

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 556.182 + 627.882 + 532.522

О. Г. Введенский

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЫБОХОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ БЬЕФОВ ГИДРОУЗЛА

Обсуждается решение задач, связанных с повышением эффективности пропуска рыбы через гидроузлы с циклическими колебаниями уровней бьефов. Для этих целей внесены изменения в конструкции рыбоходов на основе технологии использования гидравлических струй. Представлено математическое обоснование различных вариантов работы предлагаемых конструкций рыбоходов в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла. Приведены краткие результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: гидроузел, циклическое колебание бьефов, рыбоход, повышение эффективности рыбопропуска, гидроструи, экологическая технология, природоохранные мероприятия, природопользование.

Введение. Для речных гидроузлов, как известно, характерны сезонные, недельные и суточные колебания бьефов. Это связано в первую очередь с изменением гидрологической обстановки на реках (паводок, обмеление в засуху, повышение горизонтов воды в период ливневых дождей и др.), а также с недельной и суточной выработкой (расходом) электроэнергии. Помимо того, существуют и приливные электростанции (ПЭС), которые вырабатывают электрическую энергию с использованием механической энергии морских приливов. С этой целью от моря плотиной отсекают залив, приливно-отливный водообмен в котором обеспечивают, пропуская воду через агрегаты ПЭС. 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, наоборот, из бассейна в море.

Такой режим работы гидроузлов с характерными циклическими изменениями уровней бьефов существенно сказывается на характере и возможностях обеспечения нагульных и нерестовых миграций водных биологических ресурсов речных бассейнов, рек, впадающих в бассейн (залив) ПЭС, а также прилегающей к ПЭС морской акватории.

Применяемые в практике отечественного и зарубежного гидростроительства для восстановления миграционных путей на реках и в заливах ПЭС рыбопропускные сооружения (рыбоходы и рыбопропускные шлюзы) при изменении уровней бьефов гидроузла неспособны сохранить эффективность рыбопропуска [1]. Так, например, при увеличении уровня верхнего бьефа или снижении уровня нижнего бьефа гидроузла увеличивается скорость в рыбоходном тракте, а также во вливных отверстиях рыбохода. Это резко снижает эффективность рыбопропуска вплоть до нулевого значения. При снижении же уровня верхнего бьефа гидроузла или же при увеличении уровня нижнего бьефа уменьшается уровень заполнения рыбохода водой и значительно убавляется выделение привлекающего рыбу шлейфа в нижнем бьефе. Данные обстоятельства очень негативно влияют на эффективность рыбопропуска [2]. В условиях же ПЭС, где колебания уровней бьефов (до 7 м), по сравнению с речными гидроузлами, гораздо значительнее, рыбоходы оборудуют дополнительными маневренными затворами. Но, несмотря на всю сложность эксплуатации таких рыбоходных сооружений и дороговизну их конструкций, эффективность рыбопропуска остается крайне низкой. Подобные сооружения эффективно работают лишь за сутки 3÷4 часа, остальное время рыбоход работает только на привлечение или же осуществляет пропуск в верхний бьеф накопившейся в рыбоходе рыбы.

Рыбопропускные шлюзы, более дорогие сооружения и имеющие ряд существенных недостатков по сравнению с рыбоходами, более или менее справляются с колебаниями речных гидроузлов [2]. Чего нельзя сказать об их работе в условиях приливных электростанций. Блоки питания рыбопропускных шлюзов эффективно работают по привлечению и пропуску рыбы в верхний бьеф также только лишь 3÷4 часа в сутки. Кроме того, в условиях морских приливо-отливных течений рыбы как проходных видов, так и морских жилых видов, должны мигрировать через створ ПЭС в обоих направлениях. В этом случае требуется строительство в створе плотины ПЭС двух рыбопропускных сооружений, ориентированных на пропуск по одному из двух направлений: из моря в бассейн ПЭС или из бассейна в море. Это ещё больше усложнит и удорожит технологию пропуска рыбы через плотину ПЭС.

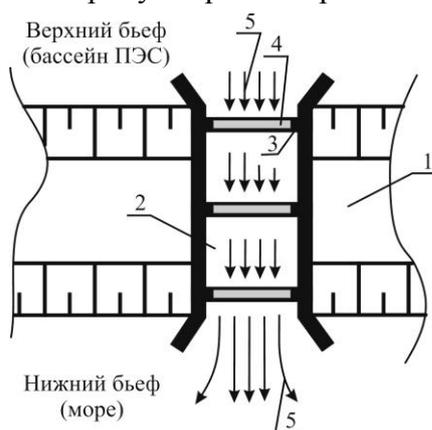


Рис. 1. Схема на виде в плане рыбохода на основе технологии гидравлических струй: 1 – плотина гидроузла; 2 – рыбоходный тракт; 3 – вертикальные поперечные разделительные стенки; 4 – вливные отверстия; 5 – транзитный привлекающий рыбу поток

Цель работы – повышение эффективности пропуска рыбы через гидроузлы с циклическими колебаниями уровней бьефов путём внесения изменений в конструкции рыбоходных сооружений, использующих в своей работе гидравлические струи [3, 4]. Рыбоходы на основе технологии нейтрализации транзитного течения в рыбоходном тракте гидравлическими струями выполняют по типу классических рыбоходов [5–10]. Его размещают в створе плотины гидроузла и выполняют в виде наклонного или ступенчатого водосливного лотка – рыбоходного тракта – с поперечными вертикальными разделительными стенками, делящими рыбоход на камеры (рис. 1).

По периметру вливных отверстий со стороны верхнего бьефа устанавливают систему струеобразующих насадок, направленных так же в сторону верхнего бьефа. В отличие от предшествующих конструкций рыбоходов такого типа струеобразующие

насадки имеют независимый подвод питания, образуя многониточную систему струеобразующих насадок (рис. 2).

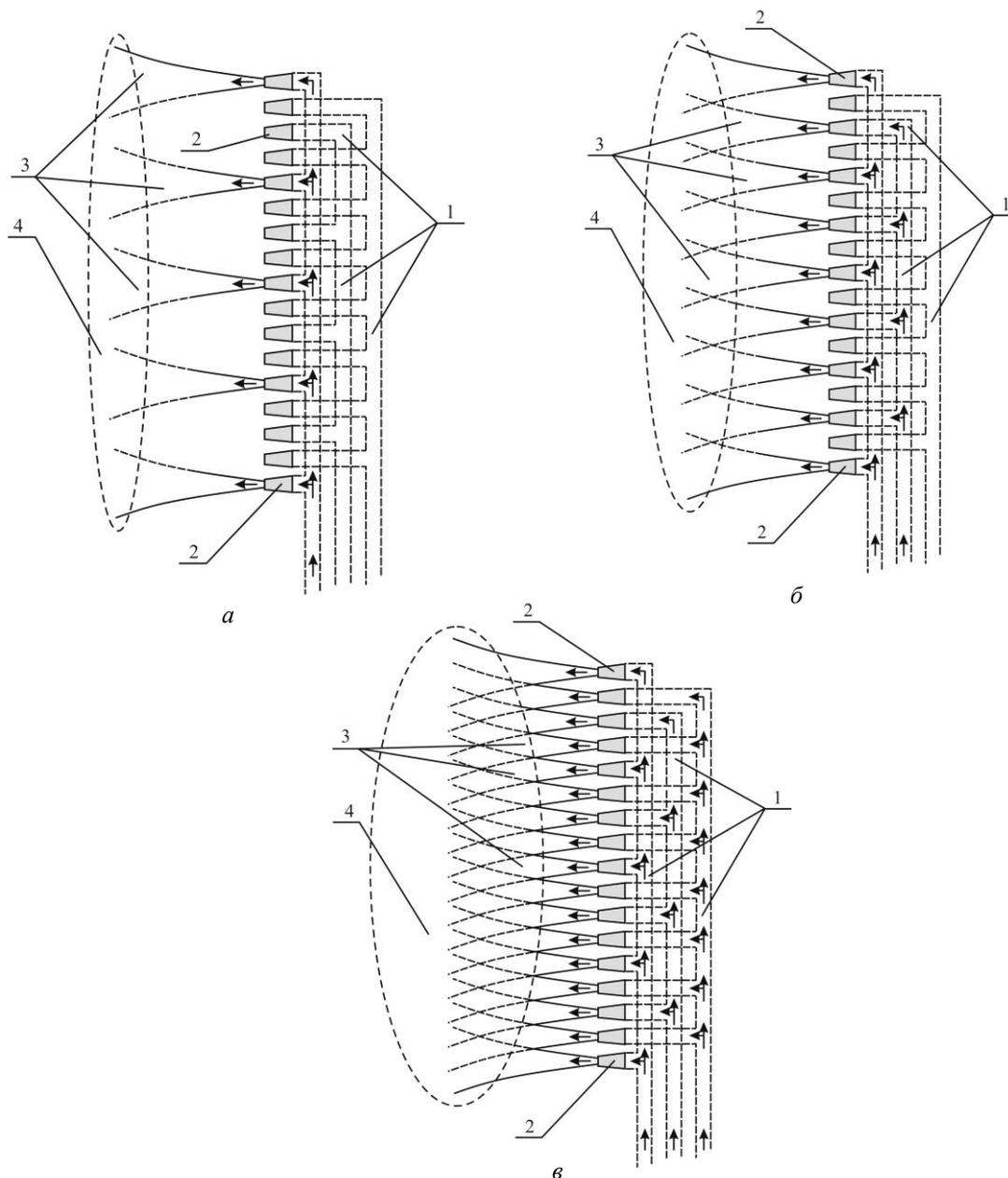


Рис. 2. Схема питания струеобразующих насадок: 1 – напорные коллекторы; 2 – струеобразующие насадки; 3 – суммарный поток; 4 – зона «частично равных давлений»; а – задействована одна нитка питания струеобразующих насадок; б – задействованы две нитки питания струеобразующих насадок; в – задействованы три нитки питания струеобразующих насадок

Помимо того, вливное отверстие обрамляют потокоформирующим фартуком (рис. 3). Под его прикрытием в галереях и размещают многониточную систему струеобразующих насадок. Потокоформирующий фартук позволит избежать контакта мигрантов с высокоскоростными участками гидравлических струй, проходящих через вливное отверстие.

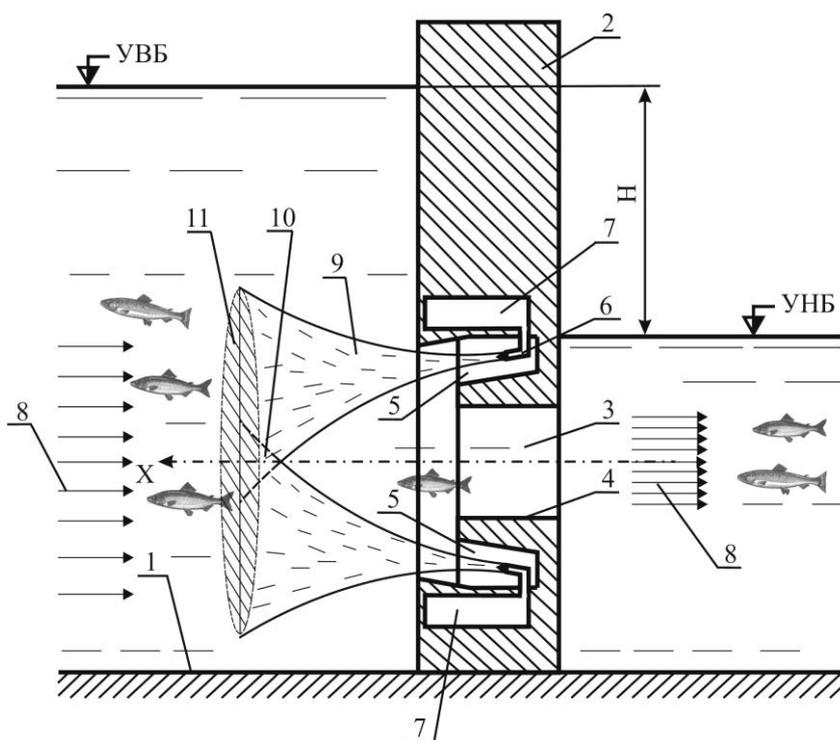


Рис. 3. Схема конструкции вливного отверстия с глухой галереей, продольный разрез: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальная поперечная разделительная стенка; 3 – вливное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – глухие галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы; 8 – привлекающий поток; 9 – гидравлические струи; 10 – суммарный поток; 11 – зона «частично равных давлений»

Аналитическая модель предлагаемого технического решения. Гидравлические струи, истекая из струеобразующих насадок и взаимодействуя между собой, образуют суммарный поток. Суммарный поток создаёт перед вливающим отверстием рыбохода зону частично равных давлений, которая делает проход рыбы и других водных обитателей в верхний бьеф беспрепятственным. Математическое условие образования зоны частично равных давлений записывается в следующем виде [3,4, 11]:

$$V_{U0} = \sqrt{gH}, \quad (1)$$

где V_{U0} – начальная осевая скорость суммарного потока;

g – ускорение свободного падения (м/с^2);

H – величина напора, приходящегося на поперечную разделительную стенку (м).

Саму начальную осевую скорость суммарного потока V_{U0} находят по формуле:

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

где V_{U0} – начальная осевая скорость суммарного потока (м/с);

φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем;

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 гидравлических струй в ряду;

h_3 – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй (м).

Величина безразмерного коэффициента φ зависит от множества факторов, основными из которых являются размеры вливающего отверстия и конфигурация расположения струеобразующих насадок. Как показывают экспериментальные исследования, значения безразмерного коэффициента φ в достаточной степени точности для решения большинства практических задач изменяются в диапазоне $0,001 \div 4,00$.

Для организации прохода рыбы по рыбопропускному тракту рыбохода необходимо наличие проходящего по нему транзитом стабильного привлекающего потока (см. рис. 1, 3). Для его формирования создают дополнительный напор ΔH , величина которого определяется из следующего выражения:

$$\Delta H = H - \frac{V^2}{g} - \frac{u_0}{g}, \quad (3)$$

где ΔH – величина дополнительного напора;

g – ускорение свободного падения (м/с^2).

Таким образом, дополнительный напор ΔH является разницей между действительной величиной напора H , приходящегося на поперечную разделительную стенку, и напором, создаваемым суммарным потоком.

Величину ΔH необходимо устанавливать в зависимости от вида движущейся по рыбоходному тракту рыбы. В табл. представлены оптимальные значения величины ΔH в зависимости от требуемого привлекающего потока, рассчитанного по известным методикам [1, 12].

Оптимальные значения величины ΔH в зависимости от вида движущейся рыбы

Вид рыбы	Оптимальные величины				Максимальные величины			
	привлекающая скорость, м/с		дополнительный напор ΔH , м		сносящая скорость, м/с		дополнительный напор ΔH , м	
	min	max	min	max	min	max	min	max
лососевые	0,90	1,40	0,26	0,63	1,10	1,60	0,39	0,82
осетровые	0,70	1,20	0,16	0,46	0,90	1,40	0,26	0,63
частиковые	0,50	0,80	0,08	0,20	0,90	1,20	0,26	0,46

Данные в табл. получены путем пересчета привлекающих и сносящих рыб скоростей по следующей формуле:

$$V_{\text{прив. ср.}} = \varphi_{\text{п.}} \sqrt{2g\Delta H}, \quad (4)$$

где $V_{\text{прив. ср.}}$ – средняя скорость привлекающего потока;

$\varphi_{\text{п.}}$ – коэффициент, устанавливаемый опытным путём (по результатам экспериментальных исследований рекомендуем $\varphi_{\text{п.}} = 0,5$);

g – ускорение свободного падения (м/с^2);

ΔH – величина дополнительного напора.

Формула (4) устанавливает связь между величиной ΔH и средней скоростью $V_{\text{прив. ср.}}$ привлекающего потока на входе во вливающее отверстие.

Техника эксперимента и результаты экспериментальных исследований. Анализ математических выражений (1) – (4) позволил предложить использовать данную

технологии гидравлических струй для компенсации циклических изменений уровней бьефов гидроузла путём изменения интенсивности подачи гидравлических струй. Наши предположения мы проверили и подтвердили экспериментально (рис. 4). При проведении лабораторных исследований за основной критерий гидродинамического подобия был принят критерий подобия Фруда. Кроме того, мы удостоверились в возможности использования предлагаемой технологии для пропуска рыбы, идущей на нерест через гидроузел, с использованием модельной рыбы. Эксперименты с использованием модельной рыбы основывались на методе биогидравлического моделирования [2]. В качестве модели объекта использовалась мелкая взрослая рыба или молодь. Подбор ее осуществлялся из условия подобия реакции модельной и натурной рыбы на привлекающий поток.

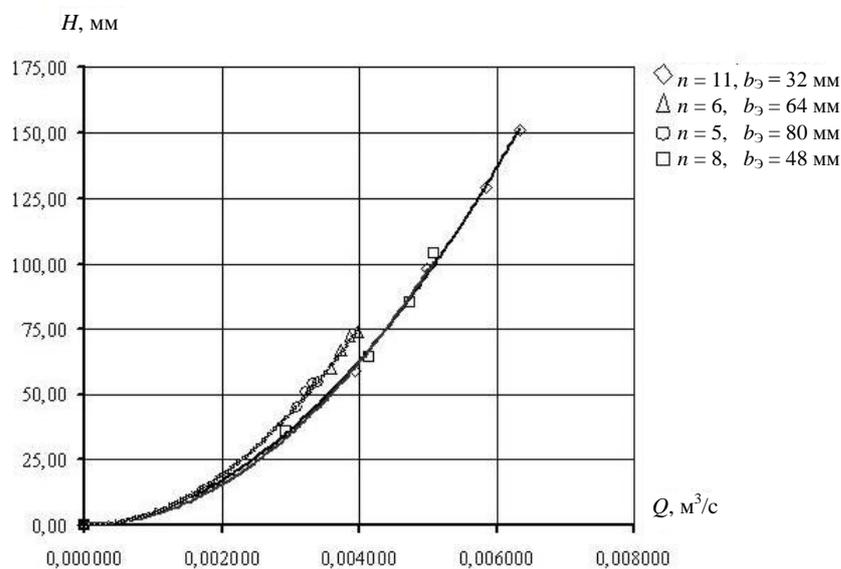
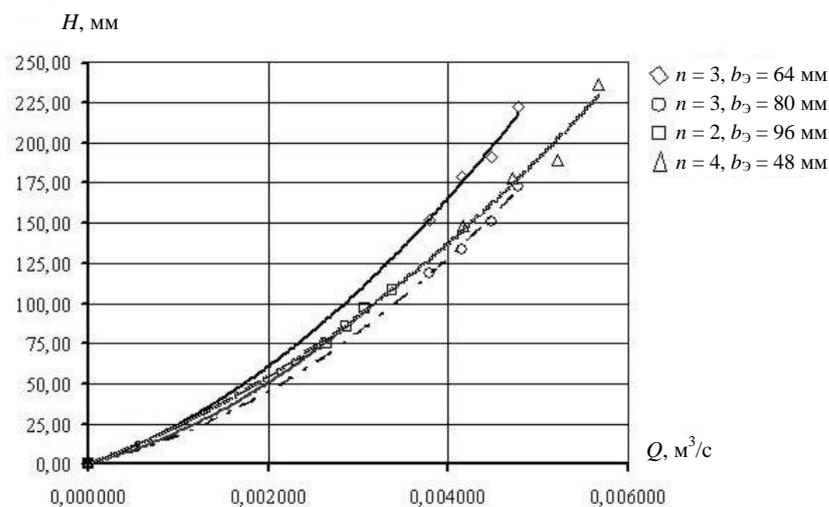


Рис. 4. Графическая кривая зависимости величины напора H , приходящегося на поперечную разделительную стенку, от расхода Q гидравлических струй, полученная на гидравлической модели с масштабом $\lambda_L = 10$: а) диаметр струеобразующего насадка $d_{0n} = 10$ мм; б) диаметр струеобразующего насадка $d_{0n} = 5$ мм

Регулировать интенсивность подачи гидравлических струй с целью компенсации влияния относительно небольших колебаний уровней бьефов гидроузла и установления оптимального скоростного режима привлекающего течения в рыбоходном тракте можно путём изменения начальной скорости V_0 истечения гидравлических струй в диапазоне $0 \div 10$ м/с. Такой диапазон скоростей истечения гидравлических струй позволит обеспечить полностью безопасные условия для прохождения рыбой вливного отверстия рыбохода. При этом необходимую величину начальной скорости V_0 , преобразовывая формулы (1) – (3), определяют из следующей зависимости:

$$V_0 = \frac{9,514 \cdot g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{1}{2}} (h_3 - b_3)}{\varphi \cdot n \cdot d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_3^{\frac{1}{3}}}. \quad (5)$$

Как показывают экспериментальные исследования, а также анализ выражения (2), увеличивая начальную скорость истечения гидравлических струй V_0 более 10 м/с, можно регулировать скоростной режим течения в рыбоходе при циклическом изменении уровней бьефов гидроузла с более большой амплитудой. При этом галереи вливного отверстия необходимо выполнить транзитными (рис. 5). По нашему мнению, такая конструкция вливного отверстия позволит использовать гидравлические струи с начальной скоростью V_0 истечения величиной до 30 м/с. В этом случае гидравлические струи на выходе из эжектора будут иметь осевую скорость V менее 10 м/с, что гарантирует полную безопасность прохождения рыбой вливного отверстия рыбопропускного тракта.

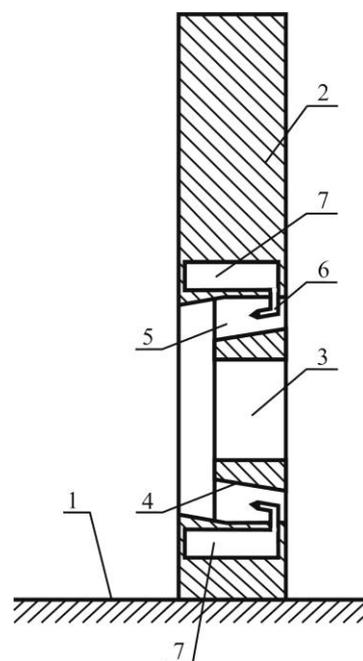


Рис. 5. Схема конструкции вливного отверстия с транзитной галереей, продольный разрез: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальная поперечная разделительная стенка; 3 – вливное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – транзитные галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы

Кроме того, из выражений (1) и (2) и экспериментальных исследований видно, что на величину расхода гидравлических струй наряду с начальной скоростью истечения гидравлических струй V_0 и диаметра струеобразующих насадок d_{0n} самое существенное влияние оказывает число гидравлических струй в ряду n .

Поэтому в случае увеличения напора H , приходящегося на поперечную разделительную стенку, до таких значений, когда данное изменение H нельзя компенсировать

простым увеличением начальной скорости истечения гидравлических струй V_0 , включают в работу большее количество струеобразующих насадок многониточной системы струеобразующих насадок (см. рис. 2). Тем самым формируют новое число n гидравлических струй, необходимых для компенсации изменившегося напора на гидроузле. По мере дальнейшего увеличения напора H до порогового значения увеличивают и число n гидравлических струй ϑ , задействовав при этом еще одну нитку многониточной системы струеобразующих насадок. В этом случае необходимое число гидравлических струй n определяют по следующей зависимости:

$$n = \frac{g^{\frac{1}{2}} H^{\frac{1}{2}} (h_{\vartheta} - b_{\vartheta})}{\varphi' d_0^{\frac{3}{2}} n b_{\vartheta}^{\frac{3}{2}}}, \quad (6)$$

где φ' – скоростной коэффициент, определяемый опытным путем (м/с).

Величина скоростного коэффициента φ' зависит в основном от тех же факторов, что и безразмерный коэффициент φ из выражения (2). Как показывают экспериментальные исследования, значения скоростного коэффициента φ' в достаточной степени точности для решения большинства практических задач изменяются в диапазоне 0,001 – 4,00.

Формула (6) справедлива для случаев, когда величина начальной скорости V_0 истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок не превышает 10 м/с, обеспечивая тем самым условия безопасности мигрантов. Помимо того, в данной зависимости используют пороговые значения величины напора H , приходящегося на поперечную разделительную стенку.

Предлагаемая технология использования гидравлических струй может быть успешно применена на гидроузлах ПЭС. Для этого струеобразующие насадки необходимо направить в противоположные стороны (рис. 6). Такая конструкция вливного отверстия позволит компенсировать не только циклически изменяющиеся с большой амплитудой колебания бьёфов гидроузла, но и их смену местами.

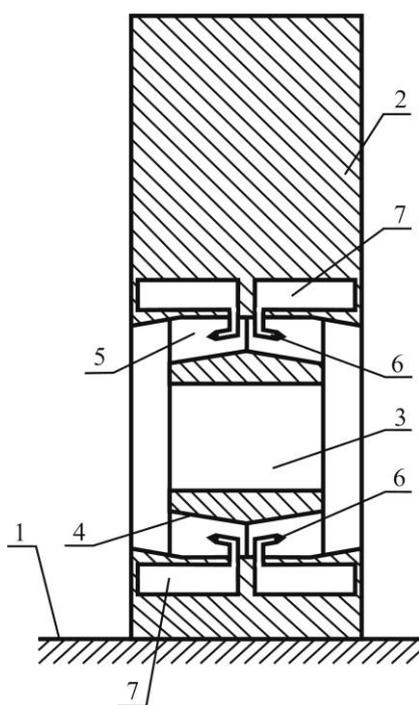


Рис. 6. Схема конструкции вливного отверстия с транзитной галереей для затвора ПЭС, продольный разрез: 1 – рыбоходный тракт; 2 – вертикальная поперечная разделительная стенка; 3 – вливное отверстие; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – транзитные галереи; 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы

Помимо того, данная конструкция вливного отверстия (см. рис. 6) сможет эффективно работать и в случае снижения перепада уровней между бьефами ПЭС до значения, не позволяющего создать привлекающее течение в рыбоходном тракте. В этом случае в работу включают струеобразующие насадки, направленные попутно транзитному потоку. При этом средняя скорость $V_{\text{прив. ср.}}$ привлекающего потока на входе во вливное отверстие будет равна начальной осевой скорости V_{U0} суммарного потока, определяемой из выражения (2). Исходя из этого и учитывая значения привлекающих и сносящих скоростей (см. табл.), необходимую для образования оптимального привлекающего потока начальную скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадок, направленных по направлению течения транзитного потока, определяют из следующей зависимости:

$$V_0 = \varphi'' \frac{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}}) \cdot V_{\text{прив. ср.}}}{d_0^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} \cdot n}, \quad (7)$$

где φ'' – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем.

Величина безразмерного коэффициента φ'' зависит в основном от тех же факторов, что и коэффициенты φ и φ' из формул (2) и (6). Кроме того, здесь существенное влияние оказывает наличие и величина попутных или противоположно направленных с привлекающим потоком восьми течений. Как показывают экспериментальные исследования, значения безразмерного коэффициента φ'' в достаточной степени точности для решения большинства практических задач изменяются в диапазоне 0,25–10,0.

Заключение. Возможность с помощью гидравлических струй уже только в одном вливном отверстии компенсировать значительные колебания напоров на гидроузле позволит следующее:

- значительно сократить протяженность и материалоемкость рыбоходного тракта;
- обеспечить возможность прохода по новому рыбопропускному сооружению – рыбоходу не только лососевых, но и других проходных и полупроходных видов рыбы;
- полностью привязать работу рыбопропускного сооружения к особенностям гидроузла с циклической работой;
- использовать на гидроузлах ПЭС, где необходимо пропускать мигрантов через створ гидроузла в противоположных направлениях;
- сохранить естественность условий пропуска мигрантов и выполнить экологические требования.

Предлагаемые изменения конструкций рыбоходов на основе технологии гидравлических струй и режимы их работы для пропуска рыбы через гидроузлы позволяет создать управляемый скоростной режим течения в рыбоходном тракте, который в максимальной степени будет обеспечивать благоприятные условия для прохода различных видов проходной и полупроходной рыбы через створ плотины гидроузла при значительных колебаниях уровней бьефов.

Список литературы

1. 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.
2. Шкура, В. Н. Рыбопропускные сооружения: В 2-х ч. / В. Н. Шкура. – Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиоративная акад., 1998. – 728 с.
3. Введенский, О. Г. Движение воды в лотке через гидротехническое сооружение / О. Г. Введенский // Тез. докл. конф. по итогам науч.-исслед. работ МарГТУ (19–21 апр. 1999 г.). – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – С. 53–56. – Деп. в ВИНТИ 25.08.99, №2712-В99.

4. Введенский, О. Г. Использование гидравлических струй для совершенствования технологии работы рыбоходных сооружений / О. Г. Введенский // Гидротехническое строительство. – 2009. – № 1. – С. 21–27.

5. Пат. 2178480 РФ, МПК⁷ E02B 8/08. Конструкция насосно-эжекторной установки для транспортировки жидкости с первого участка на второй, выше расположенный участок / О. Г. Введенский, А. Я. Полянин (РФ) – № 2000107451/13; Заявлено 27.03.2000; Опубл. 20.01.2002, Бюл. № 2. – 3 с.

6. Пат. 2335600 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф и рыбоход его осуществляющий / О. Г. Введенский (РФ). – №2006143890/03; Заявлено 11.12.2006; Опубл. 10.10.2008, Бюл. № 28. – 12 с.

7. Пат. 2337209 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбоход для привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О. Г. Введенский (РФ). – №2007105289/03; Заявлено 12.02.2007; Опубл. 27.10.2008, Бюл. № 30. – 11 с.

8. Пат. 2339761 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ привлечения рыбы в рыбоход и рыбоход его осуществляющий / О. Г. Введенский (РФ). – №2007110115/03; Заявлено 19.03.2007; Опубл. 27.11.2008, Бюл. № 33. – 11 с.

9. Пат. 2339762 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбоход для привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О. Г. Введенский (РФ). – №2007110607/03; Заявлено 22.03.2007; Опубл. 27.11.2008, Бюл. № 33. – 8 с.

10. Пат. 2342485 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыбы из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф / О. Г. Введенский (РФ). – №2006141959/03; Заявлено 27.11.2006; Опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36. – 14 с.

11. Введенский, О. Г. Теоретическая модель водного потока, образованного двумя параллельными рядами n параллельных гидравлических струй / О. Г. Введенский. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 16 с. – Деп. в ВИНТИ 22.01.99; №316-B99.

12. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О. Л. Юшманов, В. В. Шабанов, И. Г. Галямина и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 303 с.

Статья поступила в редакцию 25.04.09.

O. G. Vvedensky

THE WAYS OF WORK EFFICIENCY GROWTH OF FISH-PASSING CONSTRUCTIONS IN THE CONDITIONS OF CYCLIC CHANGES OF HYDROELECTRIC COMPLEX REACHES LEVELS

The solving of the problems which are connected with increasing of the efficiency of fish passing through hydroelectric complexes with cyclic oscillation of the levels of the reaches is discussed. The changes in fish-passing constructions on the basis of technology of the hydraulic jets using have been included for these purposes. Mathematical justification of different variants of work of the offered fish-passing constructions in the condition of cyclic change of levels of the reaches of hydrosystem is presented. Short results of the experimental investigation are given.

Key words: *hydroelectric complex, cyclic oscillation of the reaches, fish pass, raise of efficiency of fish-passing, hydraulic streams, ecological technology, environmental protection measures, nature management*

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, машиноведения и технологии Марийского государственного университета. Область научных интересов – гидравлика и её приложения, а именно: движение капельных жидкостей, способы создания и использования движущихся жидкостей в инженерной практике, в частности разработка технологий и создание технических устройств рыбозащиты и рыбопропуска через плотины гидроузлов. Автор 40 публикаций.

E-mail: vedo.67@mail.ru