

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 626.882+502.2

А. В. Иванов, О. Г. Введенский, Е. Ф. Султанова

КОНСТРУКЦИИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ РЫБОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПРИЛИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Проанализирована специфика условий работы рыбопропускных сооружений для приливных электростанций по сравнению с гидротехническими сооружениями того же назначения для речных гидроузлов. Рассмотрены различные варианты модернизации действующих конструкций рыбоходов и рыбопропускных шлюзов, исходя из циклов работы приливной электростанции и особенностей поведения различных представителей морской ихтиофауны. Предложены новые конструкции и режимы работы рыбопропускных сооружений.

Ключевые слова: гидроузел, рыбоход, рыбопропускной шлюз, приливная электростанция, природоохранные мероприятия.

Введение. В процессе жизненного цикла большинство видов рыбы в той или иной мере совершают наследственно закрепленные нерестовую, нагульную и зимовальную миграции. Экологическое значение этих миграций заключается в том, что они способствуют устойчивому поддержанию ареала обитания и использованию его кормовой базы. Перекрытие миграционных путей рыбы плотинами не только оказывает негативное влияние на характер и условия естественного воспроизводства водных биологических ресурсов, но и ведет к разрушению целостности популяций, а значит и экосистем в целом, составляющих основу биосферы [1]. Приливная электростанция (ПЭС), как гидротехническое сооружение, перегораживающее водные объекты, оказывает существенное негативное влияние на жизненно важные миграции рыбы и других морских обитателей. Поэтому для обеспечения свободного прохода рыбы через створ ПЭС в её составе следует предусмотреть комплекс рыбопропускных сооружений. Кроме того, актуальность данной проблемы в настоящее время еще больше возросла в связи с тем, что существуют планы строительства крупных ПЭС в Белом и Охотском морях.

В практике отечественного и зарубежного гидростроительства для восстановления миграционных путей на реках используют, в основном, рыбоходы и рыбопропускные шлюзы [2], которые рекомендуется применять также и на ПЭС. Однако в отличие от ры-

бопропуска через речные гидроузлы пропуск рыбы через ПЭС имеет ряд специфических особенностей, не позволяющих применить известные речные сооружения без корректировки их конструкции и режимов их работы.

Во-первых, для ПЭС типичен приливно-отливный характер колебаний уровней бьефов (в море и бассейне), формирующий разнознаковые и разновеликие перепады и, следовательно, течения между ними.

Во-вторых, миграционные предпочтения морских гидробионтов, проходящих через створ ПЭС, существенно отличаются от передвижений производителей на нерест вверх по реке. Дело в том, что морские обитатели совершают здесь, преимущественно, нагульные, зимовальные и преднерестовые миграции, во время которых ведут еще морской образ жизни. В связи с этим они перемещаются в необходимом направлении, используя особенности приливно-отливного характера морских течений, т.е. могут двигаться как навстречу привлекающему течению, так и использовать его в качестве транспортного средства для перемещения на значительные расстояния с наименьшими энергетическими затратами. Поэтому разные виды рыбы предпочитают мигрировать при разных фазах приливно-отливного цикла. Так, производители проходных видов идут, преимущественно, навстречу течению, а большинство типично морских мигрантов и покатников используют попутные течения. Причем мигранты могут как входить в бассейн ПЭС из открытого моря, так и возвращаться обратно.

Целью настоящей работы является разработка конструкций и обоснование режимов работы рыбопропускных сооружений, обеспечивающих беспрепятственный проход рыбы через створ ПЭС. Для этого поставлена следующая **задача**: обеспечить пропуск мигрантов в обоих направлениях, при этом скорость течения по рыбопропускному тракту должна не выходить за рамки привлекающих рыбу величин и быть для нее преодолимой, комфортной и безопасной.

Пути решения поставленной задачи. Так как отправной точкой при разработке рыбопропускных сооружений для ПЭС все же остаются их речные аналоги, то рассмотрим возможности именно их модернизации. Так как в акватории действия ПЭС обитают различные виды рыбы с неодинаковой плавательной способностью и миграционными предпочтениями, то для обеспечения их свободного прохода через створ ПЭС целесообразно рассмотреть оба основных вида сооружений, а именно: рыбопропускных шлюзов и рыбоходов. Очевидно, что для их адаптации к условиям ПЭС необходимо, прежде всего, учесть возможность оперативно откликаться на изменение приливно-отливной гидрологической обстановки путем регулирования оптимального привлекающего рыбу скоростного режима разнонаправленных течений воды в рыбопропускном тракте. В связи с этим обеспечение пропуск морских обитателей через створ ПЭС является более сложной и многофакторной задачей, чем пропуск производителей на нерест через плотины речных гидроузлов.

Результаты исследования и их обсуждение. Наиболее ценными видами морской рыбы, заходящей в реки, впадающие в Белое и Охотское моря, а значит и мигрирующими через створы будущих российских ПЭС, являются лососевые породы рыбы. Для их пропуск через плотины речных гидроузлов, собственно, и были разработаны рыбоходы. По этой причине рассмотрение вариантов конструкций рыбопропускных сооружений для ПЭС целесообразно начать именно с **одноточного рыбохода с регулируемым скоростным режимом**. Он включает рыбопропускной тракт, в котором маршевые камеры расположены под углом к продольной оси и со смещением относительно друг друга (рис. 1) [3]. Такое расположение камер позволяет в каждой из них устроить дополнительное вливное отверстие, напрямую выходящее в нижний бьеф. Эти отверстия перекрываются маневровыми затворами, а их входные пороги расположены на

отметках, превышающих отметки входных порогов, соответствующих им основным вливающим отверстиям.

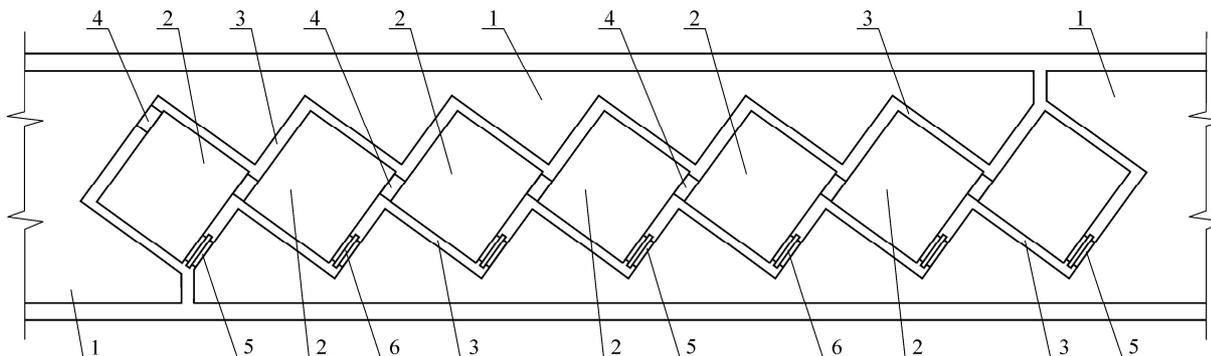


Рис. 1. Однониточный рыбоход с регулируемым скоростным режимом на виде в плане: 1 – рыбоходный тракт; 2 – смежные рабочие камеры; 3 – перегородки; 4 – основные вливные отверстия; 5 – дополнительные вливные отверстия; 6 – рабочие затворы

Рыбоход рассчитан, главным образом, на пропуск нерестовых мигрантов во время отлива в одном направлении, в бассейн из моря, при значительных колебаниях уровня воды в море. Так, при наибольшем на гидроузле перепаде, характерном для самого низкого уровня моря, все дополнительные окна перекрыты затворами, и вода протекает по всей длине рыбоходного тракта. При подъеме уровня воды в море перепад между бьефами, а вместе с ним и скорость течения по рыбоходу снижаются. Для восстановления оптимального скоростного режима необходимо сократить число перепадов. С этой целью открывают дополнительное вливное отверстие, сокращая тем самым рабочую длину рыбохода. По мере подъема уровня в море и выравнивания уровней бьефов продолжают последовательно открывать следующие затворы дополнительных отверстий, закрывая при этом предыдущие (рис. 2). Это позволяет постоянно поддерживать на рабочем участке рыбоходного тракта скорость течения, оптимальную для движения по нему мигрантов.

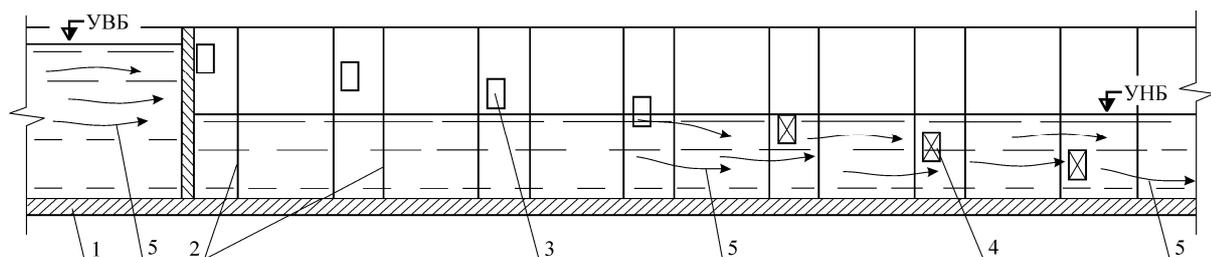


Рис. 2. Однониточный рыбоход с регулируемым скоростным режимом на разрезе вертикальной плоскостью, проходящей вне смежных рабочих камер: 1 – рыбоходный тракт; 2 – смежные рабочие камеры; 3 – дополнительные вливные отверстия с открытыми затворами; 4 – дополнительные вливные отверстия с закрытыми затворами; 5 – направление привлекающего рыбу транзитного течения

Отличительная особенность расчета скорости течения транзитного потока в рыбоходе подобной конструкции состоит в том, что поток воды в нем движется по горизонтальному рыбоходному тракту через смежные рабочие камеры, основные и дополнительное вливные отверстия. При этом гашение его избыточной энергии происходит частями – в пределах каждой задействованной рабочей камеры. Число рабочих камер N напрямую зависит от величины максимального напора приходящегося на плотину ПЭС H_{max} , перепада на основных Δz и дополнительных Δh вливных отверстиях:

$$N = \frac{H_{max} - \Delta z}{\Delta h}, \quad (1)$$

где N – необходимое число рабочих камер рыбохода; H_{max} – величина максимального напора, приходящегося на плотину ПЭС, м; Δz – значение перепада на основных вливных отверстиях, м; Δh – значение перепада на дополнительном вливном отверстии, м.

Для определения основных гидравлических характеристик рыбохода была создана математическая модель его работы, которая основывается на принципе неразрывности транзитного потока воды по всей длине рыбоходного тракта. Расчет основных и дополнительных вливных отверстий строится на допущении, при котором вливные отверстия рассматриваются как подтопленный водослив с тонкой стенкой и боковым сжатием струи [4]. В этом случае основными расчетными формулами будут являться следующие:

для определения необходимой ширины вливного отверстия

$$b = \frac{Q}{m_0 \sigma_{II} \sqrt{2gH}^{3/2}}, \quad (2)$$

для определения коэффициента расхода, учитывающего влияние скорости подхода,

$$m_0 = 0,468 - \frac{0,018P}{H}, \quad (3)$$

для определения коэффициента подтопления вливного отверстия

$$\sigma_{II} = 1,127 \left(\frac{\Delta z}{P} \right)^{0,35}, \quad (4)$$

для определения скорости привлекающего транзитного потока во вливном отверстии

$$V_{ПРИВЛЕК} = \frac{Q}{bh_H}, \quad (5)$$

где Q – величина транзитного расхода воды через рыбопропускное сооружение, устанавливаемая при проектировании гидроузла, м³/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор на гребне водослива, м; Δz – перепад уровней на водосливе, м; P – высота гребня водослива, м; h_H – глубина за вливным отверстием со стороны нижнего бьефа, м.

В рыбоходе подобной конструкции можно обеспечить оптимальные условия пропуска в верхний бьеф гидроузла только для одного какого-либо проходного вида рыбы. В связи с данными обстоятельствами следует рассмотреть конструкцию и режим работы **двухниточного рыбохода с регулируемым скоростным режимом**.

Двухниточный рыбоход включает в себя рыбопропускной тракт, разделенный на разновеликие маршевые камеры поперечными стенками, в каждой из которых устроено по два вливных отверстия, перекрываемых регулирующими затворами (рис. 3) [5]. К одному из рядов отверстий примыкают группы регулирующих камер, количество которых в каждой маршевой камере различно и определяется по зависимости:

$$N = K \times 2^{n-1}, \quad (6)$$

где n – порядковый номер маршевой камеры в направлении моря; K – коэффициент пропорциональности, принимается равным целому числу.

В условиях плавно меняющегося уровневого режима на ПЭС и широком размерновидовом спектре мигрантов через ее створ коэффициент K минимален и принимается

равным 1 или 2. Расчет основных гидравлических параметров рыбохода осуществляется, как и в предыдущем случае, с использованием математических выражений (2) – (5).

Рыбоход работает следующим образом. При существующем в данный момент перепаде уровней бьефов на гидроузле он настраивается таким образом, чтобы вода перетекала через вливные отверстия со скоростями, оптимальными для движения проходящей по нему рыбы. Для этого, маневрируя затворами, транзитному потоку определяют такой маршрут течения, при котором перепад на гидроузле разбивается на каскад локальных преодолимых мигрантами перепадов, т.е. искусственно создается лестничный рыбоход с необходимым числом маршевых камер. При изменении уровней бьефов и перепада между ними, маневрируя затворами, вновь подбирают оптимальный для мигрантов маршрут их движения, при котором новый перепад разбивается на новое число локальных преодолимых мигрантами перепадов. Таким образом, формируют новые оптимальные условия для прохода рыбы через створ ПЭС.

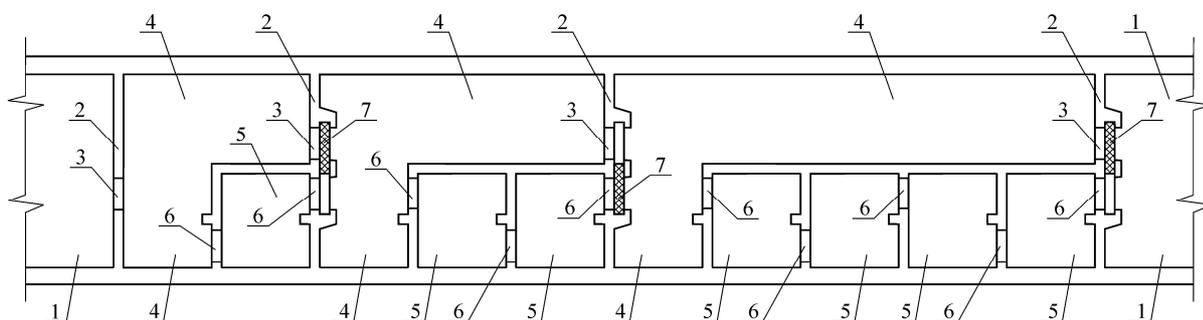


Рис. 3. Двухниточный рыбоход с регулируемым скоростным режимом на виде в плане: 1 – рыбоходный тракт; 2 – поперечные стенки; 3 – вливные отверстия; 4 – разновеликие рабочие камеры; 5 – регулирующие камеры; 6 – вливные отверстия регулирующих камер; 7 – рабочие затворы

Как уже отмечалось выше, рыбоходы разработаны для пропуска, в основном, лососевых видов рыбы. Для расширения видового диапазона пропускаемых мигрантов рыбы целесообразно осуществить **модернизацию рыбопропускного шлюза**.

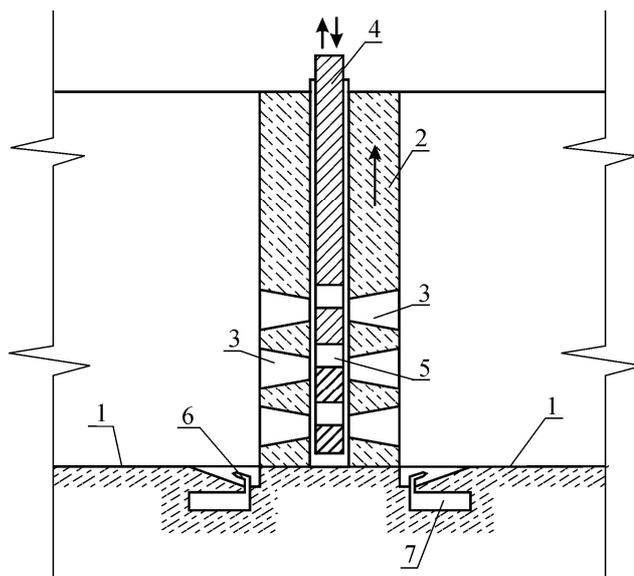


Рис. 4. Схема механического рыбопропускного шлюза ПЭС на разрезе: 1 – рыбоходный тракт; 2 – рабочий затвор; 3 – клинкеты; 4 – регулирующая шторка; 5 – водопропускные отверстия регулирующей шторки; 6 – струеобразующие насадки потокообразующего устройства; 7 – напорные коллекторы

Рыбопропускной шлюз для речного гидроузла состоит из рыбопропускного тракта, разделенного двумя рабочими затворами на рыбонакопитель, шлюзовую камеру и выходной лоток [2]. Рабочие затворы выполнены с возможностью пропуска и регулирования транзитного привлекающего рыбу течения. Так как в отличие от речных гидроузлов приливно-отливный режим работы ПЭС характеризуется периодическим сравнением уровней воды в бьефах (море и бассейне), то данное обстоятельство позволяет временно отказаться от шлюзования и организовать самостоятельный проход рыбы. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопрос об упрощении конструкции шлюза для ПЭС путем отказа от шлюзовой камеры, т.е. от одного из рабочих затворов.

В этом случае шлюз будет состоять из рыбопропускного тракта, разделенного одним рабочим затвором. Поскольку в рыбопропускном тракте необходимо создать условия для прохода рыбы в обоих направлениях, то целесообразно выполнить шлюз симметричным, т.е. расположить рабочий затвор посередине рыбоходного тракта (рис. 4).

Учитывая, что при сравнении уровней бьефов скоростной режим транзитного течения снизится до непривлекающих рыбу значений, то рабочий затвор целесообразно дооборудовать потокообразующим устройством, обеспечивающим в рыбопропускном тракте течение воды с привлекающими рыбу скоростями. Как показывают исследования для создания привлекающего рыбу потока, в коридоре 7÷8 м целесообразно использовать потокообразующее устройство со следующими параметрами: начальная скорость истечения струй $V_0 \leq 10 \text{ м/с}$; диаметр отверстия струеобразующих насадок $d_0 = 10 \div 25 \text{ мм}$; количество насадок $n = 4 \div 6$; расстояние между насадками $b_3 = 0,3 \div 0,6 \text{ м}$ [6]. Используя график, представленный на рис. 5, по выбранным ранее значениям V_0 и d_0 можно установить скорость привлекающего потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ на определенном удалении l от выходных отверстий потокообразующего устройства.

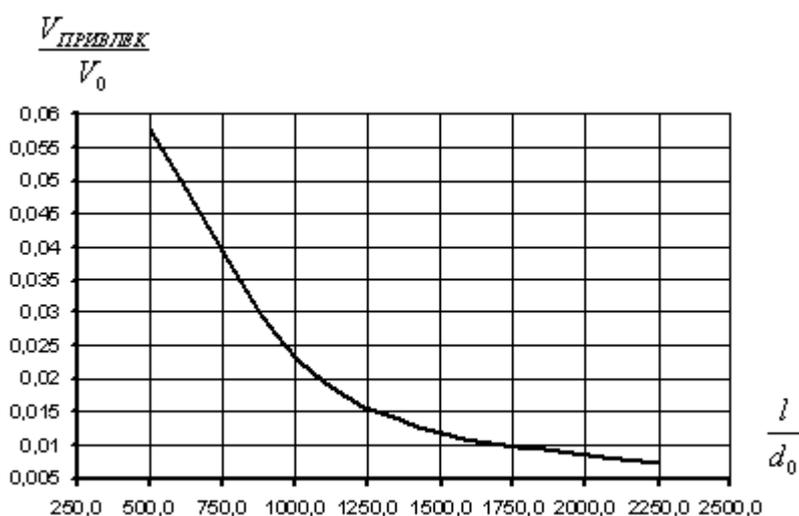


Рис. 5. Графическая зависимость изменения относительной скорости по длине привлекающего потока $\frac{V_{\text{ПРИВЛЕК}}}{V_0} = f\left(\frac{l}{d_0}\right)$

Начальную скорость истечения гидравлических струй V_0 определяют по формуле

$$V_0 = \mu \sqrt{2gH_H}, \quad (7)$$

а необходимый диаметр насадка d_0 при выбранном их количестве n находят, учитывая производительность насосной установки Q_{HV} потокообразующего устройства, из следующего выражения:

$$d_0 = 2 \sqrt{\frac{Q_{HV}}{n\mu\pi(2gH_H)^{1/2}}}, \quad (8)$$

где $\mu = 0,75 \div 0,9$ – коэффициент расхода струеобразующего насадка; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; H_H – напор у насадка, м; Q_{HV} – производительность насосной установки потокообразующего устройства, m^3/c ; n – количество струеобразующих насадок.

Гидравлический расчет клинкетов плоского затвора выполняется методом последовательных приближений. Задаваясь рядом относительных открытий клинкетного отверстия a/a_{max} , определяют значения привлекающих расходов $Q_{ПРИВЛЕК}$ по следующей формуле:

$$Q_{ПРИВЛЕК} = \mu_{КЛ} ab \sqrt{2gH}, \quad (9)$$

где $\mu_{КЛ}$ – безразмерный коэффициент расхода подтопленного клинкетного отверстия; a – величина (высота) открытия клинкетного отверстия, м; b – ширина клинкетного отверстия, м; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; H – величина напора на затвор со стороны верхнего бьефа, м. При работе нескольких клинкетов их расходы суммируются по каждому ряду. Величину коэффициента расхода подтопленного клинкетного отверстия $\mu_{КЛ}$ в зависимости от величины относительного открытия клинкета можно определить из представленного на рис. 6 графика, полученного на лабораторной модели.

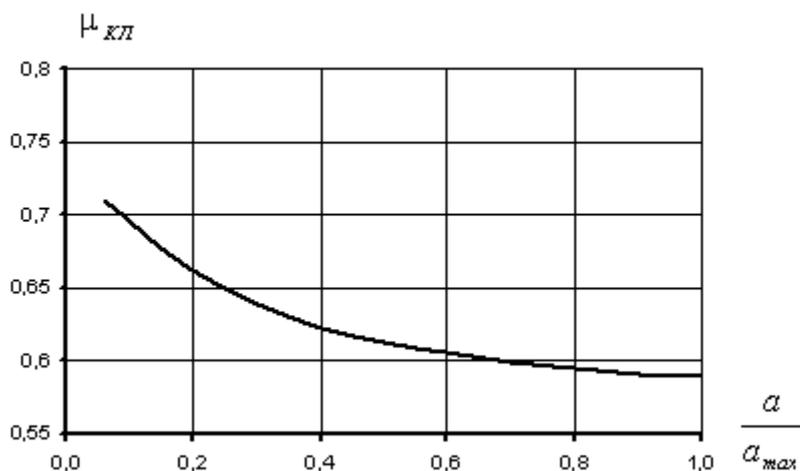


Рис. 6. График изменения коэффициента расхода клинкетного отверстия $\mu_{КЛ}$ в зависимости от его относительного открытия a/a_{max}

Пожалуй, основным недостатком конструктивной и технологической схем работы рассмотренных выше вариантов рыбоходов является наличие значительного числа маневровых затворов. Конструкция модернизированного шлюза включает одновременно и рабочий затвор, и потокообразующее устройство. Для ее упрощения целесообразно

рассмотреть вопрос об упразднении механического затвора и замене его на гидравлический затвор, выполненный с использованием уже существующего потокообразующего устройства.

«Гидравлический затвор» рыбопропускного сооружения предназначен для обеспечения свободного и беспрерывного прохода мигрантов через створ ПЭС по рыбоходному тракту одновременно в обоих направлениях.

Принцип работы «гидравлического затвора» основан на технологии использования гидравлических струй [7 – 9]. С их помощью создают противоток, нейтрализующий транзитное течение по рыбопропускному тракту, который оборудуют разделительной стенкой с вливным отверстием, обрамленным двумя направленными в противоположные стороны многониточными системами симметричных струеобразующих насадок (рис. 7) [10].

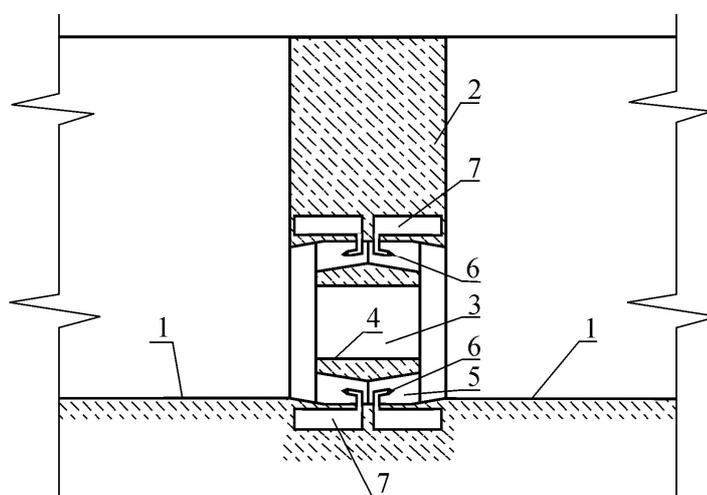


Рис. 7. Схема гидравлического затвора на разрезе: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальная поперечная разделительная стенка; 3 – вливное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – транзитные галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы

Из струеобразующих насадок навстречу транзитному течению подают гидравлические струи, скорость которых не превышает безопасных для рыбы значений. Струи формируют противоток транзитному течению, позволяющий погасить напор на ПЭС и обеспечить тем самым свободный проход рыбы через вливное отверстие как по направлению транзитного течения, так и против течения. В зависимости от изменений величины перепада уровней между бьефами противоток транзитному течению регулируют путем включения в работу необходимого числа k ниток струеобразующих насадок.

В данном случае скорость привлекающего рыбу транзитного потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ на входе во вливное отверстие определяют из следующего выражения:

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \varphi \frac{d_0^{\frac{2}{3}} b_3^{\frac{1}{3}} \cdot k \cdot n \cdot V_0}{9,514(h_3 - b_3)}, \quad (10)$$

где φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем; d_0 – диаметр струеобразующих насадок, м; b_3 – расстояние между осями гидравлических струй, м; k – целое число, характеризующее количество задействованных ниток струеобразующих насадок; n – количество струеобразующих насадок в ряду задействованной пи-

тающей нитки; V_0 – начальная скорость истечения гидравлических струй, м/с; h_3 – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м.

Величина безразмерного коэффициента φ , определяемого опытным путем, зависит от множества факторов: размеров вливающего отверстия, конфигурации расположения струеобразующих насадок, наличия попутных и встречных течений и др. Как показывают эксперименты [11], значение безразмерного коэффициента φ при решении с достаточной степенью точности большинства практических задач меняется в диапазоне $0,1 \div 4,0$.

В случае снижения перепада уровней между бьефами ПЭС до значения, не позволяющего создать привлекающее течение в рыбопропускном тракте, в работу включают струеобразующие насадки, направленные попутно транзитному потоку, и этим восстанавливают привлекающий режим течений в рыбопропускном тракте. При изменении перепада между уровнями бьефов на обратный гидравлические струи, прежде формировавшие привлекающее течение, начинают создавать противоток течению в обратном направлении. Скорость привлекающего потока $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$, как и для механического затвора, вычисляют с использованием выражений (7) и (8).

Таким образом, технология регулирования скоростного режима привлекающего течения в рыбопропускном тракте с помощью гидравлических струй позволяет при значительных приливно-отливных синусоидальных колебаниях уровней бьефов ПЭС и перепада между ними обеспечить благоприятные условия для прохода различных видов рыбы и других морских обитателей через створ ПЭС в обоих направлениях.

Однако при всех достоинствах последнего конструктивно-технологического решения оно по-прежнему подразумевает наличие эксплуатационной службы рыбохода, которая в отличие от предыдущих вариантов вместо управления затворами занимается управлением подачи гидравлических струй. В связи с этим целесообразно рассмотреть еще один вариант рыбохода, более материалоемкий, но не нуждающийся в постоянном обслуживании.

Многониточный рыбоход предназначен для обеспечения оптимальных условий прохода рыбы через створ ПЭС при меняющемся на ней уровненом режиме хотя бы в одной из своих ниток.

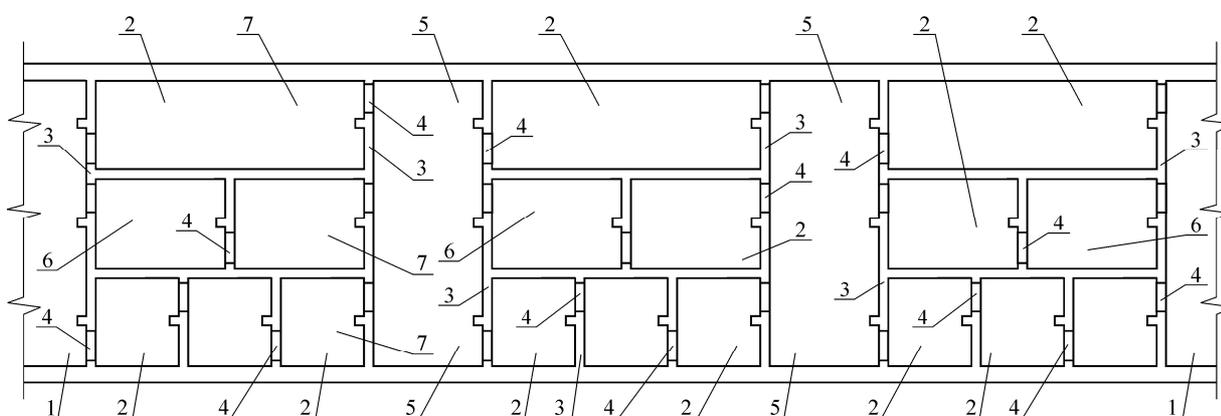


Рис. 8. Трехниточный рыбоход на виде в плане: 1 – рыбоходный тракт; 2 – камеры рыбохода; 3 – поперечные стенки; 4 – вливные отверстия; 5 – промежуточные бассейны; 6 – блоки рыбохода; 7 – нитки рыбохода

Рыбоход включает несколько смежных рыбоходных ниток, имеющих разное количество маршевых камер, объединенных в блоки. Между блоками устроены общие переходные камеры отдыха. Раздельные стенки между маршевыми камерами оборудованы вплавными отверстиями и продольными стенками, а боковые стены рыбохода – отбойными козырьками. На горизонтальном дне камер рыбохода равномерно по трассе движения рыбы размещены ориентиры-укрытия (рис. 8) [12]. Исходя из условия обеспечения пропуска рыбы в обоих направлениях, нитки рыбохода целесообразно выполнить симметричными относительно оси, проходящей через створ ПЭС [13].

Гидравлический расчет многониточного рыбохода выполняют с использованием тех же методик, изложенных выше применительно для одно- и двухниточного рыбохода.

Различное количество маршевых камер в нитках рыбопропускного блока позволяет при колебаниях уровней бьефов и перепада между ними хотя бы в одной из них распределить существующий на ПЭС перепад между бьефами на каскад локальных преодолимых рыбой перепадов и, тем самым, сформировать в этой нитке оптимальный для проходящих по ней мигрантов скоростной режим течений. Данное обстоятельство позволяет рыбе, ориентируясь на наиболее благоприятную по величине скорость привлекающего течения, самой выбирать оптимальную для себя траекторию движения по рыбоходу.

Благодаря симметричности выполнения и размещения конструктивно-функциональных элементов, рыбоход одинаково эффективно работает в обоих направлениях, т.е. обеспечивает проход рыбы как из моря в бассейн, так и обратно, из бассейна в море. При этом приливно-отливные морские течения через створ ПЭС гидробионты используют либо как реоградиентный привлекающий ориентир для движения против течения, либо как транспортное средство для перемещений с наименьшими энергетическими затратами по течению.

Таким образом, выполнение многониточного рыбохода с симметрично выполненными и размещенными конструктивно-функциональными элементами позволяет с минимальными энергетическими и эксплуатационными затратами одинаково эффективно организовать проход мигрантов через створ ПЭС в обоих направлениях в соответствии с их в данный момент предпочтениями.

Заключение. Рассмотренные конструктивно-технологические варианты адаптации речных рыбопропускных сооружений к условиям ПЭС позволяют наметить дальнейшие пути проведения мероприятий по обеспечению биологической проницаемости морских гидроузлов ПЭС. Все рассмотренные выше варианты рыбопропускных сооружений имеют практическую применимость. Выбор того или иного варианта рыбопропускного сооружения зависит от очень многих факторов, главные из которых следующие: видовой состав морских мигрантов, подлежащих пропуску через плотину ПЭС; гидрологические особенности узла ПЭС; график и амплитуда приливно-отливных течений; режимы работы ПЭС; нормативы на водосброс через рыбопропускное сооружение, бюджет на рыбоохранные мероприятия и др. Отечественный опыт проектирования рыбопропускных сооружений ПЭС (Мезенская и Тугурская ПЭС) говорит о целесообразности применения в составе рыбопропускных сооружений различных типов с соответствующими технологиями работы. Только в этом случае можно будет хотя бы частично восстановить миграционные пути морских обитателей в пределах их ареалов обитания.

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. 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.
3. А.с. 1587122 СССР, МПК⁵ E02B 8/08. Рыбоход / Б. С. Малеванчик, А. В. Иванов (СССР). – Заявитель и патентообладатель: Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект». – №4307958/23-15; Заявлено 21.09.87; Оpubл. 23.08.90, Бюл. № 31. – 4 с.
4. Богомолов, А. И. Гидравлика / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1965. – 632 с.
5. А.с. 1666632 СССР, МПК⁵ E02B 8/08. Рыбоход / Б. С. Малеванчик, А. В. Иванов (СССР). – Заявитель и патентообладатель: Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект». – №4714965/15; Заявлено 04.07.89; Оpubл. 30.07.91, Бюл. № 28. – 5 с.
6. Дмитриев, Ю. Я. Гидравлические ускорители на лесосплаве / Ю. Я. Дмитриев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 200 с.
7. Пат. 2341617 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Конструкция рыбопропускного отверстия рыбохода для привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О. Г. Введенский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Марийский государственный университет». – №2007110108/03; Заявлено 19.03.2007; Оpubл. 20.12.2008, Бюл. № 35. – 7 с.
8. Введенский, О. Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла / О. Г. Введенский // Вестник МарГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – №1. – С. 59 – 68.
9. Введенский, О. Г. Конструкции рыбоходов с противотечением на основе экологической технологии использования гидравлических струй / О. Г. Введенский // Инженерная экология. – 2010. – №3. – С. 17 – 30.
10. Введенский, О. Г. Использование «гидравлического затвора» для обеспечения пропуска рыб через приливную электростанцию / О. Г. Введенский, А. В. Иванов // Гидротехническое строительство. – 2009. – №12. – С. 41 – 45.
11. Введенский, О. Г. Эксперименты по исследованию параллельно-струйных течений во встречном потоке тех же физических свойств / О. Г. Введенский; Марийск. гос. пед. ин-т. – М., 2004. – 38с. – Деп. в ВИНТИ 01.03.04; № 356.
12. А.с. 1557249 СССР, МПК⁵ E02B 8/08. Рыбоход / Б. С. Малеванчик, А. В. Иванов (СССР). – Заявитель и патентообладатель: Всесоюзный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект». – №4714965/23-15; Заявлено 29.12.87; Оpubл. 15.04.90, Бюл. № 14. – 4 с.
13. Пат. 84866 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбоход ПЭС / А. В. Иванов, О. Г. Введенский, В. Г. Гаврилов, И. В. Гудков, Б. Л. Историк, Г. Л. Мажбиц, С. Н. Савченков, И. Н. Усачев, Г. Г. Филиппов, В. П. Халаджиев, Ю. Б. Шполянский (РФ). – Заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «ТРИВН». – № 2009107859/22; Заявлено 05.03.2009; Оpubл. 20.07.2009, Бюл. № 20. – 3 с.

Статья поступила в редакцию 29.09.10.

A. V. Ivanov, O. G. Vvedensky, E. F. Sultanova

STRUCTURES AND CONDITIONS OF WORK OF FISH FACILITIES FOR TIDAL POWER STATIONS

The specificity of work conditions of fish facilities for tidal electric power stations in comparison with hydraulic structures of the same purpose for the river waterworks facilities is analyzed. Different versions of modernization of active fish-pass constructions and fish sluices on the basis of operation cycles of the tidal power station and peculiarities of behavior of different representatives of sea ichthyofauna are examined. New constructions and new modes of the work of fish facilities are offered.

Key words: *waterworks facility, fish pass, fish sluice, tidal electric power station, nature protection measures*

ИВАНОВ Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, инженер, главный специалист по рыбозащитным сооружениям ОАО «Институт Гидропроект». Область научных интересов – разработка и модернизация рыбозащитных и рыбопропускных сооружений. Автор более 70 публикаций, включая две монографии и 40 патентов.

E-mail: rzu01@yandex.ru

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, машиноведения и технологии Марийского государственного университета. Область научных интересов – разработка технологий и создание технических устройств рыбозащиты и рыбопропуска через плотины гидроузлов. Автор 60 публикаций, включая 32 патента.

E-mail: vedo.67@mail.ru

СУЛТАНОВА Екатерина Фаритовна – магистр, инженер Центра приливной энергетики ОАО «НИИЭС». Область научных интересов – совершенствование конструкций рыбопропускных сооружений для приливных электростанций.

E-mail: katerinasf84@mail.ru