

Раздел пятый  
**СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ  
ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

**5.2. Рыбозащитные технологии и сооружения в энергетике**

**5.2.1. Выбор оптимальной конструкции рыбозащитного устройства для конкретного водозабора**

*Иванов А.В., институт Гидропроект*

Рыбозащитные устройства (РЗУ) согласно СНиП 2.06.07—87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» необходимо предусматривать в целях предупреждения попадания, травмирования и гибели личинок и молоди рыб на водозаборах и отвода их в рыбохозяйственный водоем [1].

Ключевыми в данной формулировке являются следующие понятия:

1. Предупреждение попадания и гибели личинок и молоди рыб на водозаборах.

Это означает, что рыбозащитная система должна включать мероприятия и устройства, не допускающие попадание рыб в водозабор.

2. Предупреждение травмирования личинок и молоди рыб.

Это означает, что при осуществлении защиты рыб не должен допускаться их контакт с защитно-водоприемной поверхностью, в результате чего они травмируются и гибнут.

3. Отвод рыб в рыбохозяйственный водоем.

Это означает, что необходимо не только остановить рыбу перед водозабором, но и отвести ее от него в безопасное место.

Из сказанного следует, что для выполнения всех требований, предъявляемых к РЗУ, оно должно включать комплекс элементов, последовательно выполняющих следующие функции:

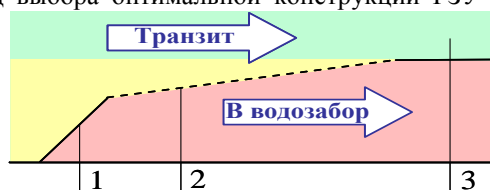
- входную, потокоформирующую функцию, обеспечивающую перераспределение скатывающейся к водозабору молоди рыб в сторону от защитно-водоприемной поверхности РЗУ;

- рабочую, защитно-водоприемную функцию, обеспечивающую равномерный скоростной режим забора воды к потребителю и предотвращение попадания рыб в водозабор;

- выходную, рыбоотводящую функцию, обеспечивающую отвод защищенных рыб из зоны действия водозабора в безопасное место рыбообитаемого водотока.

Иными словами, РЗУ должно включать три основных функциональных элемента: входной, потокоформирующий; рабочий, защитно-водоприемный и выходной, рыбоотводящий (рис. 5.43).

Для создания РЗУ, максимально отвечающих всем требованиям, предъявляемым к рыбозащите, разработан метод выбора оптимальной конструкции РЗУ для кон-



**Рис. 5.43. Структура отводящего РЗУ:**

1 — потокоформирующий элемент; 2 — рабочий орган (защитно-водоприемный элемент); 3 — рыбоотводящий элемент (рыбоотвод)

кретного объекта [2]. Для этого разработку РЗУ предложено осуществлять по трехступенчатой схеме «Вход—

действие—выход». Это позволяет представить РЗУ в виде многокомпонентного комплекса, состоящего из трех основных (входного, потокоформирующего; рабочего, защитно-водоприемного и выходного, рыбоотводящего) функциональных, а также вспомогательных элементов. Метод заключается в следующем (рис. 5.44):

- разделение РЗУ на составляющие его основные функциональные (входной, потокоформирующий; рабочий, защитно-водоприемный; выходной, рыбоотводящий) и вспомогательные элементы;

- классифицирование и анализ каждого из функциональных элементов по отдельности;

- совместное рассмотрение наиболее подходящих для оборудуемого рыбозащитой объекта типов функциональных элементов на предмет их наилучшей совместности в заданных условиях (водозабора, гидрологии, ихтиологии и пр.) в целях достижения оптимальных характеристик (рыбозащитной эффективности, капитальных и эксплуатационных затрат и др.);

- комбинирование из них трехкомпонентной конструкции РЗУ;

- дополнение ее при необходимости комплексом вспомогательных элементов.

При этом потокоформирующий элемент, предназначенный для формирования необходимой для эффективной бесконтактной защиты молоди рыб гидравлической структуры потока, является основным функциональным элементом устройства, влияющим на характер перераспределения в нем молоди в транзитную рыботранспортирующую зону потока. Фактически он определяет конструкцию всего РЗУ, назначая в нем зоны расположения остальных основных функциональных элементов: рабочего и рыбоотводящего.

Рабочий элемент (орган) предназначен для поддержания оптимальных условий пассивного ската молоди рыб в транзитном потоке в рыбоотвод в зоне влияния водозабора и равномерного со скоростями отбора воды из транзитного потока в водозабор, не превышающими скорости, сносящие защищаемых рыб.

Рыбоотводящий элемент (рыбоотвод) предназначен для отведения защищенной жизнеспособной молоди рыб из зоны действия рабочего органа в безопасное место рыбообитаемого водоема.

Вспомогательные элементы дополняют и улучшают рыбозащитные и эксплуатационные качества как соответствующих его основных функциональных элементов, так и всего РЗУ в целом.

Такой подход позволяет разрабатывать оптимальные конструкции РЗУ для водозаборов любой производительности и назначения, расположенных на любых рыбохозяйственных водоемах и водотоках, организуя при этом бесконтактную защиту молоди рыб с отведением ее от водозабора не травмированной и жизнеспособной для дальнейшего естественного воспроизводства.

Представив РЗУ как комплекс входящих в него функциональных элементов, можно приступить к рассмотрению каждого из них в отдельности.

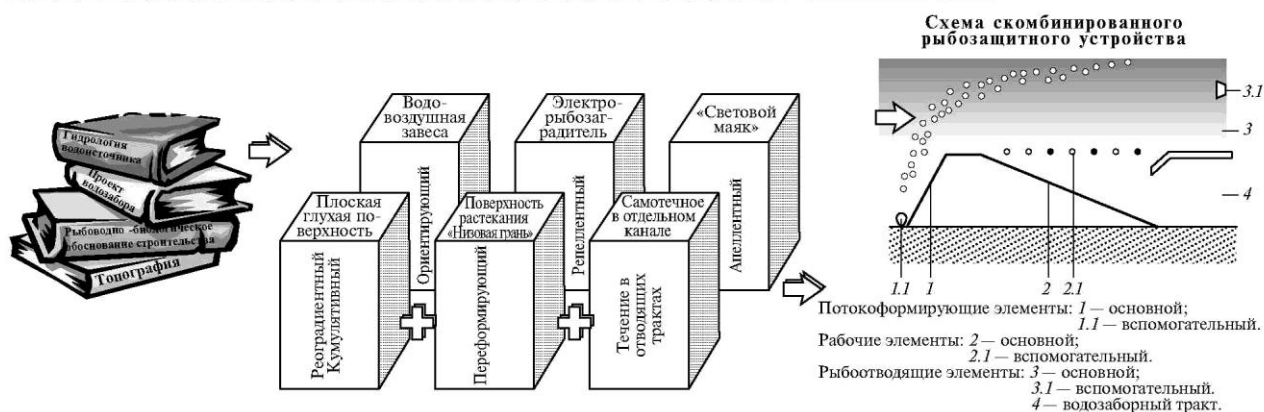
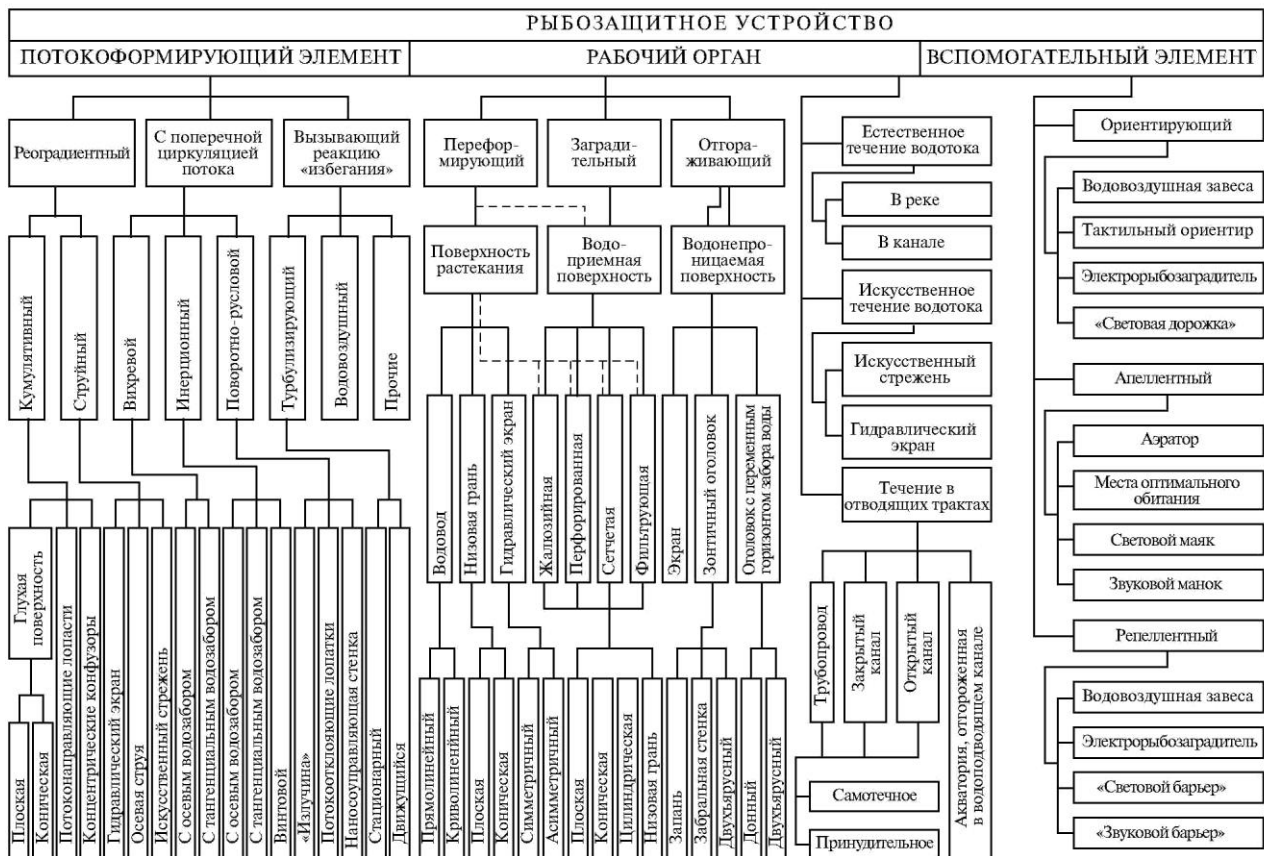


Рис. 5.44. Структурная классификация переформирующего РЗУ и основанный на ее использовании метод выбора оптимальной конструкции РЗУ

**Потокоформирующий элемент РЗУ** является основным элементом конструкции, не только организующим определенную для конкретного РЗУ гидравлическую структуру потока, но главным образом влияющим на характер перераспределения молоди внутри устройства в определенную его зону. Поэтому, поскольку он предназначен для организации такой гидравлической структуры поступающего в устройство потока, при которой молодь рыб перераспределяется в его транзитную зону, и рассматривать этот элемент целесообразно в зависимости от характера его воздействия на структуру течения транзитного потока.

Обеспечить перераспределение молоди рыб в потоке можно, сформировав следующие гидравлические структуры его течения:

- реогradientную;
- с поперечной циркуляцией;
- вызывающую «реакцию избегания».

*Реогradientная структура* потока характеризуется наличием зон с различными скоростями течения, обла-

дающими различной транспортирующей молодь рыб способностью. В свою очередь, именно повышенная транспортирующая способность транзитного рыбоотводящего потока обеспечивает эффективное перемещение молоди рыб мимо водоприемной поверхности рабочего органа в оголовок рыбоотвода и далее из зоны влияния водозабора. Реогradientную структуру потока можно сформировать либо установкой в водотоке стационарных потокоформирующих элементов (наклонных поверхностей, конфузуров и т.д.), создающих в определенной его зоне течение с повышенной скоростью, либо подачи в эту зону высокоскоростной струи из автономных или питающихся из напорной сети водопотребителя струегенераторов.

Отсюда следует, что реогradientную структуру потока можно организовать с применением следующих потокоформирующих элементов:

- кумулятивного (собирающего);
- струегенератора (системы водяных струй). Функции потокоформирующего элемента может выполнять также естественный транзитный водоток, обтекающий рабочий орган со скоростью, превышающей

сносящую скорость защищаемых рыб желательнее более чем в 2,5 раза.

*Поперечная циркуляция потока* позволяет перераспределить скатывающуюся в водотоке молодь рыб в его определенную рыбоотводящую зону. Структуру течения потока с поперечной циркуляцией можно сформировать установкой в водотоке закручивающего потокоформирующего аппарата. При этом конструкция последнего может быть различной (завихрители с осевым и тангенциальным входом, струнаправляющие лопатки, излучина и т.д.). Различны и механизмы перераспределения молоди в потоке, поэтому различны и характеристики, и месторасположение в потоке рыбоотводящей зоны (по оси водотока, по его периферии, в определенном, например верхнем, горизонте и т.д.).

Учитывая эти различия, классифицировать закручивающий аппарат целесообразно по характеру формируемой им рыбоотводящей зоны, а именно:

- вихревой (осевой);
- инерционный (периферийный);
- поворотно-русловой (в комфортном поверхностном или донном слое).

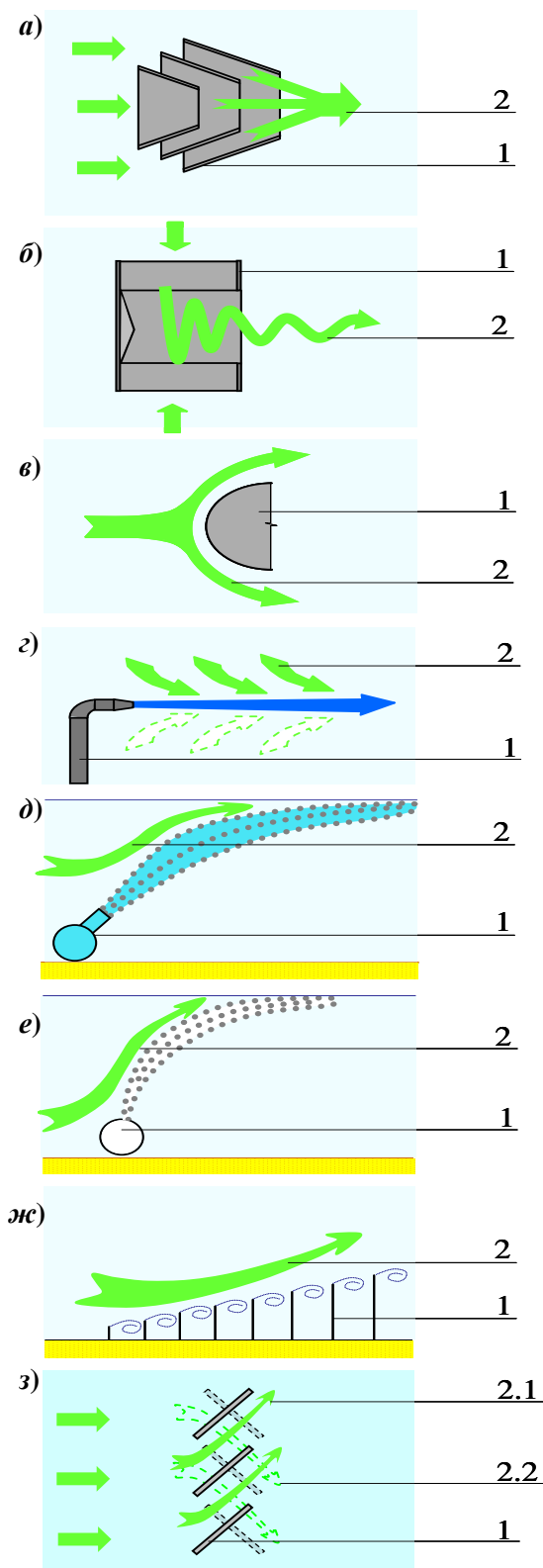
Наличие различных возмущений в потоке, имеющих механическую, гидравлическую или иную природу, может вызвать у рыб «реакцию избегания», отпугивающую их от источника опасности, в данном случае водоприемной поверхности рабочего органа РЗУ. Структуру течения потока, вызывающую у рыб «реакцию избегания», можно сформировать, установив в водотоке устройство, оказывающее на него локальное или более объемлющее воздействие, заставляющее рыб самостоятельно выйти из зоны действия данного устройства, т.е. и из зоны действия водозабора. Примерами таких устройств могут быть стационарные или движущиеся турбулизаторы потока, водовоздушные завесы и т.д.

В настоящее время разработаны следующие типы потокоформирующих элементов: кумулятивные, вихревые, инерционные, струйные, поворотно-русловые, водовоздушные, воздушно-пузырьковые и турбулирующие (рис. 5.45). Их исследования дали толчок к созданию целого направления в разработке РЗУ переформирующего типа. В результате на их основе было разработано целое семейство переформирующих рыбозащитных сепараторов.

**Рабочий орган РЗУ**, являясь защитно-водоприемным элементом, в многокомпонентных переформирующих РЗУ выполняет главным образом водоприемно-распределительную функцию.

*Переформирующий рабочий орган* представляет собой устроенную за потокоформирующим элементом поверхность, служащую для плавного растекания рабочего потока в водоприемные окна с сохранением организованной на входе в устройство оптимальной гидравлической структуры транзитного течения. В большинстве случаев эта поверхность выполняется водонепроницаемой или вообще является стенками водотока, а водоприемные окна потребителя располагаются за ней фронтально к движущемуся в устройстве потоку, как, например, в рыбозащитном концентраторе с вертикальной сепарацией.

*Заградительный рабочий орган* представляет собой расположенную за потокоформирующим элементом мелко- или крупноперфорированную поверхность, служащую для равномерного отбора из транзитного потока рабочего потока через перфорацию к водопотребителю при одновременном недопущении попадания молоди



**Рис. 5.45. Основные типы потокоформирующих элементов РЗУ:**  
*a* — кумулятивный; *б* — вихревой; *в* — инерционный; *з* — струйный; *д* — водовоздушный; *е* — воздушно-пузырьковый; *ж* — турбулентный; *з* — поворотно-русловой; 1 — потоко-формирующий элемент; 2 — траектория ската молоди рыб в сформированном транзитном потоке (2.1 — в поверхностном слое; 2.2 — в придонном слое)

рыб в водозабор. Здесь имеет место не фронтальный, а «щелевой» тип водозабора. При этом транзитная (рыбоотводящая) зона остается одинаковой для обоих типов рабочих органов, поэтому установка заградительного рабочего органа за потокоформирующим элементом (например, входной гранью порога) позволяет придать всему РЗУ новое качество: оно становится чисто отводящим

переформирующим ночью, в наибольшей степени использующим естественные особенности пассивного скака молоди рыб, и отводящим рыбозаградителем днем, ориентирующим молодь на активный уход от преграды (защитно-водопроницаемого экрана).

Отгораживающий рабочий орган представляет собой установленный в зоне влияния водозабора водонепроницаемый экран, служащий для предотвращения прямого доступа молоди рыб к потребителю из рыбообитаемых горизонтов водоема и обеспечения забора воды из малонасыщенных молодью рыб горизонтов водоема. Для эффективной работы отгораживающего рабочего органа необходимо осуществлять мероприятия по переконцентрации молоди рыб в зону защиты (к защитному экрану) и обеспечению вдоль него естественно или искусственно организованного транзитного течения для выноса и транспортировки рыб, накапливающихся перед этим экраном, из зоны действия водозабора.

Для водопотребителя основными характеристиками рабочего органа являются:

- расчетный рабочий расход  $Q$ , определяемый производительностью водозабора;
- сквозность перфорации  $A$ , во многом определяющая пропускную способность водозаборно-рыбозащитного устройства и тем самым его технические и эксплуатационные характеристики;
- возможность эффективной эксплуатации в условиях конкретного водоема (в транзитном течении водотока,

70%-ную эффективность защиты молоди рыб от попадания в водозаборы (СНиП 2.06.07—87) [1].

При классификации рабочих органов, а именно при составлении их периодической таблицы (рис. 5.46) вышеуказанные характеристики учтены в ней следующим образом:

- рабочий расход забираемой воды увеличивается с ростом порядкового номера ряда, в котором расположен рабочий орган;
- сквозность перфорации рабочих органов увеличивается в таблице слева направо, изменяясь от нуля (отгораживающие РЗУ) до единицы (переформирующие РЗУ);
- в верхней части таблицы представлены рабочие органы, эффективно работающие в условиях водотока со скоростями, превышающими сносящую скорость для защищаемых рыб, а в нижней части — рабочие органы, предназначенные для работы также и в стоячих водоемах и тупиковых каналах;
- размещение конкретных типов рабочих органов в конкретной клетке таблицы с соответствующим ей расчетным расходом обеспечивает им нормативную более чем 70 %-ную эффективность защиты молоди рыб.

В первом столбце периодической таблицы представлены отгораживающие рабочие органы; во втором и третьем — рыбопроницаемые заградители, соответственно фильтрующие и сетчатые; в четвертом и пятом столбцах — возможно, рыбопроницаемые «заградители» соответственно с крупноперфорированной поверхностью

Периоды (ряды) рабочих органов	Группы (столбцы) рабочих органов						
	Отгораживающие	Заградительные		Переформирующие			
	Водонепроницаемые поверхности	Рыбонепроницаемые поверхности		Рыбопроницаемые поверхности		Глухие поверхности растекания	
		Фильтрующие	Сетчатые	Крупноперфорированные	Жалюзийные	Низовая грань	Водовод «без начинки»
	$A = 0$	$0 < A < 0,6$		$0,6 < A < 1,0$		$A = 1,0$	
1	2	3	4	5	6	7	
1 $Q < 0,5$	1	2	3	4	5	6	7
2 $Q < 5,0$	8	9	10	11	12	13	14
3 $Q < 10,0$	15	16	17	18	19	20	21
4 $Q < 25,0$	22	23	24	25	26	27	28
5 $Q < 50,0$	29	30	31	32	33	34	35
6 $Q > 50,0$	36	37	38	39	40	41	42

Рис. 5.46. Периодическая таблица рабочих органов РЗУ

в стоячем водоеме и т.д.), что также во многом сказывается на характере и размере эксплуатационных затрат, необходимых для эффективной работы всего водозабора, в частности для отвода от него защищенной молоди рыб.

Кроме того, РЗУ, оборудованные рабочими органами любой конструкции, должны обеспечивать более чем

и жалюзийные; в шестом и седьмом — переформирующие рабочие органы, соответственно глухие поверхности растекания и водоводы «без начинки».

В первом ряду таблицы представлены установленные в водотоке оголовки водозаборных труб, не имеющие системы принудительного рыбоотведения. Поскольку

они работают на водотоке и рассчитаны на наименьшие забираемые расходы, то отличительной особенностью этих оголовков является их обтекаемость (преимущественно каплевидность). Это позволяет им компактно размещаться на водозаборной трубе даже при условии, что рабочий поток будет поступать через их водоприемную поверхность «внутрь» устройства, т.е. скорость его втекания будет постоянно повышаться. Однако ввиду незначительности забираемого расхода и постоянного транспортирующего воздействия на молодь рыб транзитного течения водотока для обеспечения необходимой рыбозащитной эффективности размеры водоприемной поверхности можно увеличивать без нанесения существенного ущерба компоновке оголовка на водозаборе.

Во втором ряду представлены двухъярусное отгораживающее РЗУ с регулируемым горизонтом забора воды и модификации обтекаемых оголовков с «плоскими» поверхностями и придонной низовыми защитными поверхностями, также обеспечивающими забор рабочего потока внутрь устройства. При этом следует отметить, что они рассчитаны на больший забираемый расход, нежели устройства первого ряда. Объясняется это следующими обстоятельствами:

- сдерживающим фактором применения зонтичных оголовков являются постоянные вертикальные миграции молоди рыб в зависимости от погодных условий, времени года, суток и т.д. Поэтому при постоянном горизонте забора воды попадание в водоприемное окно переместившейся в водозаборный горизонт молоди можно частично предотвратить, снизив скорость втекания в устройство рабочего потока, т.е. уменьшить забираемый к водопотребителю рабочий расход. При осуществлении же в устройстве регулирования горизонта забора воды можно не снижать скорость втекания в устройство рабочего потока, т.е. существенно повысить производительность водозабора;

- выполнение низовых поверхностей обтекаемых оголовков «плоскими» позволяет значительно увеличить их площадь за счет назначения требуемой ширины (высоты) обтекаемых призматических оголовков. Это обеспечивает забор необходимого (повышенного) расхода с допустимыми скоростями перетекания рабочего потока.

В третьем ряду таблицы представлены собственно «плоские» защитно-водоприемные поверхности, обеспечивающие так же, как и предыдущие, забор рабочего потока внутрь устройства. Однако от предыдущих устройств они существенно отличаются.

Во-первых, «плоские» поверхности третьего ряда можно установить под любым углом к транзитному течению или в водоводе различной конфигурации, организовав тем самым необходимый для работы конкретного РЗУ гидравлический режим обтекания их транзитным потоком и отбора из последнего рабочего потока с постоянными (неувеличивающимися, как в устройствах первого ряда) скоростями.

Во-вторых, за исключением отгораживающей запани, «плоские» поверхности (экраны) можно располагать как горизонтально, так и вертикально, расширяя тем самым зону их применения на водозаборах различных конструкций.

В-третьих, «плоские» поверхности являются частным случаем цилиндрической поверхности. В свою очередь, применение цилиндрических поверхностей еще больше расширяет зону их использования на различных водозаборах.

В-четвертых, к рабочим органам третьего ряда может

быть подключена система принудительного рыбоотведения, что позволит применять их практически на любых водоемах.

Конструкции рабочих органов первых двух рядов подразумевают преимущественно работу водозабора на водотоке, т.е. без использования принудительной системы рыбоотведения. Рабочие органы третьего ряда занимают промежуточное положение, т.е. могут работать с использованием как естественного течения, так и искусственно организованного рыбоотвода. Рабочие органы последующих рядов рассчитаны на работу с системой принудительного рыбоотведения.

Так, в четвертом ряду представлены отгораживающее РЗУ, оборудованное рыбоотводящим лотком, и размещенные самостоятельно, например, в водозаборных окнах водоприемника или внутри цилиндрического водовода конические поверхности с коаксиальным оголовком рыбоотвода.

Отличие водоприемных конусов и диффузора от аналогичных рабочих органов предыдущих рядов заключается в том, что поступление рабочего потока из них в водозабор осуществляется «наружу», в результате этого они приобретают существенное преимущество.

Преимущество это заключается в следующем.

Гидравлическая структура поступающего в устройство потока воды организуется потокоформирующим элементом таким образом, что по оси устройства создается течение с повышенной скоростью, транспортирующее молодь рыб в оголовки рыбоотвода. Рабочий поток перераспределяется к периферии устройства (в водозабор) с постоянно уменьшающимися центробежными скоростями, не оказывающими существенного влияния на скатывающуюся по оси молодь рыб. Таким образом, процесс защиты молоди здесь начинается задолго до ее возможного контакта с водоприемной поверхностью. Это позволяет достаточно компактные устройства использовать для забора воды с большими расходами.

В пятом ряду таблицы представлены многочленные рабочие органы. Выполнение их многочленными обеспечивает возможность более плавно распределить поступающий в водозабор поток и в тоже время сократить возможный непосредственный контакт молоди с водоприемными поверхностями. Это позволяет использовать многочленные рабочие органы для забора больших, нежели устройствами третьего ряда, рабочих расходов.

В шестом ряду представлены рабочие органы, рассчитанные на забор наибольших расходов, поэтому на их конструкции наложены определенные ограничения, например, связанные с компоновочными особенностями размещения водозаборов в водоподводящих каналах, ширина которых значительно превышает их глубину, что предопределяет вертикальное расположение защитно-водоприемных экранов.

Система принудительного рыбоотведения для обеспечения эффективной работы устройства шестого ряда имеет настолько большое значение, что в «отгораживающие рабочие органы» помещено устройство типа «Искусственный стрежень», состоящее из размещенных в зоне накопления покатной молоди рыб перед водозабором (например, в поверхностном слое напорного фронта ГЭС) автономных струегенераторов, создающих течение, транспортирующее рыб от водозабора. Это дает основания считать, что данный рабочий (транспортирующий) орган выполняет также и функции потокоформирующего и рыбоотводящего элементов.

Фильтрующая водоприемная часть рабочего органа представлена здесь протяженным многослойным вогнутым берегом излучины водотока, естественно промывающимся ниспадающим течением, сформированным поперечной циркулирующей водотока в этой зоне.

**Рыбоотводящий элемент РЗУ** (рыбоотвод) предназначен для отведения защищенной жизнеспособной молоди рыб из зоны действия рабочего органа РЗУ в безопасное место рыбообитаемого водоисточника для ее дальнейшего естественного воспроизводства.

Основными функциональными показателями работы рыбоотвода являются его транспортирующая способность, характеризующаяся скоростью течения потока, выносящего молодь рыб из зоны влияния водозабора, а также расход рыбоотвода по отношению к рабочему расходу воды, забираемой водопотребителем.

Рыбоотвод (систему отведения молоди из зоны влияния водозабора в безопасное место водоисточника) целесообразно рассматривать в зависимости от характера используемого для этого течения, а именно:

- как естественное течение водотока;
- как искусственно организованное течение водотока;
- как течение в отводящих трактах (трубопроводах, каналах и т.д.).

При этом естественное течение водотока может иметь место, как в *речном русле*, так и в *искусственном канале*.

*Искусственно организованное течение* для отвода молоди рыб от водозабора можно организовать, создав искусственный стрежень или локальный гидравлический экран.

*Искусственный стрежень* организуется с помощью системы последовательно установленных в слабо проточном водоеме автономных струегенераторов в целях отведения защищенной в рыбозащитном сепараторе молоди в том случае, если организация рыбоотводящего тракта невозможна или экономически невыгодна. При этом система струегенераторов создает локальное течение (струю) от рабочего органа в безопасное место водоема, т.е. за пределы зоны влияния водозабора.

*Гидравлический экран* решает более локальную задачу, а именно отвод защищаемой молоди из зоны действия рабочего органа, например жалюзийного экрана. В этом случае гидравлический экран выполняет функции не только рыбоотводящего, но и потокоформирующего и рабочего элементов.

Отведение защищенной молоди рыб из зоны действия водозабора в *рыбоотводящих трактах* — наиболее распространенный способ организации рыбоотвода практически на любых водозаборах, размещенных в слабопроточном водоеме. При этом транспортирование молоди может осуществляться:

- по трубопроводу;
- в открытом или закрытом канале;
- в специально организованной в водоподводящем канале акватории.

Компактные трубопроводы целесообразно прокладывать от рыбозащитного сепаратора обратно в водоисточник по дну непротяженных водозаборных ковшей или каналов.

При наличии более протяженных каналов на создание течения в трубопроводах приходится затрачивать значительные энергетические ресурсы, что не всегда бывает экономически приемлемым, поэтому в данном случае

более целесообразным является устройство в водоподводящем канале *специальной акватории*, отгороженной от водозабора, например, продольной стенкой. При этом специального течения в акватории не создается, кроме как за счет поступающего в нее потока воды из оголовка рыбоотвода. В случае размещения рыбозащитного сепаратора на значительном удалении от водоисточника целесообразно применение *закрытых* или *открытых каналов*, выбор типа которых зависит от топографической характеристики местности. Кроме того, закрытый канал является сопрягающим звеном между оголовком рыбоотвода и открытым каналом. В зависимости от топографической характеристики местности (наличие больших уклонов поверхности земли, перепада между бьефами гидроузла и т.д.) течение в рыбоотводящих трактах может быть самотечным. При отсутствии таковых течение в рыбоотводящих трактах организуется специальными устройствами (эжекторами, водогонами и т.д.). В этом случае рыбоотвод включает следующие элементы: оголовки рыбоотвода, узел создания течения, рыбоотводящий тракт (трубопровод, канал и т.д.).

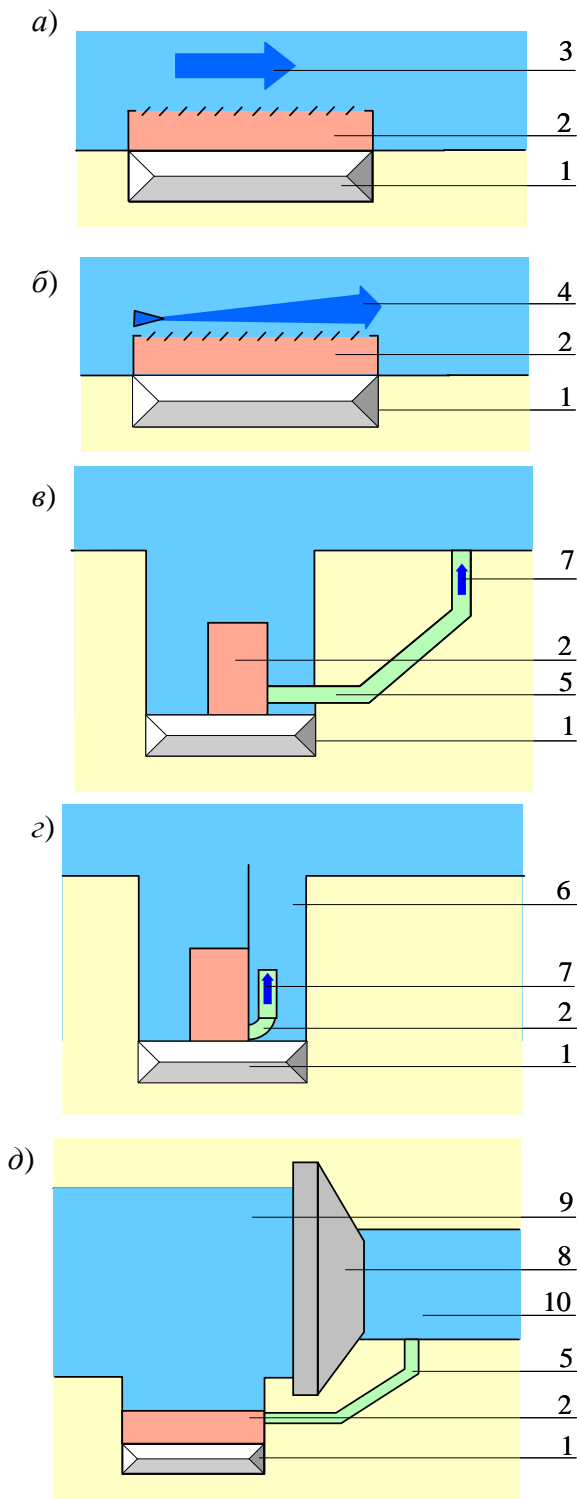
Основные типы рыбоотводов показаны на рис. 5.47.

**Вспомогательный элемент РЗУ** предназначен для повышения эффективности защиты главным образом подросших, свободно перемещающихся в водоеме рыб путем проведения дополнительных рыбозащитных мероприятий, позволяющих более полно и с большей эффективностью использовать «рыбозащитные» качества основных функциональных элементов, как всех в комплексе, так и каждого в отдельности. При этом в конструкцию РЗУ могут быть включены как один, так и сразу несколько вспомогательных элементов. Как правило, вспомогательные элементы оказывают на рыбу физиологическое воздействие различного происхождения, обеспечивающее самостоятельное активное движение рыб в локальные зоны с более комфортными условиями обитания и одновременно удаленные от зоны влияния водозабора.

В зависимости от способа воздействия на защищаемых рыб вспомогательные элементы делятся на три основные группы:

- ориентирующие (направляющие);
- апеллентные (привлекающие);
- репеллентные (отпугивающие). *Ориентирующие* вспомогательные элементы предназначены:
  - для ограничения зоны безопасного ската рыб вдоль рабочего органа (воздушно-пузырьковая завеса, тактильный ориентир, электрорыбозаградитель, «световая дорожка»), что снижает вероятность контакта рыб с водоприемной поверхностью рабочего органа РЗУ, их травмирования и гибели. В результате рыбозащитная эффективность всего устройства повышается;
  - для улучшения условий отвода рыб из зоны действия водозабора (тактильный ориентир, «световая дорожка»).

В результате применения ориентирующего вспомогательного элемента в системе рыбоотведения РЗУ удастся значительно сократить протяженность рыбоотводящих трактов и снизить энергозатраты на создание в них течения воды.



**Рис. 5.47. Основные типы рыбоотводящих элементов РЗУ:**

*a* — естественное течение водотока; искусственное организованное течение; *б* — в водоеме; *в* — в рыбоотводящем тракте; *г* — в специально отгороженной акватории; *д* — самотечное течение; 1 — водозабор; 2 — рыбозащитное устройство; 3 — водоток; 4 — гидравлический экран; 5 — рыбоотводящий тракт; 6 — рыбоотводящая акватория; 7 — узел создания течения в рыбоотводе; 8 — плотина; 9 — верхний бьеф; 10 — нижний бьеф

В большинстве случаев для создания *водовоздушной завесы* (ВВЗ) перфорированным оголовком воздуховода — *эрлифтом* доукомплектовывается потокоформирующий элемент РЗУ. При этом шлейф ВВЗ располагается по границе между транзитным течением, транспортирующим защищаемую рыбу в рыбоотвод, и зоной растекания потока по рабочему органу РЗУ. Являясь визуальной и акустической преградой для большинства активно перемещающихся в потоке рыб, ВВЗ предотвращает выход рыб из транзитной зоны потока в зону действия ра-

бочего органа РЗУ. Это обеспечивает бесконтактную защиту не только покатной молоди рыб, устойчиво сносящейся в потоке, но и подросших рыб, способных к более самостоятельным перемещениям в водотоке.

*Тактильный ориентир* (продольные лотки, стенки и т.п.) устраивается в омываемой транзитным течением периферийной зоне действия рабочего органа РЗУ. Он предназначен для обеспечения возможности подросшим рыбам восстанавливать тактильную ориентацию и самостоятельно выходить из «высокоскоростной» зоны транзитного течения, не подходя при этом к водоприемной поверхности рабочего органа РЗУ для отдыха, дальнейшего ската в зонах с пониженными скоростями течения или устойчивой тактильной ориентации.

*Электрорыбозаградитель* — система электродов, создающих отпугивающее рыб электрическое поле, предназначенное для стимулирования ухода рыб от водоприемной зоны рабочего органа РЗУ в транзитную периферийную зону с последующим скатом в ней в оголовок рыбоотвода. Как правило, размещается электрорыбозаградитель параллельно или под углом к водоприемной поверхности рабочего органа РЗУ либо ею собственно и является.

*«Световая дорожка»* предназначена для восстановления ориентации рыб в потоке или стимулирования их движения в необходимом для целей рыбозащиты направлении. В зависимости от назначения «световая дорожка» может располагаться как в водоприемной, так и в транзитной зоне рабочего органа РЗУ. Она может быть движущейся — «бегающая волна», образованная поочередным включением рядов электрических ламп, и стационарной, выполненной из постоянно светящихся ламп или черно-белой разметки — «зебра».

*Апеллентные* вспомогательные элементы предназначены:

- для привлечения и удержания мигрирующих рыб в безопасных, удаленных от зоны влияния водозабора участках водоема (аэратор, места оптимального обитания, световой маяк и звуковой манок). Это позволяет замедлить на продолжительное время или вообще полностью прекратить скат рыб в зону действия водозабора. В связи с этим применение апеллентных вспомогательных элементов в ряде случаев можно рассматривать как самостоятельные рыбозащитные мероприятия и альтернативу оборудованию водозаборов рыбозащитными сооружениями;

- для привлечения и стимуляции движения рыб по РЗУ в оголовки рыбоотвода (световой маяк и звуковой манок);

- для сокращения протяженности рыбоотводящих трактов и энергозатрат на организацию в них течения воды (аэратор, места оптимального обитания, световой маяк и звуковой манок).

*Аэратор* целесообразно использовать в водоемах с пониженным содержанием кислорода в воде. В этом случае при размещении различного рода аэрационных установок (плавающих и стационарных аэраторов, перфорированных трубопроводов, подключенных к напорному воздуховоду и т.д.) в удаленных от водозабора участках заморного водоема, можно добиться самостоятельного перехода рыбного стада и кормовой базы водоема из зоны действия водозабора в зону действия аэратора. При этом целесообразно применять мобильные плавающие аэрационные установки, позволяющие более оперативно реагировать на изменение гидрологической, водовоздушной и

гидрохимической ситуации в водоеме и концентрировать рыбу на оптимальных в данный момент участках водоема. Аэратор может быть размещен также в протяженных рыбоотводящих трактах РЗУ для улучшения кислородного режима созданного в них течения, а также на входе в оголовки рыбоотвода для привлечения к нему защищаемых рыб.

*Места оптимального обитания рыб* — участки акватории с оптимальными для обитания рыб рельефом дна, гидрологическим, температурным, кислородным и кормовым режимами, предназначены для улучшения условий обитания и нагула рыб, а также для задержки и полного прекращения ската молоди рыб ранних возрастных групп вниз по течению в зону опасности, например к водозаборным сооружениям.

Места оптимального обитания рыб подразделяются:

- на *руслевые*, предназначенные для задержки ската ранней молоди рыб с нерестилищ. Они устраиваются в русле водотока, непосредственно ниже по течению нерестилищ или выше опасной зоны (водозабора). Локальными стационарными или передвижными русловыми местами оптимального обитания рыб могут быть дооборудованы выходные оголовки рыбоотводов в целях сокращения протяженности рыбоотводящих трактов РЗУ;
- на *береговые ловушки-рыбонакопители*, размещаемые в естественных или искусственных заливах и предназначенные как для задержки ската ранней молоди с нерестилищ, так и, главным образом, для предупреждения попадания молоди рыб в водозаборные и водосбросные сооружения путем удержания рыб в комфортных условиях обитания. В них также могут быть направлены и рыбоотводящие тракты РЗУ.

Места оптимального обитания рыб можно рассматривать как самостоятельные рыбозащитные сооружения, особенно в тех случаях, когда необходимо задержать или полностью прекратить скат рыб в водосбросные сооружения крупных гидроузлов или водоприемники ГЭС. В связи с этим они включают весь комплекс основных функциональных элементов и оборудованы входным потоко- и рыбонаправляющим оголовком, рабочей рыбонакапливающей акваторией и системой (гидравлической, механической, рельефной и т.д.) удержания рыбы в акватории, т.е. противорыбоотводом. Входной оголовки мест оптимального обитания рыб целесообразно оборудовать вспомогательным рыбонаправляющим устройством.

*Световой и звуковой манки* целесообразно использовать в рыбоводных хозяйствах для перераспределения рыб из зон действия водозабора или водосброса в удаленные от них, желательны кормовые, зоны водоема. Манки могут быть различной конструкции при условии, чтобы их сигнал хорошо воспринимался рыбой и подавался во время ее кормления. Манки могут размещаться также в оголовке рыбоотвода для ориентации и привлечения в него защищаемых рыб и на безопасных участках водоема, расположенных за выходным оголовком, как правило, укороченного рыбоотвода для организации самостоятельного движения рыб по намеченной трассе рыбоотведения.

*Репеллентные* вспомогательные элементы предназначены для отпугивания рыб от водоприемной зоны рабочего органа РЗУ в целях предотвращения попадания их в водозабор.

В большинстве случаев в собственно РЗУ они конструктивно и функционально схожи с ориентирующими вспомогательными органами. Однако при определенных

условиях (малая производительность водозабора, значительный ущерб, наносимый им рыбному хозяйству, и т.д.) репеллентные вспомогательные элементы возможно использовать и как самостоятельные рыбозащитные сооружения.

*Водовоздушная завеса (пневмобарьер)* устраивается перед водозабором в индифферентной зоне его влияния, т.е. там, где скорости течения воды в водозабор не превышают пороговых скоростей плавания защищаемых рыб. Весьма желательно, чтобы вдоль ВВЗ существовало транзитное течение водотока. Конструктивно и функционально репеллентная ВВЗ схожа с ориентирующей ВВЗ. Принцип ее действия заключается в отпугивании рыб, соприкасающихся с визуальной непроницаемой, движущейся «стенкой». Кроме того, поскольку репеллентная ВВЗ расположена в зоне пониженных скоростей течения воды, то ее факел поднимается практически вертикально вверх. При этом вдоль факела формируется восходящее водное течение, увлекающее за собой молодь рыб. Растекаясь по поверхности, оно способствует выносу рыб в поверхностном слое от водозабора обратно в водоем, что можно рассматривать как проявление рыбоотводящих функций. Однако наиболее целесообразной является совместная работа ВВЗ с защитно-водоприемной поверхностью рабочего органа иного типа, например переформирующего, с направлением водовоздушного факела спутно транзитному течению в оголовке рыбоотвода, т.е. использование ВВЗ в качестве ориентирующего вспомогательного элемента РЗУ.

*Электрорыбозаградитель* также устраивается в индифферентной зоне влияния водозабора и конструктивно и функционально схож с ориентирующим электрорыбозаградителем. Однако поскольку при его работе не формируются никакие рыбоотводящие течения, то его можно использовать только на водотоках или дооборудовать им транзитные участки рабочих органов РЗУ.

*Световой и звуковой барьеры* — системы пульсирующих ламп, гидрофонов, звуковых вибраторов и т.д., устанавливаемые в индифферентной зоне влияния водозабора, служащие для дооборудования рабочих органов РЗУ и предназначенные для оказания на рыб отпугивающе-ориентирующего воздействия, препятствующего их заходу в опасную зону.

Схема комбинирования переформирующего РЗУ и возможного дооборудования его вспомогательными элементами показана на рис. 5.44.

#### **Алгоритм выбора оптимальной конструкции РЗУ для конкретного объекта**

Выше были рассмотрены характерные особенности составляющих РЗУ основных функциональных (потокоформирующего, рабочего и рыбоотводящего), а также вспомогательных элементов. При создании оптимальных конструкций РЗУ для конкретных объектов необходимо наметить основные пути выбора типа каждого из функциональных элементов. На выбор типа функциональных элементов влияние оказывают следующие факторы:

- существующая в водоеме в зоне действия водозабора *ихтиологическая обстановка* (размерно-видовой состав подлежащих защите рыб, характер их покатных, кормовых и других миграций и т.д.) — на потокоформирующий элемент и главным образом на рабочий орган;
- *топографический, гидрологический, климатический* и другие элементы обстановки — на все три функциональных элемента РЗУ;
- *капитальные и эксплуатационные затраты* — на



все три функциональных элемента и главным образом на рабочий орган и рыбоотвод;

- обеспечение требуемой *рыбозащитной эффективности* — на все три функциональных элемента РЗУ и главным образом на потокоформирующий элемент;
- обеспечение *отвода* защищенной молоди рыб в жизнеспособном состоянии в безопасное место рыбообитаемого водоисточника — на рыбоотвод.

Принимая во внимание вышесказанное, следует отметить, что при разработке конструкции РЗУ, оптимальной для условий конкретного водозабора, можно составить алгоритм решения этой задачи, приведенный на рис. 5.48.



Рис. 5.48. Алгоритм выбора оптимальной конструкции РЗУ для конкретного объекта

На первом этапе работ проводится обследование объекта (водоема и расположенного на нем водозабора). Параллельно ему осуществляется анализ существующих конструкций функциональных элементов, выбираются

их типы, наиболее подходящие для конкретных условий рассматриваемого объекта. При этом определяется набор основных исследований и изысканий, необходимых для полноценной разработки рыбозащитного комплекса, состоящего из проанализированных и отобранных типов функциональных элементов.

Параллельное ведение изыскательских и предпроектных разработок позволяет:

- во-первых, сэкономить средства, отказавшись от проведения исследований и изысканий в полном объеме и получения при этом значительного объема информации об объекте, не востребуемой затем при реальном проектировании;
- во-вторых, сконцентрировать силы и средства на решении действительно необходимых проблем, возникающих при разработке для конкретного объекта РЗУ, состоящего из наиболее подходящих к данным условиям функциональных элементов.

На втором этапе на основе полученных результатов исследований и изысканий осуществляется взаимное сопоставление отобранных для дальнейшей разработки функциональных элементов. Его результатом должен явиться выбор комплекса оптимальных для конкретных условий и взаимосвязанных типов каждого из трех основных функциональных, а также вспомогательных элементов, входящих в состав РЗУ, оптимального для конкретного водозабора, расположенного на конкретном водоеме.

На третьем этапе происходит непосредственное конструирование РЗУ:

- составление конструкции из трех основных функциональных элементов;
- дооборудование ее по необходимости вспомогательными элементами;
- компоновка рыбозащитного комплекса на водозаборе с дооснасткой его дополнительными элементами (сопрягающими и переходными устройствами, различными механизмами и т.д.).

Метод выбора оптимальной конструкции РЗУ реализован более чем в 30 проектах рыбозащитных сооружений для таких объектов, как водозаборы Севанской ГЭС на оз. Севан, Череповецкой ГРЭС на р. Суде, Конаковской и Нижегородской ГРЭС на р. Волге, АЭС Куданкула м в Индийском океане, Калининской ТЭЦ-3 на р. Тверце, Кумертауской ТЭЦ и ТЭЦ «Салаватнефтеоргсинтеза» на р. Белой, а также Шалинской оросительной системы на р. Аргуне, Ракетно-космического центра им. Хруничева на р. Москве, Заволжского моторного завода на оз. Михалево и др.

Новизна метода заключается в реализации трехступенчатой схемы осуществления рыбозащиты с обязательным использованием в структуре РЗУ входного потокоформирующего элемента, обеспечивающего бесконтактную, т.е. нетравмирующую, защиту молоди рыб и являющегося доминирующим конструктивно и гидравлически образующим элементом всего устройства. Реализация метода возможна на водозаборных сооружениях различного назначения, расположенных на любых рыбообитаемых водоемах и водотоках.