередь, суммарные потоки формируют перед водонепроницаемой стенкой и за ней транзитное водное течение, которое в зависимости от величины скорости может иметь рыбоотводящее или рыбопривлекающее назначение (табл.).

**Рекомендуемые скорости транзитного течения в зависимости от назначения  
для различных видов рыб [7]**

Виды рыб	Скорость течения, м/с		
	привлекающая взрослые особи	сносящая	
		молодь	взрослые особи
Лососи, форель, кумжа, жерех, щука	0,8...1,1	0,25...0,35	1,1...1,6
Усач, хариус, миноги	0,75...1,0	0,20...0,30	1,0...1,5
Сельди, подуст, краснопёр	0,7...0,95	0,20...0,25	0,95...1,4
Белорыбица, осётр, севрюга, судак, язь	0,6...0,9	0,15...0,2	0,9...1,2
Сазан, лещ, окунь, линь, плотва	0,5...0,7	0,15...0,25	0,9...1,2

С другой стороны, рыбоотводящие течения можно успешно также применять для перенаправления покатников от водозаборов и других источников опасности в места водохранилища, благоприятные для обитания рыб, или к специальным устройствам, обеспечивающим безопасный пропуск мигрирующей рыбы через плотину в нижний бьеф гидроузла. В качестве устройств, обеспечивающих эффективный пропуск покатников, мы предлагаем использовать рыбоходы на гидравлических струях [8–12]. Данные рыбоходы в зависимости от типа гидроузла имеют свои конструктивные особенности [8–11], но все они представляют собой быстроток (канал) прямоугольного сечения со ступенчатым дном и поперечными перегородками с рыбопропускными отверстиями, образующими ряд бассейнов и перепадов между ними (рис. 3).

В период покатной миграции молоди рыб, а также при скоплении покатников перед плотиной гидроузла в верхнем бьефе (рис. 2) формируют управляемое рыбоотводящее течение (рис. 3). Данное течение будет вовлекать в движение молодь рыб из верхнего бьефа гидроузла, и направлять её в рыбоходный тракт рыбохода, выводя молодь рыбы в безопасное место нижнего бьефа гидроузла. В общем случае механизм формирования рыбоотводящего течения совпадает с принципами образования привлекающего потока по длине рыбоходного тракта, изложенными в работах [8 – 11].

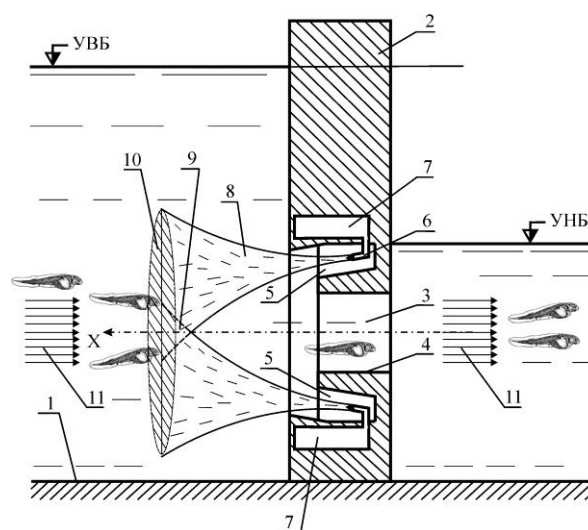


Рис. 3. Схема создания рыбоотводящего течения в рыбоходном сооружении на гидравлических струях: 1 – водосливной лоток рыбоходного тракта; 2 – поперечная разделительная стенка; 3 – рыбопропускное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – глухая галерея; 6 – струеобразующие насадки; 7 – раздающие коллекторы; 8 – гидравлические струи; 9 – суммарный поток; 10 – зона «частично равных давлений»; 11 – рыбоотводящее течение

Величину скорости рыбоотводящего течения необходимо назначать выше сносящих скоростей (табл.), учитывая стадию развития покатников и биологический вид молоди рыб, подлежащих пропуску через плотину гидроузла, а также гидрологическую обстановку в верхнем бьефе гидроузла. Здесь необходимо соблюдать условия безопасности прохождения молодь рыбы рыбоходного тракта и рыбопропускных отверстий рыбохода [5]. Для это-

го, кроме скоростного режима управляемого водного потока, начальную величину скорости истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок необходимо принимать намного меньше 10 м/с. Кроме этого, конструкцией рыбопропускного отверстия (рис. 3) предусмотрено наличие потокоформирующего фартука, который защищает молодь рыбы от высокоскоростных участков гидравлических струй.

**Математическая модель и экологическое обоснование предлагаемых технических решений.** Гидравлические струи, истекая из струеобразующих насадок и взаимодействуя между собой, перед рыбопропускными отверстиями рыбонаправляющих устройств и рыбоходов образуют суммарный поток (рис. 1, 3). Начальную скорость суммарного потока можно определить из следующего выражения [8–11]:

$$V_{U0} = \varphi \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} n}{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}, \quad (1)$$

где  $V_{U0}$  – начальная скорость суммарного потока, 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;  $\varphi$  – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путём.

Для удобства использования выражения (1) на практике заменим безразмерную величину  $\varphi/9,514$ , стоящую в данном выражении, коэффициентом  $\varphi_{U0}$ , который назовём скоростным коэффициентом суммарного потока. Тогда формула для определения значения начальной скорости суммарного потока (1) примет следующий вид:

$$V_{U0} = \varphi_{U0} \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} n}{(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}. \quad (2)$$

В свою очередь дальность распространения  $U$  транзитного водного течения, образованного суммарным потоком, можно оценить следующей зависимостью [15]:

$$U = \left( \varphi''_U \frac{V_{U0} b_{\text{э}} n}{V_U} \right)^2, \quad (3)$$

где  $U$  – расстояние от водонепроницаемой стенки до рассматриваемого участка транзитного потока;  $V_{U0}$  – начальная скорость суммарного потока;  $V_U$  – минимальная требуемая величина транзитного потока;  $\varphi''_U$  – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путём.

Как видно из выражений (2) и (3), дальность транзитного водного течения  $U$  зависит в первую очередь от величины начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  и начальных условий истечения гидравлических струй:  $V_{0n}$ ,  $n$ ,  $b_{\text{э}}$ ,  $h_{\text{э}}$ ,  $d_{0n}$ , что подтверждается и экспериментально. Минимально требуемую величину транзитного потока  $V_U$  в зависимости от рыбопривлекающего или рыбоотводящего назначения следует назначать, исходя из рекомендуемых значений (табл.). При этом начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок  $V_0$  не должна превышать 10 м/с [5].

В случае применения гидравлических струй для пропуска покатников через рыбоходы сооружения суммарный поток используют в качестве противотока основному потоку, движущемуся по рыбоходу из верхнего бьефа (рис. 3). Пропуск мигрантов в нижний бьеф гидроузла становится возможным благодаря формированию перед рыбопропускным отверстием рыбохода зоны «частично равных давлений» [8 – 11]. Математическое условие образования «зоны частично равных давлений» можно представить в следующем виде:

$$V_{U0} = \sqrt{gH}, \quad (4)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – напор противотока, м.

Противоток обеспечивает поддержание расчётного уровня воды во внутренних камерах рыбохода путём пропуска транзитного расхода воды заданной величины через рыбопропускные отверстия, оборудованные системами струеобразующих насадок. Транзитный расход позволяет не только формировать рыбоотводящее течение заданной величины для пропуска покатников, но и выступать в качестве привлекающего течения в период нерестовых миграций, т. е. данная конструкция рыбохода может быть успешно использована как для обеспечения нерестовых, так и покатных миграций. В этом случае полученное в работе [10] выражение для определения величины скорости привлекающего рыбу потока  $V_{ПРИВЛЕК.}$  может быть применимо для вычисления скорости рыбоотводящего течения  $V_{РЫБООТВОД. ТЕЧ.}$ :

$$V_{РЫБООТВОД. ТЕЧ.} = \varphi_{П} \sqrt{2gH - \frac{V_{U0}^2}{g}}, \quad (5)$$

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

**Краткие результаты экспериментальных исследований.** Возможность использования на практике предлагаемых технических решений и технологий для восстановления миграционного цикла рыб на зарегулированных реках 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 практического применения выражения (2) нами были вычислены значения скоростного коэффициента суммарного потока  $\varphi_{U0}$ . Они определены для различных конфигураций расположения струеобразующих насадок и представлены в виде графических зависимостей (рис. 4).

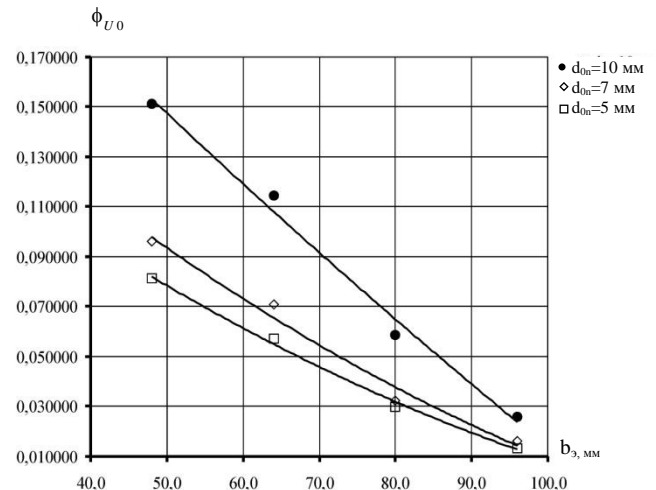


Рис. 4. График изменения величины скоростного коэффициента суммарного потока  $\varphi_{U0}$  от конфигурации струеобразующих насадок по периметру рыбопропускного отверстия для различных диаметров насадок  $d_{0n}$

Анализируя графические зависимости величины начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  от конфигурации струеобразующих насадок (рис. 5), полученные в ходе экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением расстояния между насадками  $b_э$  величина начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  будет уменьшаться;
- с увеличением диаметра насадок  $d_{0n}$  величина начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  также будет увеличиваться.

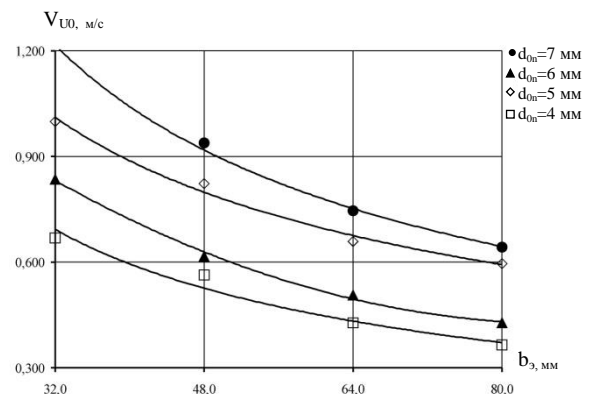


Рис. 5. Графическая зависимость величины начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  от конфигурации струеобразующих насадок, полученная на модели с масштабом моделирования  $\lambda=10$

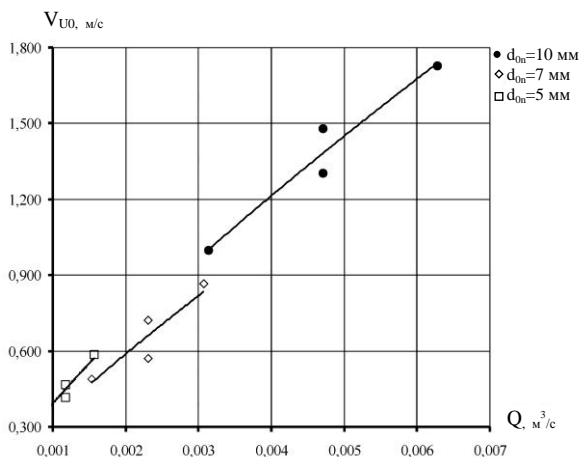


Рис. 6. Пример графической зависимости величины начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  от общего расхода  $Q$  через струеобразующие насадки

Кроме того, проведенные экспериментальные исследования позволили сделать вывод о том, что на величину начальной скорости суммарного потока  $V_{U0}$  существенное влияние оказывает общий расход  $Q$  через струеобразующие насадки (рис. 6), а их размеры практически не оказывают никакого влияния.

Также в ходе проведенных экспериментов было выявлено, что факторами, существенно влияющими на значение коэффициента, привлекающего рыбу потока  $\varphi_{II}$ , оказались величина напора противотока  $H$ , расстояние между осями гидравлических струй  $b_3$ , а также диаметр струеобразующих насадок  $d_{0n}$  [10, 15]. Установлено, что значение коэффициента  $\varphi_{II}$  колеблется в пределах 0,3...0,7 в зависимости от перечисленных выше факторов и соответственно от размеров вливающего отверстия.

**Заключение.** Предлагаемые технические решения и технологии их работы по организации миграционного цикла рыб в составе рыбоохранных комплексов гидроузлов позволяют приблизиться к решению ключевой проблемы восстановления естественного воспроизводства многих видов рыб на зарегулированных реках. Без решения данной проблемы невозможно бу-

дет сохранить в будущем популяции очень многих видов ценных промысловых рыб, особенно проходных и полупроходных видов. Восстановление миграционного цикла рыб на зарегулированных реках позволит поддерживать ареал обитания в границах, необходимых для выживания данного вида. Для сохранения видов, обладающих сложной популяционной структурой, на зарегулированных реках необходимо восстановить все виды миграций (покатная, нерестовая, зимовальная, нагульная кормовая и др.), образующих миграционный цикл у рыб.

С другой стороны, предлагаемые технические решения и технологии, дополняя и совершенствуя рыбоохранные комплексы гидроузлов, повышают их эффективность. Так, изложенная в данной работе технология позволит использовать рыбоходные сооружения на гидравлических струях как для обеспечения нерестовых миграций, так и покатных, что экономически очень выгодно. Кроме того, рассмотренные рыбонаправляющие устройства, являясь прямым развитием предлагаемой нами конструкции рыбохода, существенно образом повышают результативность работы РПС независимо от вида миграции, создавая при этом единый комплекс обеспечения миграций рыб на зарегулированных реках. Отличительной особенностью предлагаемых элементов данного комплекса является высокая гибкость управления их работой и соблюдение экологических требований. Смена режима работы РПС и РНУ осуществляется за счёт изменения начальной скорости истечения гидравлических струй, придавая формируемому ими транзитному водному течению рыбоотводящее или привлекающее назначение. Количество элементов, варианты их размещения на акватории гидроузла, а также порядок их работы будут зависеть от разновидности и компоновки самого гидроузла, режимов и графика его работы, вида мигрирующей рыбы, срока и типа миграции.



## Список литературы

1. Редкие и исчезающие животные. Рыбы: Справ. пособие/ Д.С. Павлов, К.А. Савваитова, Л.И. Соколов и др. – М.: Высшая школа, 1994. – 334 с.
2. Иванов, А. В. Перспективы рыбохозяйственного освоения водохранилищ гидроэнергетического назначения / А. В. Иванов // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 9. – С. 23–26.
3. Введенский, О.Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла /О.Г. Введенский // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. –2013. – № 4. – С. 67 – 81.
4. Жизнь животных: в 6 т./ Гл. ред. В.Е. Соколов; Под. ред. Т.Е. Расса. –М.: Просвещение, 1983. – Т.4: Рыбы. –575 с.
5. Свод правил: Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СП 101.13330.2012: Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30.06.2012 №267: Срок введ. в действие 01.01.2013. – Изд. офиц. – М.: Минрегион России, 2012. – 73 с.
6. Чистяков, А.А. Конструкции рыбоходов. – Новочеркасск: Темп, 2006. –532 с.
7. Шкура, В.Н. Рыбопропускные сооружения: В 2-х ч./ В.Н. Шкура. –Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиоративная акад., 1998. –728 с.
8. Введенский, О.Г. Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений/ О.Г. Введенский// Гидротехническое строительство. –2009. – № 1. – С. 21 – 27.
9. Введенский, О.Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла/ О.Г. Введенский// Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 1 (8). – С. 59 – 68.
10. Введенский, О.Г. Обеспечение анадромных миграций рыб через высоконапорные гидроузлы/ О.Г. Введенский// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. –2012. – № 2 (16). – С. 67 – 78.
11. Vvedenskii, O.G. Control of fish passage through high-head hydroprojects/ O.G. Vvedenskii// Power Technology and Engineering. –2011. – Vol. 45, № 2. – Pp. 96 – 99.
12. Пат. 2406801 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Способ пропуска молоди рыб через гидроузел при покатной миграции/ О.Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – №2009117031/21; Заявлено 04.05.2009; Опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35. – 12 с.
13. Пат. 139149 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Рыбонаправляющее устройство/ О.Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – № 2013128125/13; Заявлено 19.06.2013; Опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10. – 15 с.
14. Иванов, А.В. Справочник по рыбозащите для сотрудников органов рыбоохраны / А.В. Иванов. – М.: Гидропроект, 2005. – 227 с.
15. Введенский, О.Г. Распространение параллельных гидравлических струй в водном пространстве/ О.Г. Введенский; Марийск. гос. пед. ин-т. –М., 2004. –261с. – Деп. в ВИНТИ 18.06.04; № 1043.

Статья поступила в редакцию 15.10.14.

**Ссылка на статью:** Введенский О.Г. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 4 (24). – С. 74-84

## Информация об авторе

**ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович** – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – исследование движения капельных жидкостей и возбужденных ими потоков, математическое моделирование в гидродинамике и экологии, разработка технологий использования стационарных гидравлических струй применительно к рыбоохранным комплексам гидроузлов, разработка конструкций рыбопропускных и рыбозащитных сооружений. Автор 104 публикаций, в том числе 10 учебно-методических работ, двух монографий и 34 патентов на изобретения и полезные модели.

## ORGANIZATION OF FISH MIGRATION CYCLE WITHIN FISH-PROTECTIVE CONSTRUCTION OF HYDROELECTRIC COMPLEX

**O. G. Vvedenskiy**

Volga State University of Technology,  
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation  
E-mail: VvedenskiyOG.@volgatech.net

**Key words:** hydroelectric complex; fish-way; spawning and downstream migration; natural fish reproduction; fish-protecting construction of hydroelectric complex; environmental action.

### ABSTRACT

**Introduction.** Water engineering on the rivers and inland water reservoirs almost completely disturbs the conditions for fish migration. Spawning migration against the flow is stopped by the dams, which leads to termination of natural reproduction and downstream migration is resulted in fish kill in the turbines of hydro-electric power stations and water reservoirs. Besides, feeding migration is also reduced, nonmigratory fish form 2 schools instead of one — one school is formed higher the dam, another one — lower the dam. **The goal of the research** is to elaborate the activities to organize fish migration cycle in fish-protective constructions of hydroelectric complexes. The following task was set for it: significantly improve the efficiency of work of fish passing constructions and fish-directing devices, assuring downstream, spawning and other types of migration through the hydroelectric complexes regardless of the pressure on the dam of hydroelectric complexes. It is possible to find the **solution of the task at hand** in further improvement of the construction of classical fish-ways (they should be more simple in construction and similar to the natural conditions of fish habitat as high as possible). The applied for these purposes technology (usage of hydraulic jets) will let to modernize the constructions of the classical fish-ways both to efficiently pass the fish in spawning season through the dams of hydroelectric complexes and to perform high-productive downstream migration. **The offered engineering solutions.** Hydraulic jets make it possible to correct cross current in the fish-passing outlets of the fish-passing construction. In this case there is a possibility both to improve the efficiency of functioning of fish-passing constructions in the period of spawning migration and to use the fish-ways at the high-head water development and to apply the data of fish-passing construction in conditions of these hydroelectric complexes for return of fish and young fish. Besides, hydraulic jets make it possible to direct and redirect migrant fish and young fish in the desirable place of the reservoir, saving naturalness of habitat. **Experimental researches.** Possibility to use of the offered mathematical model and engineering solutions in practice to restore fish migration cycle in the regulated rivers was experimentally conducted on the example of the laboratory model ( $\lambda_L = 10$  scale). In course of carrying out of the laboratory researches, Froude similarity criterion was chosen as the basic criteria of hydrodynamic similarity. **Conclusion.** The offered engineering solutions and technologies in organization of fish migration cycle, including fish-protective constructions of hydroelectric complex, make it possible to get closer to solution of the key problems to renew natural reproduction of many kinds of fishes in the regulated rivers. The offering engineering solutions and technologies, supplementing and enhancing fish-protective constructions, improve their efficiency. The described in the paper technology will allow to use the fish passing constructions on the hydraulic jets to assure spawning and down stream migration which is very economically sound. Distinctive features of the offered element of this construction is flexibility of control of the constructions and compliance of them with ecological requirements.

### References

1. Pavlov D.S., Savvaitova K.A., Sokolov L.I., et al. *Redkie i ischezayushchie zhitovnye. Ryby: sprav. posobie* [Rare and Disappearing Animals. Fishes: study guide]. Moscow: Vysshaya shkola, 1994. 334 p.
2. Ivanov A. V. Perspektivy rybokhozyaystvennogo osvoeniya vodokhranilishch gidroenergeticheskogo naznacheniya [Perspectives of Fish Adaptation of Reservoirs of Hydropower Destination]. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* [Water Engineering]. 2007. № 9. Pp. 23–26.
3. Vvedenskiy O.G. Rybokhrannyy kompleks gidrouzla [Fish-Protective Construction of Hydroe-

lectric Complex]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* [Russian Water Economy: Problems, Technologies, Management]. 2013. №4. Pp. 67-81.

4. Zhizn zhivotnykh: v 6 t.; gl. red. V.E. Sokolov; pod. red. T.E. Rassa [Animals Life: in 6 volumes; editor-in-chief - V.E. Sokolov; under the editorship of T.E. Rassa]. Moscow: Prosveshchenie, 1983. Vol.4: Fishes. 575 p.

5. Svod pravil: Podpornye steny, sudokhodnye shlyuzy, rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya: SP 101.13330.2012: Utv. prikazom Ministerstva regionalnogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii (Minregion Rossii) ot 30.06.2012 №267: Srok vved. v deystvie 01.01.2013. Izd. ofits. [Rules and Regulations: Supporting Walls, Ship Locks, Fish-Passing and Fish-Protective Constructions: СП 101.13330.2012: approved by the order of the Ministry for the Regional Development of the Russian Federation of 30.06.2012 №267: compliance date 01.01.2013. official edition]. Moscow: Minregion Rossii, 2012. 73 p.

6. Chistyakov A.A. *Konstruktii rybokhodov* [Fish-Way Constructions]. Novocherkassk: Temp, 2006. 532 p.

7. Skura V.N. *Rybopropusknye sooruzheniya: v 2-kh ch.* [Fish-Passing Constructions: in 2 parts]. Novocherkassk: Novocherkassk State Ameliorative Academy, 1998. 728 p.

8. Vvedenskiy O.G. Ispolzovanie gidravlicheskikh struy dlya sovershenstvovaniya tekhnologii raboty rybokhodnykh sooruzheniy [Application for Hydraulic Jets to Improve the Technology of Fish-Passing Constructions Technology]. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo* [Water Engineering]. 2009. № 1. Pp. 21 – 27.

9. *Vvedenskiy O.G.* Puti povysheniya effektivnosti raboty rybokhodnykh sooruzheniy v usloviyakh tsiklicheskogo izmeneniya urovney befov

gidrouzla [Ways to Improve the Efficiency of Fish Passing Facilities in Conditions of Cyclical Variation of the Level of Pool of a Hydroelectric Complex]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2010. № 1 (8). Pp. 59 – 68.

10. *Vvedenskiy O.G.* Obespechenie anadromnykh migratsiy ryb cherez vysokonapornye gidrouzly [Ensuring of Fish Anadromous Migration through High-Head Water Development]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ecologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management]. 2012. № 2 (16). Pp. 67 – 78.

11. *Vvedenskii O.G.* Control of Fish Passage through High-Head Hydroprojects. *Power Technology and Engineering*. 2011. Vol. 45, № 2. Pp. 96 – 99.

12. *Vvedenskiy O.G.* Sposob propuska molodi ryb cherez gidrouzel pri pokatnoy migratsii [A Solution to Pass the Young Fish through a Hydroelectric Complex in Case of Downstream Migration]. Patent RF no 2406801, 2010.

13. *Vvedenskiy O.G.* Rybonapravlyayushchee ustroystvo [Fish-Directive Device]. Patent RF, no 139149, 2014.

14. *Ivanov A.V.* *Spravochnik po rybozashchite dlya sotrudnikov organov rybookhrany* [Reference Book. Fish Protection for the Workers of Fishery Protection Bodies]. Moscow: Gidroproekt, 2005. 227 p.

15. *Vvedenskiy O.G.* Rasprostranenie parallelnykh gidravlicheskikh struy v vodnom prostranstve [Circulation of the Parallel Hydraulic Jets in Water]. *Moskovskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy institut* [Moscow State Pedagogical Institute]. Moscow, 2004. 261p.

The article was received 15.10.14.

**Citation for an article:** Vvedenskiy O.G. Organization of fish migration cycle within fish-protective construction of hydroelectric complex. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2014. No 4 (24). Pp. 74-84.

#### Information about the author

*VVEDENSKIY Oleg Germanovich* – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Engineering Constructions and Water Supply, Volga State University of Technology. Research interests – study of movement of liquids and streams, mathematic simulation in hydrodynamics and ecology, elaboration of the technologies for the usage of static hydraulic jets for the purposes of fish-protecting devices of hydroelectric complexes, elaboration of fish-passing and fish-protective constructions. The author of 104 publications, including 10 study guides, two monographs and 34 patents for invention.