

# ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ МИГРАЦИОННЫХ ПУТЕЙ РЫБ ЧЕРЕЗ ПЛОТИНЫ ПРИЛИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**О.Г. Введенский<sup>1</sup>, Е.Ф. Султанова<sup>2</sup>,  
А.В. Иванов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»  
*пл. Ленина, 1, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424001*

<sup>2</sup>ОАО «НИИЭС»  
*Строительный пр-д, 7а, Москва, Россия, 125362*

<sup>3</sup>ОАО «Институт Гидропроект»  
*Волоколамское шоссе, 2, Москва, Россия, 125993*

Рассмотрено значение миграций рыб в их жизни и экологии. Дана оценка современного состояния миграционных путей как морских, так и речных видов рыб. Намечены пути решения задачи по восстановлению миграционных путей рыб через плотины приливных электростанций. Для этих целей предложен вариант модернизации рыбопропускного шлюза применительно к приливной электростанции на основе нового способа использования гидравлических струй для восстановления миграционных путей рыб.

**Ключевые слова:** миграционные пути рыб, рыбопропуск, плотина гидроузла, приливная электростанция, рыбопропускной шлюз, гидравлические струи.

В течение всего жизненного цикла многие виды рыб совершают наследственно закрепленные передвижения на значительные расстояния к местам размножения, зимовки или нагула. Эти миграции характерны не только для проходных и полупроходных рыб, но и для туводных (жилых) видов рыб. Адаптивное значение таких миграций заключается в обеспечении расселения видов, устойчивом поддержании ареала их обитания и использовании его трофической части [3; 4; 10].

Нерестовые миграции наиболее присущи проходным рыбам, которые кормятся в море, но для размножения входят в реки. Эти анадромные миграции свойственны главным образом рыбам Северного полушария: сельдевым, лососевым, осетровым и др. В то же время некоторые виды бычков, речной угорь, тропические виды сомовых нагуливаются в пресных водах, а для размножения уходят в море, совершая катадромные миграции. Многие морские рыбы, например, камбалы и пинагор подходят на нерест к берегам, другие же, такие как палтус и морской окунь, наоборот, от берегов уходят на глубину. Относительно непротяжен-

ные нерестовые миграции совершают также пресноводные и полупроходные виды рыб, в частности вобла, судак, сазан, лещ, жерех, рыбец. У туводных видов (окунь, щука, карась и др.) нерестовые миграции совсем незначительны, но и они имеют важное значение в экологии данного вида рыб [8].

Нагульные миграции связаны с перемещением рыб на богатые кормом пастбища. Проходные рыбы для откорма уходят в открытое море (семга, дальневосточные лососи) или в приустьевые солоноватые воды (сиги, корюшка, некоторые карповые и осетровые). Морские пелагические рыбы умеренных широт (сельдь, сардина, скумбрия) мигрируют в северные широты в районы массового развития планктона. Придонные рыбы (треска, пикша, палтус и др.) летом от мест нереста у Лофотенских островов и Кольского полуострова перемещаются в богатые донными организмами восточные части Баренцева моря.

Важнейшей разновидностью нагульных миграций является скат молоди, обеспечивающий расселение вида с речных нерестилищ по всей акватории водного объекта, включая ее как пресноводные, так и морские участки.

Зимовальные миграции совершают большинство обитателей главным образом умеренных и высоких широт. Так, зимой камбала и другие донные рыбы мигрируют в глубинные более теплые воды, хамса после нагула в мелководном Азовском море отходит в более глубокое Черное море. Лещ, сом и некоторые осетровые рыбы южных рек России на зиму скапливаются в «зимовальных ямах» устьев рек.

Таким образом, сезонные миграции рыб являются важнейшими этапами их жизненного цикла и экологии.

Гидротехническое строительство, осуществляемое на реках и прибрежных морских акваториях, ввиду нарушения исторически сложившиеся миграционных путей рыб, сокращения ареалов обитания, уменьшения площадей нерестилищ, ухудшения качества воды, изменения гидравлической обстановки в водоемах, сокращения кормовой базы и ухудшения условий естественного воспроизводства водных биологических ресурсов не может не сказываться отрицательно на всех сторонах экологии рыб. Как следствие этих нарушений — резкое сокращение или полное исчезновение отдельных, преимущественно ценных видов морских и речных рыб [4]. Как известно, видовое разнообразие, обусловленное длительным процессом эволюции, составляет основу целостности экосистем, а значит, и биосферы. Выпадение же нескольких, а иногда даже одного «малоценного» вида ведет к нарушению этой целостности, разрушению продуктивных экосистем. По мере того как естественные сообщества становятся менее разнообразными, их сопротивляемость антропогенному воздействию и продуктивность снижаются [3; 4; 7; 8].

В данной ситуации на водоемах, подверженных отрицательному техногенному воздействию, нельзя полностью полагаться на искусственное компенсационное рыбозаведение, 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. Происхо-

дит 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 превращается для популяции и для вида в серьезный фактор риска, значительно снижает способность к защите от антропогенных воздействий окружающей среды [3; 8].

Таким образом, для того, чтобы сохранить видовое разнообразие рыб, а отдельные их виды от полного исчезновения или вырождения, необходимо восстанавливать пути естественных миграций рыб.

В практике отечественного и зарубежного гидростроительства для восстановления миграционных путей рыб применяют в основном рыбоходные или рыбоподъемные сооружения, в частности, рыбоходы и рыбопропускные шлюзы [9; 10]. Все они ориентированы в основном на восстановление путей нерестовых миграций на реках и внутренних водоемах, т.е. когда требуется обеспечить пропуск производителей вверх по течению реки, из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф. В то же время, помимо речных гидроэлектростанций, все большее развитие в последнее время получают морские приливные электростанции (ПЭС). При этом особенности восстановления миграционных путей через них имеют свою специфику.

Основное назначение ПЭС — выработка электрической энергии с использованием энергии морских приливов. Для этой цели плотиной и гидроагрегатным блоком ПЭС отсекают морской залив от остальной части морской акватории, образуя бассейн. Приливно-отливный характер морских течений в створе ПЭС и, собственно, принцип ее работы подразумевают то, что бьефы гидроузла периодически меняются местами, т.е. во время прилива уровень воды моря выше уровня воды бассейна и, наоборот, во время отлива уровень воды моря ниже уровня воды бассейна. Это обеспечивает периодичность течения воды через створ в противоположных направлениях, соответственно из моря в бассейн и из бассейна в море. Такой режим работы ПЭС существенно сказывается на характере нерестовых, нагульных и зимовальных миграций рыб, а также перемещений других морских обитателей в прилегающей к ПЭС морской акватории. Совершая все эти виды миграций из моря в залив и реку или, наоборот, из залива в море, морские обитатели должны пройти через створ ПЭС.

Для решения задачи восстановления врожденных и жизненно важных перемещений мигрантов в составе гидроузла следует предусмотреть комплекс рыбопропускных сооружений. При этом они в отличие от рыбопропуска через речные гидроузлы на ПЭС необходимо учитывать некоторые особенности. Основной из них является то, что через створ ПЭС морские обитатели совершают преимущественно зимовальные, нагульные или преднерестовые миграции, во время которых они ведут главным образом морской образ жизни. Поэтому мигранты перемещаются в необходимом для них направлении, используя особенности приливно-отливного характера морских течений, т.е. могут двигаться как им навстречу, так и использовать их в качестве транспортного средства. При этом приоритетными

для них являются не направление морских течений, а необходимость достижения участков акватории моря с определенными свойствами (географическое положение, кормность участка, его соленость, температура воды, глубина, рельеф и состав дна, «запах родной реки» и другие качественные характеристики воды и ее течения). Так, большинство типично морских обитателей используют попутные течения, а нерестовые мигранты перемещаются преимущественно навстречу течению, как правило, по берегам морских заливов и устьев рек. Например, тихоокеанские лососи, перемещаясь за пищей, доходят до устьев рек северо-тихоокеанского побережья США, Канады, Аляски и всего дальневосточного побережья Азии до Южной Кореи и Японии. Здесь их стада разделяются. Половозрелые особи начинают нерестовую миграцию в родную реку. Те же, которые не идут на нерест в этом году, после откорма с наступлением осеннего похолодания воды начинают обратную миграцию на юг [3].

Поскольку мигранты используют приливно-отливные морские течения через створ ПЭС не только как реоградиентный привлекающий ориентир для движения против течения, но и как транспортное средство, перемещающее их с наименьшими энергетическими затратами, им нужно создать условия для беспрепятственного прохода в обоих направлениях, как из моря в бассейн, так и обратно из бассейна в море. При этом скорость течения должна быть безопасна и преодолима для мигрантов. Необходимо отметить также, что колебания уровней бьефов ПЭС имеют синусоидальный характер со значительно большей амплитудой, чем на речных гидроузлах. Так, колебания бьефов на ПЭС Кольского п-ова составляют 7—9 м. В результате скоростной режим привлекающего течения по рыбопропускному сооружению постоянно меняется, что может существенно сказаться на условиях прохода по нему мигрантов.

В связи с этим задача по обеспечению пропуска морских обитателей через створ ПЭС является несоизмеримо более многофакторной, чем задача пропуска производителей на нерест через плотины речных гидроузлов.

Для адаптации существующих конструкций рыбопропускных сооружений к условиям, характерным для ПЭС, необходима их существенная модернизация, позволяющая оперативно откликаться на изменение приливно-отливной гидрологической обстановки путем регулирования оптимального привлекающего рыб скоростного режима течения воды в рыбопропускном тракте.

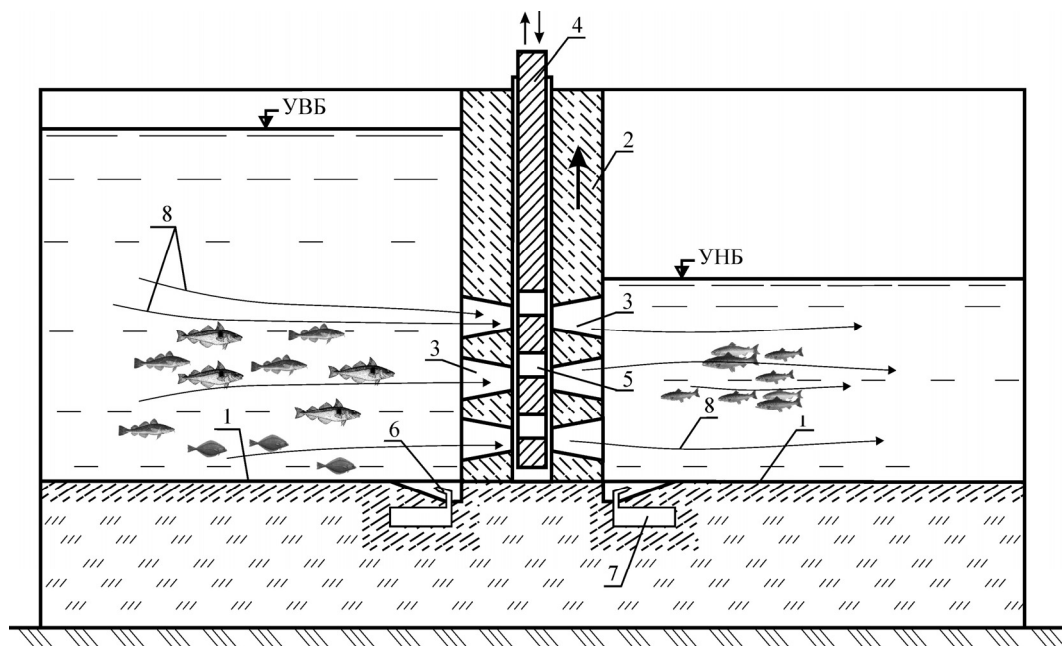
При выборе типа рыбопропускного сооружения, подлежащего адаптации для ПЭС, целесообразно учитывать следующее.

С точки зрения его конструктивно-эксплуатационного решения более простой в изготовлении и эксплуатации рыбоход имеет перед рыбопропускным шлюзом существенное преимущество. Однако рыбоход, по которому самостоятельно движутся сильные пловцы, предназначен преимущественно для лососевых видов рыб. В морских же условиях через створ ПЭС должны проходить рыбы значительно большего видового разнообразия, совершающие как нерестовые, так и различные виды нагульных миграций. Для их пропуска рекомендуется применять более универсальный рыбопропускной шлюз [9]. Однако шлюз обеспечивает пропуск рыб только периодически при постоянном их привлечении, в отличие от рыбохода, по которому рыбы могут двигаться постоянно.

В связи с этим при адаптации рыбопропускного сооружения к условиям ПЭС целесообразно использовать лучшие качества обоих типов рыбопропускных сооружений, а именно на базе шлюза организовать непрерывное движение мигрантов в обоих направлениях.

**Модернизация рыбопропускного шлюза.** Рыбопропускной шлюз для речного гидроузла состоит из рыбопропускного тракта, разделенного двумя рабочими затворами на рыбонакопитель, шлюзовую камеру и выходной лоток. Рабочие затворы выполнены с возможностью пропуска и регулирования транзитного привлекающего рыб течения.

Поскольку в отличие от речных гидроузлов приливно-отливный режим работы ПЭС характеризуется периодическим сравнением уровней воды в бьефах (море и бассейне), 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. В связи с тем, что в тракте необходимо создать условия для прохода рыб в обоих направлениях, шлюз целесообразно выполнить симметричным, т.е. расположить рабочий затвор посередине. Учитывая, что при сравнении уровней бьефов скоростной режим транзитного течения снизится до не привлекающих рыб значений, рабочий затвор целесообразно дооборудовать водогоном, обеспечивающим в рыбопропускном тракте течение с привлекающими рыб скоростями (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема механического рыбопропускного шлюза ПЭС на разрезе:

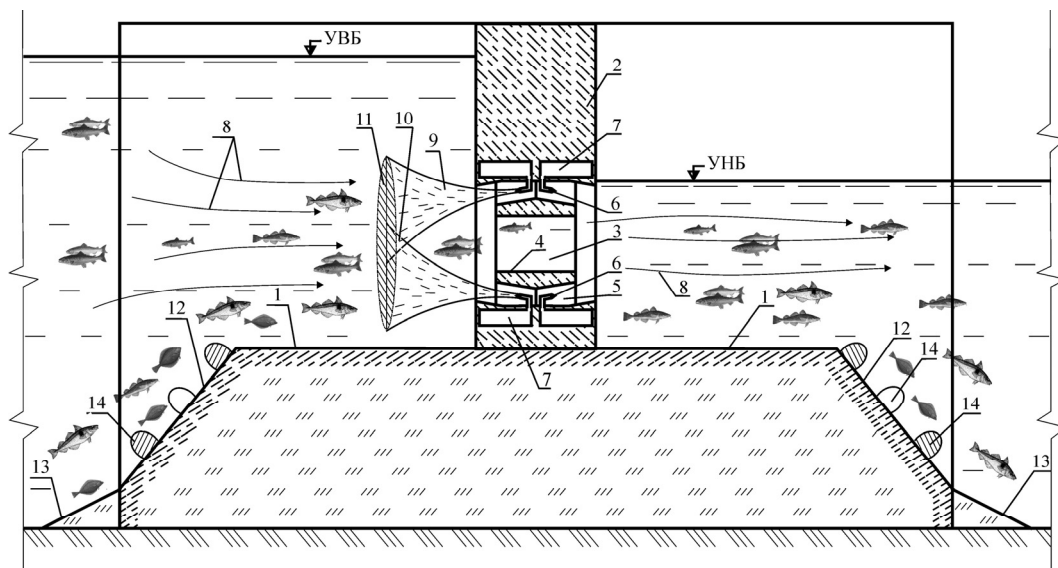
- 1 — рыбоходный тракт; 2 — рабочий затвор; 3 — клинкет; 4 — регулирующая штока;
- 5 — водопропускные отверстия регулирующей штоки; 6 — струеобразующие насадки водогоночного устройства; 7 — напорные коллекторы;
- 8 — привлекающий (транзитный) поток

Рыбопропускной шлюз ПЭС работает следующим образом. При наличии на ПЭС перепада между бьефами непреодолимого для рыб рабочий затвор закрыт и через него обеспечивается пропуск привлекающего течения. При этом в рыбоходном тракте по обе стороны от затвора происходит накопление мигрантов, как производителей, идущих на нерест (в данный момент в нижнем бьефе), так и покатников (в верхнем бьефе). При снижении перепада между уровнями до преодолимых рыбой значений рабочий затвор поднимается, и накопившиеся в тракте мигранты проходят в другой бьеф. Когда уровни сравниваются и течение по тракту прекращается, включают водогон и восстанавливают транзитное течение с привлекающими производителей и сносящими покатников скоростями. Во время следующей фазы приливно-отливного уровненного режима и возрастания перепада между бьефами рабочий затвор закрывают и обеспечивают пропуск через него привлекающего течения в противоположном направлении.

Рассмотренная конструкция шлюза с рабочим затвором имеет один существенный недостаток. Наличие самого рабочего затвора с блоком регулирования пропускаемого через него привлекающего течения воды подразумевает цикличность работы сооружения. При этом период накопления рыб значительно продолжительнее, чем период их пропуска, т.е. свободного прохода по рыбопропускному тракту при поднятом затворе. Длительное же пребывание рыб в рыбонакопителе может негативно сказаться на физиологическом состоянии мигрантов и эффективности их пропуска через створ ПЭС в целом. Устранить данный недостаток можно, если заменить механический затвор гидравлическим, который позволит привлекать, а также свободно и непрерывно пропускать мигрантов через створ ПЭС одновременно в обоих направлениях [2].

Принцип работы гидравлического затвора основан на технологии использования гидравлических струй [1; 5; 6]. Для этого в рыбопропускном шлюзе вместо рабочего затвора устанавливают поперечную вертикальную перегородку. В ней выполняют вливное отверстие прямоугольной формы, которое обрамляют симметричными потокоформирующими стабилизирующими фартуками. Под прикрытием каждого из них в сквозных галереях размещают соответствующие симметричные ряды многониточной системы струеобразующих насадков, которые располагают параллельно поверхности фартука и направляют в противоположные стороны. Насадки запитывают от напорного коллектора, размещенного внутри поперечной перегородки (рис. 2).

Гидравлический затвор работает следующим образом. В зависимости от приливно-отливной фазы в качестве верхнего бьефа могут выступать во время прилива море или во время отлива бассейн ПЭС. При образовании перепада между бьефами гидроузла ПЭС включают одну из ниток системы струеобразующих насадков, направленных в сторону верхнего бьефа и образующих два ряда параллельных гидравлических струй. Взаимодействуя между собой, струи создают противоток, который совместно с транзитным течением формируют перед вливным отверстием со стороны верхнего бьефа зону частично равных давлений. Транзитное течение обусловлено перепадом между бьефами, а зона частично равных давлений обеспечивает беспрепятственный проход рыб и других морских обитателей



**Рис. 2.** Схема гидравлического затвора на разрезе:

- 1 — рыбоходный тракт; 2 — вертикальная поперечная разделительная стенка;
- 3 — впускное отверстие; 4 — потокоформирующий фартук; 5 — транзитные галереи;
- 6 — струеобразующие насадки; 7 — напорные коллекторы; 8 — привлекающий (транзитный) поток; 9 — гидравлические струи; 10 — противоток; 11 — зона «частично равных давлений»; 12 — наклонный пандус; 13 — наклонный пандус;
- 14 — ориентиры и убежища

через створ ПЭС в обоих направлениях. Изменяя начальные скорости истечения гидравлических струй из струеобразующих насадков, можно регулировать величину противотока, а значит, и устанавливать оптимальное значение скорости транзитного течения. Транзитное течение должно обеспечить, с одной стороны, покатные миграции рыб из открытого моря на прибрежные участки бассейна или в зависимости от приливно-отливной фазы обратно — от берега в море. С другой стороны, транзитное течение будет стимулировать привлечение и пропуск через плотину ПЭС идущих против течения из моря в реки на нерест проходных видов рыб. Наличие в конструкции впускного отверстия потокоформирующего фартука, защищающего мигрантов от высокоскоростных участков гидравлических струй, позволит использовать гидравлические струи с начальной скоростью истечения достигающей 30 м/с. В данном случае противоток на выходе из эжектора транзитной галереи будет иметь осевую скорость, не превышающую 10 м/с, что гарантирует безопасность прохождения рыбами впускного отверстия рыбопропускного тракта. Это позволяет устанавливать заданную скорость транзитного потока при перепаде уровней бьефов до 1,5 м. В случае дальнейшего увеличения перепада между уровнями бьефов задействуют вторую, а при необходимости и третью нитку системы струеобразующих насадков, создавая больший по значению напор противотока. Такой режим работы гидравлического затвора может гарантировать оптимальную скорость транзитного течения при перепаде между уровнями бьефов, достигающем 5 м.

При падении уровня верхнего бьефа, т.е. с началом перехода фазы прилива на отлив или наоборот, происходит и смена бьефов. В данном случае сначала от-

ключают одну, затем вторую и далее третью нитку системы струеобразующих насадков, поддерживая оптимальную скорость транзитного течения и обеспечивая тем самым пропуск мигрантов в обоих направлениях. При сравнении бьефов включают одну из ниток системы струеобразующих насадков, направленных в противоположную сторону, и тем самым организуют, пропуск покатников в противоположную сторону по сравнению с предыдущим случаем. Далее в зависимости от стадии развития приливно-отливной фазы весь цикл работы гидравлического затвора повторяют.

Предлагаемая конструкция гидравлического затвора может эффективно работать и в случае снижения перепада уровней между бьефами ПЭС до значения, не позволяющего создать привлекающее течение в рыбопропускном тракте. В этом случае в работу включают насадки, направленные спутно транзитному потоку по направлению приоритетной миграции рыб.

Возможность с помощью технологии использования гидравлических струй уже только в одном вливном отверстии компенсировать значительные напоры на гидроузле позволяет выполнить рыбопропускное сооружение только с одной поперечной раздельной стенкой и с одним вливным отверстием, перекрытым свободно рыбопроницаемым «гидравлическим затвором» с условиями близких к естественным. А это, в свою очередь, позволяет:

— значительно сократить протяженность и материалоемкость рыбопропускного тракта;

— обеспечить возможность прохода по новому рыбопропускному сооружению не только проходных, но и морских аборигенных видов рыб, а также и других морских обитателей;

— беспрерывно пропускать мигрантов через створ гидроузла в противоположных направлениях;

— полностью привязать работу рыбопропускного сооружения к циклическому изменению уровней бьефов ПЭС.

Таким образом, предлагаемая технология регулирования скоростного режима транзитного течения в рыбопропускном тракте позволяет при значительных приливно-отливных синусоидальных колебаниях уровней бьефов ПЭС и перепада между ними решить задачу по восстановлению миграционных путей рыб через плотину ПЭС и обеспечить благоприятные условия для прохода различных видов рыб и других морских обитателей через ее створ в обоих направлениях [2].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Введенский О.Г.* Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений // Гидротехническое строительство. — 2009. — № 1. — С. 21—27.
- [2] *Введенский О.Г., Иванов А.В.* Использование «гидравлического затвора» для обеспечения пропуска рыб через приливную электростанцию // Гидротехническое строительство. — 2009. — № 12. — С. 41—45.
- [3] Жизнь животных. Т. 4: Рыбы / Гл. ред. В.Е. Соколов / Под. ред. Т.Е. Рассы. — М.: Провсвещение, 1983.



- [4] Юшманов О.Л., Шабанов В.В., Галямин И.Г. и др. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. — М.: Агропромиздат, 1985.
- [5] Пат. 2335600 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф и рыбобход его осуществляющий / О.Г. Введенский (РФ) // Бюллетень изобретений. — 2008. — № 28.
- [6] Пат. 2342485 РФ, МПК<sup>8</sup> E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О.Г. Введенский (РФ) // Бюллетень изобретений. — 2008. — № 36.
- [7] Павлов Д.С., Нездолий В.К., Ходоревская Р.П. и др. Покатная миграция молоди рыб в реках Волга и Или. — М.: Наука, 1981.
- [8] Павлов Д.С., Савваитова К.А., Соколов Л.И. и др. Редкие и исчезающие животные. Рыбы: Справ. пособие. — М.: Высшая школа, 1994.
- [9] 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.
- [10] Шкура В.Н. Рыбопропускные сооружения: В 2 ч. — Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиоративная акад., 1998.

## **THE SOLUTION OF A PROBLEM OF REGENERATION OF MIGRATION PATHS OF FISHES THROUGH DIKES OF TIDAL POWER STATIONS**

**O.G. Vvedenskiy<sup>1</sup>, E.F. Sultanova<sup>2</sup>,  
A.V. Ivanov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mari state university

*pl. Lenina, 1, Yoshcar-Ola, Respublika Mariy Ehl, Russia, 424001*

<sup>2</sup>NIIES JSC, Moscow

*Stroitelnyy proyezd, 7a, Moscow, Russia, 125362*

<sup>3</sup>JSC Institute Hydroproject

*Volokolamskoye shosse, 2, Moscow, Russia, 125993*

Value of migrations of fishes in their life and ecology is considered. The estimation of a current state of migratory ways both sea and river kinds of fishes is given. Ways the problem decision on restoration of migratory ways of fishes through dams of tidal power stations are planned. For these purposes the modernization variant a dropping fishes sluice with reference to tidal power station on the basis of a new way of use of hydraulic streams for restoration of migratory ways of fishes is offered.

**Key words:** migratory ways of fishes, the dropping of fishes, dam of the waterworks facility, tidal power station, fish-pass sluice, hydraulic stream.