

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЗАБОРОВ СИСТЕМ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

С.Ш. Сайридинов

Кафедра водоснабжения и водоотведения  
Тольяттинский государственный университет  
ул. Белорусская, 14, Тольятти, Россия, 445667

Выполнен анализ применимости существующих методов защиты рыб, обосновывается преимущество фильтрующего водоприема по сравнению с другими методами водоотбора при эксплуатации водозаборов систем коммунального водоснабжения.

**Ключевые слова:** водозабор, рыбозащитные устройства (РЗУ) (сооружения), очистные сооружения, фильтрующий водоприем.

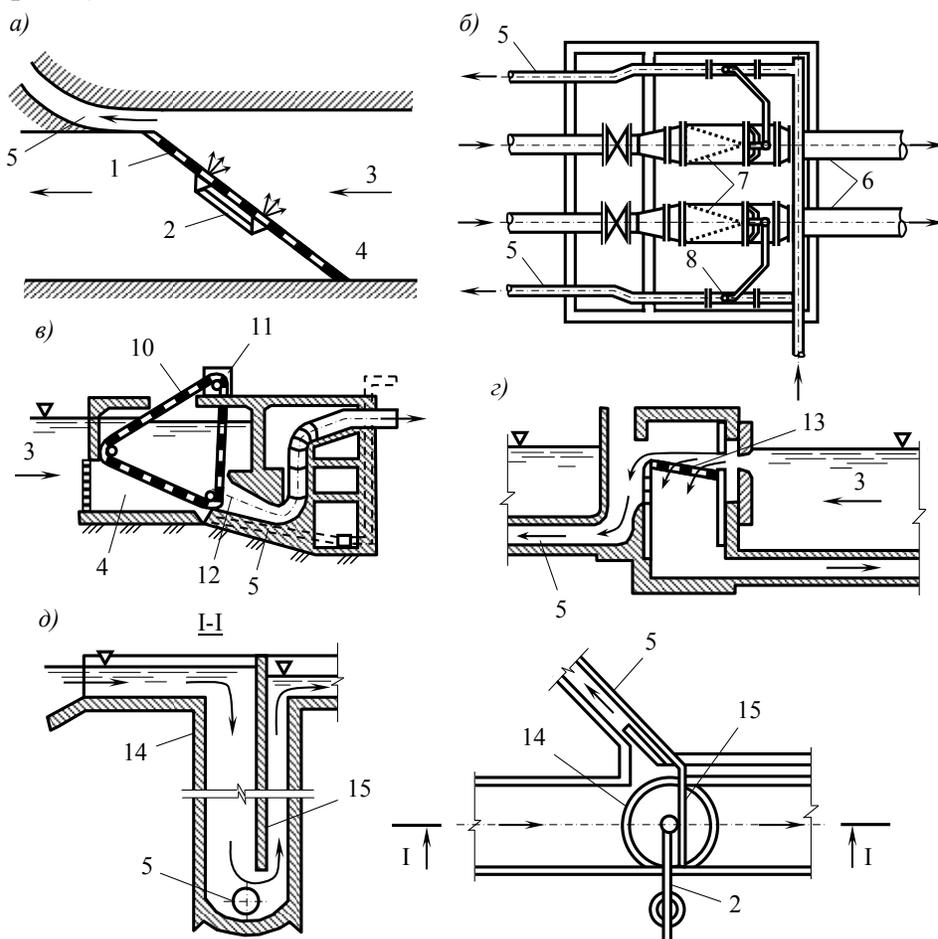
Задача любого водозабора из поверхностных источников — бесперебойно при любых сочетаниях помех (шуга, взвесь, планктон и др.) подать потребителям требуемые расходы воды. Одновременно водозабор должен быть рыбозащитным сооружением. Рыбозащита на водозаборах достигается соответствующей конструкцией водоприемников (инфильтрационные, фильтрующие, ковшевые и т.д.), оборудованием их различными РЗУ либо созданием рыбозащитных сооружений в составе водозаборных узлов. РЗУ не должны осложнять эксплуатацию водозаборов; они должны быть простыми и функциональными по конструкции, должны действовать автоматически; быть экономичными и безопасными для молоди рыб, особенно с длиной тела  $l \leq 5—10$  мм; соответствовать режиму водоисточников и др.

Эффективность РЗУ зависит от полноты учета особенностей поведения рыб и соответствия основных функциональных (рыбозащитных) элементов РЗУ задачам отпугивания либо задержания рыб, их молоди, личинок, икринок перед или на поверхностях заграждений с безопасным принудительным возвращением их в водоем. Важнейшая особенность поведения рыб — *реореакция* — заключается в том, что при наличии течений и зрительных ориентиров рыбы обычно двигаются головой навстречу им.

Использование других рефлексов и органов чувств молоди рыб для управления ими в целях рыбозащиты, в том числе и на водозаборах, пока находится в стадии лабораторных экспериментов. Создание и регулирование световых воздействий для ранней молоди рыб могло бы использоваться для рыбозащиты при соответствующих обоснованиях. Обоняние рыб могло бы иметь некоторое значение для отпугивания либо приманивания рыб носителями определенных запахов. Звуки (рыбы воспринимают звук в диапазоне 16...13 000 гц) заметно изменяют активность и поведение рыб. Ультразвук (в отличие от инфразвука) рыбы не воспринимают, но он вызывает кожные болевые ощущения и отпугивает их. Технологические решения РЗУ с использованием названных направлений воздействия на поведение рыб для недопущения их в зону питания водоприемников практически мало разработаны, и для их применения необходимы дополнительные исследования.

Следует применять те конструкции РЗУ, которые прошли длительную практическую проверку на действующих водозаборах, обеспечивая различную степень защиты рыб и их молоди. Исходя из принятых в нормативах и литературе классификаций РЗУ и анализа имеющихся материалов с учетом результатов собственных исследований РЗУ на многих водозаборах в бассейнах рек Хопра, Волги, Вычегды, Печоры, рек Сибири и др., попытаемся выполнить ихтиолого-инженерную оценку некоторых конструкций РЗУ.

**Механические РЗУ** (иначе заградительные рыбозащитные сооружения, что мы считаем неправильным) основаны на принципе задержания рыб и их молоди перед водозабором с помощью каких-либо заграждений, завес, полей с последующим, обычно принудительным, отводом рыб и молоди в водоем. Достаточно распространены рыбонепроницаемые экраны (заграждения): сетчатые и перфорированные экраны, щиты-экраны, плоские, цилиндрические, конические и иные преграды (рис. 1).



**Рис. 1.** Рыбозащитные устройства с рыбоотводом:

*a* — плоская сетка; *б* — с установкой конусных сеток на самотечных водоводах; *в* — ленточная вращающаяся сетка; *г* — «Скиммер»; *д* — с неполной перегородкой в шахте; 1 — рыбозаградитель; 2 — промывное устройство; 3 — водозаборный канал; 4 — аванкамера; 5 — рыбоотвод; 6 — самотечные водоводы; 7 — конусные сетки; 8 — эжектор; 9 — камера сеток; 10 — вращающаяся сетка; 11 — привод; 12 — водозабор насосной станции; 13 — решетка; 14 — шахта; 15 — перегородка

Рыбонепроницаемые РЗУ имеют жесткие границы подхода рыб, молоди, разного сора с водой к заграждениям. Площади этих экранов относительно малы и располагаются непосредственно перед водозаборами. Рыбы и их молодь не имеют возможности маневра и вынуждены двигаться вместе с сором, наносами, планктоном и др. в поступающем к водозабору потоке воды. Из этого потока среди сора рыбы и их молодь должны найти вход в рыбоотвод, вернее, принудительно поступать в него. При лобовом подводе забираемой из береговых колодцев воды к водоочистным сеткам (плоским, вращающимся) рыбы, молодь, личинки превращаются в разновидность задерживаемого на сетках сора. При этом какого-либо разделения мусора от рыб, сепарации молоди не производится. Во многом это объясняется технологически порочными принципами компоновки водозаборных узлов и РЗУ на них. Потерявшая плавательную способность молодь рыб, лишенная возможности проявлять какие-либо спасающие ее защитные реакции, неизбежно превращается в разновидность мусора. Перед любыми сеточными полотнами разных типов и конструкций молодь рыб смешивается с мусором (листьями, планктоном, взвесью разного вида, наносами и др.), образуя органоминеральную смесь, поступающую в рыбоотводы. При соприкосновении с сеточными полотнами основная часть молоди неизбежно погибнет. Часть молоди принудительно поступает в рыбоотводы, получая травмы, несовместимые с жизнью, и погибает еще до эвакуации в водоемы. Нам не удалось обнаружить сведений о жизнеспособности и выживаемости молоди рыб, прошедшей рыбоотводы. Неизвестно также, выполнялись ли вообще исследования в этом направлении, а если выполнялись, то какова их достоверность.

Эффективность **электрорыбозаградительных устройств (ЭРЗУ)**, по оценкам специалистов, составляет до 40%. Отмечается, что ЭРЗУ вообще малоэффективны, особенно для молоди. Увеличение напряжения электрополя ведет к гибели мелких рыб, попавших в зону действия ЭРЗУ. За рубежом ЭРЗУ используют достаточно широко для защиты взрослых лососевых рыб и молоди размером  $\geq 40$  мм. В США их эксплуатация началась с 1920-х гг. Наиболее распространены ЭРЗУ Берки и Мак-Миллана. ЭРЗУ Берки состоит из одного ряда металлических прутьев (трубок малого диаметра), вертикально опущенных в воду. Это первый электрод; второй электрод — труба большого диаметра на дне водоема вдоль подвешенного ряда электродов. Питание ЭРЗУ осуществляется импульсным током; создаваемое заградителем электрополе неоднородно по глубине, а величина напряжения возрастает у электродов и снижается между ними. ЭРЗУ Мак-Миллана имеет два вертикальных параллельных ряда электродов, расположенных в шахматном порядке. Расстояние между рядами электродов превышает расстояние между электродами в каждом ряду. Электрическое поле между электродами способно убить крупную рыбу. В конструкции Ейтса соседние электроды каждого ряда имеют противоположную полярность. Д. Летлин увеличил расстояние между электродами и диаметры электродов в ряду, обращенном к месту подхода рыб, создав выпячивание электрического поля и более плавно изменяя напряженность по мере удаления от электродов.

В ФРГ разработана конструкция ЭРЗУ на импульсном токе из двойных Т-образных секций, закрепленных на металлических основаниях (первый электрод);

второй электрод — решетчатый береговой мусоросборник. Зарубежные авторы четко определяют, что ЭРЗУ относительно эффективны для взрослых рыб и малоэффективны для покнатной молоди.

В зоне действия ЭРЗУ в воде создается плоско-параллельное пульсирующее поле, конфигурация которого одинакова в любом горизонтальном сечении по всей глубине перекрываемого потока. Напряженность поля возрастает по мере приближения к створу электродов. Рыба в электрополе стремится от катода к аноду. Попав к ЭРЗУ (в зону пульсирующего электрического поля), рыба не получает травм, но испытывает болевые ощущения, вызывающие у нее защитную реакцию. Рыба меняет направление движения и отходит от преграды.

Низкая эффективность ЭРЗУ и недостаточная обоснованность их применения на водозаборах во многом объясняется недоучетом целого комплекса специфических биоэлектромагнитных явлений и связей рыб с окружающей средой. Интересные данные по изучению электрических колебаний, генерируемых рыбами — обитателями водных акваторий России, получил Б.М. Басов (1985 г.). У многих видов водных обитателей генерация слабых электрических колебаний связана с активизацией локомоций (движений тела, плавников, хвоста и т.п.). Амплитуда этих колебаний на расстоянии 10 см у линя составляет  $60 \pm 12$  мкВ, у леща и карася —  $80 \pm 12$ , у верховки —  $90 \pm 10$ , у озерного гольца —  $125 \pm 25$ , у радужной форели —  $170 \pm 15$ , у обыкновенной щуки —  $175 \pm 12$ , у налима —  $200 \pm 10$  мкВ.

Чувствительность к электрическому полю у разных видов рыб также имеет существенные отличия. Например, судак реагирует вздрагиванием при напряженности 0,87 мВ/см, а чтобы добиться аналогичной реакции у карася, необходимо подать от 5,5 до 16 мВ/см. Кстати, последняя характеристика свойственна многим видам рыб благодаря чему они, по-видимому, не могут пользоваться генерируемыми ими же электрическими колебаниями в качестве средства ориентации и связи. Лишь в больших скоплениях (косяках), когда происходит суммация и синхронизация биоэлектрических полей, генерируемых стаей рыб, отмечается упорядочение (координация) последних и, соответственно, рыбам легче ориентироваться. Можно предположить, что упомянутое изменение конфигурации суммарного электрического поля стаи в результате взаимодействия с магнитным полем Земли может использоваться рыбами в системе навигации.

Из множества материалов по рыбозащите, экспериментальных исследований 1980-х гг., сводных комплексных работ по водозаборах, где обеспечивается рыбозащита, видно, что основным направлением рыбозащиты должны стать решения, максимально простые в устройстве и в эксплуатации, действительно эффективные по своему основному назначению — рыбозащите, наиболее полно и рационально сочетающие задачи технологий водоотбора и рыбозащиты в любых природно-гидрологических и ихтиологических условиях.

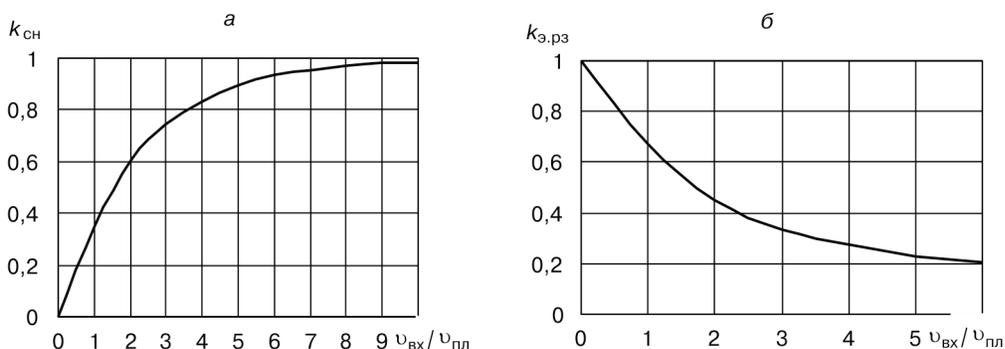
К группе непроницаемых для рыб и проницаемых для воды мы рекомендуем фильтрующие элементы водозаборов, отличающихся большим разнообразием типов, конструкций: фильтрующие дамбы, островки, стенки, ряжевые оголовки, сифонные фильтры, откосы, уступы, кассеты и др. Эти РЗУ-сооружения непроницаемы для любых видов крупной взвеси, рыб и их молоди и издавна успешно применяются в практике водозабора в России в различных природно-климатиче-

ских и ихтиологических условиях, включая Сибирь и Европейский Крайний Север. Сооружения этой группы РЗУ имеют существенные преимущества перед другими.

**Фильтрующие РЗУ** — это, пожалуй, единственные устройства, предназначенные для предотвращения попадания рыб в водозаборы, которые могут обходиться без рыбоотвода, т.е. системы, отводящей рыб из зоны действия водозаборного (рыбозащитного) сооружения. Это объясняется тем, что при их устройстве требуется задавать фильтрующую (защитно-водоприемную) поверхность такой площади, чтобы скорость подхода воды к ней была бы значительно ниже критических скоростей плавания защищаемых рыб.

В результате многолетних комплексных экспериментальных и натурно-производственных исследований водозаборов в разных регионах страны (до 1984 г. под руководством А.С. Образовского [5]) установлено [2; 4], что главными факторами, определяющими вовлекаемость в речные водоприемники молоди рыб (также как и мусора, шуги, водорослей и др.), являются: 1) соотношение скоростей речного потока  $v_p$  и скоростей втекания отбираемой в водоприемник воды  $v_{вх}$ ; 2) соотношение скоростей входа воды в водоприемник  $v_{вх}$  и скоростей плавания защищаемой молоди рыб  $v_{пл}$ . Водоочистная, шуго- и мусорозащитная способность любого типа водоприемников возрастает по мере увеличения значений соотношений  $v_p/v_{вх}$  и, видимо, близка к 100% на инфильтрационных водозаборах (рис. 2 а). Эффективность рыбозащиты на водоприемниках тем выше, чем меньше значения соотношений  $v_{вх}/v_{пл}$  (рис. 2 б) при снижении значений  $v_{вх}$  до значений  $v_{пл}$  самых мелких особей ( $l \leq 5-10$  мм) рыб, имеющих  $v_{пл} \leq 0,1$  м/с.

Минимизировать ущерб ихтиофауне при отборе воды возможно, если обязательно учитывать, что рыбы и их молодь по существу представляют собой организмы, чутко реагирующие поведенческими реакциями на обширный спектр раздражений, создаваемых водозаборами, РЗУ и т.д.; сообщества множества видов разноразмерных разновидовых особей с особым пространственно-временным распределением их в воде; биологические объекты с дискретностью, размерами, плотностью, присущими каждому виду и каждой стадии онтогенеза, особенностями взаимодействия с водными массами источников и т.д.



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента снижения вовлекаемости взвеси из речного потока  $k_{сн}$  от соотношения  $v_p/v_{вх}$  (а) при  $v_{вх} = 0,1$  м/с и коэффициента эффективности рыбозащиты  $k_{э,рз}$  от  $v_{вх}/v_{пл}$  (б) при  $v_{пл} = 0,1$  м/с

Из множества конструктивно-технологических решений фильтрующих водоприемников, обеспечивающих предпочистку забираемой воды, защиту от шуги, мусора, водорослей и т.д. при безусловном обеспечении рыбозащиты, наибольшее применение и апробацию получили водозаборные сооружения в виде инфильтрационных, инфильтрационно-фильтрующих и фильтрующих модификаций. По рыбозащитным свойствам, экологической обоснованности, универсальности применения, технической реализуемости и простоте конструкций и эксплуатации фильтрующие водозаборно-очистные сооружения многократно превосходят сеточные РЗУ и конкурентоспособны с пневмобарьерами (ПБ) и воздушно-пузырьковыми завесами (ВПЗ).

Поверхности водоприемных фильтров (рыбозащитных поверхностей) воспринимаются рыбами начиная с послеличиночного развития локационно непроницаемыми. Это обстоятельство установил и доказал А.С. Образовский [4; 5]. Но многие специалисты по РЗУ, особенно по сеточным конструкциям, этот важнейший для сохранения молоди рыб факт не учитывают. Локационная непроницаемость фильтрующих РЗУ — одно из важнейших функциональных преимуществ их по сравнению с рыбозащитными решетками, сетками, электрорыбозаградителями и открытым водоприемом. При разработке конструкций РЗУ важно учитывать в основном три вида скоростей плавания рыб: крейсерская скорость  $v_{кр}$  (часто эту скорость обозначают также  $v_{пл}$ ), поддерживаемая скорость  $v_{под}$  и скорость бросковая  $v_{бр}$  (или  $v_{рыбк}$ ). Верхний предел этих скоростей — максимальная скорость  $v_{max}$ . Каждая из этих скоростей характеризует плавательную способность  $T_{пл}$ , т.е. длительность времени, в течение которого каждая особь способна поддерживать движение в потоке и проявлять защитные реакции. Разные авторы по-разному трактуют эти термины, но все отмечают, что  $v_{max}$  ( $v_{рыбк}$ ,  $v_{бр}$ ) рыба способна поддерживать лишь доли секунд или секунды. Для крупных особей рыб предлагаемые нормативами по проектированию РЗУ [7; 8] скорости  $v_{вх}$  или  $v_{вт}$  в водоприемники не представляют угрозы при изъятии воды, а для объекта рыбозащиты (молодь и личинки с  $l \leq 20$  мм) реальна угроза их гибели. Взрослые особи безопасно отходят из зоны водоотбора даже при значительно больших  $v_{вх}$ , чем это рекомендуют СНиП [4; 8; 9; 10].

На основе материалов исследований фильтрующих сооружений можно сформулировать основные достоинства фильтрующих сооружений для водоотбора, которых невозможно достичь другими решениями водоотбора:

- практически любое развитие водоприемного фронта на любых водоисточниках при безусловном учете всех обычных и чрезвычайных проявлений помех водоотбору;
- достижение минимизации нарушений естественного гидрологического режима источников;
- создание наиболее целесообразной компоновки водозаборного узла для конкретных условий водоисточников;

— обеспечение любых скоростей  $v_{\text{вх}}$  (для целей рыбозащиты  $v_{\text{вх}} \leq v_{\text{пл}}$ ), чтобы исключить вовлекаемость молоди рыб в водозабор;

— надежная защита системы водообеспечения от шуго-ледовых помех, планктона, сора, наносов и др.;

— достижение любой заданной степени очистки воды от механических взвесей любого вида со значительной биологической предочисткой;

— радикальное решение задач рыбозащиты;

— возможность наиболее рационального совмещения функциональных задач водоприема и водозаборного узла в едином комплексе сооружений (в едином сооружении);

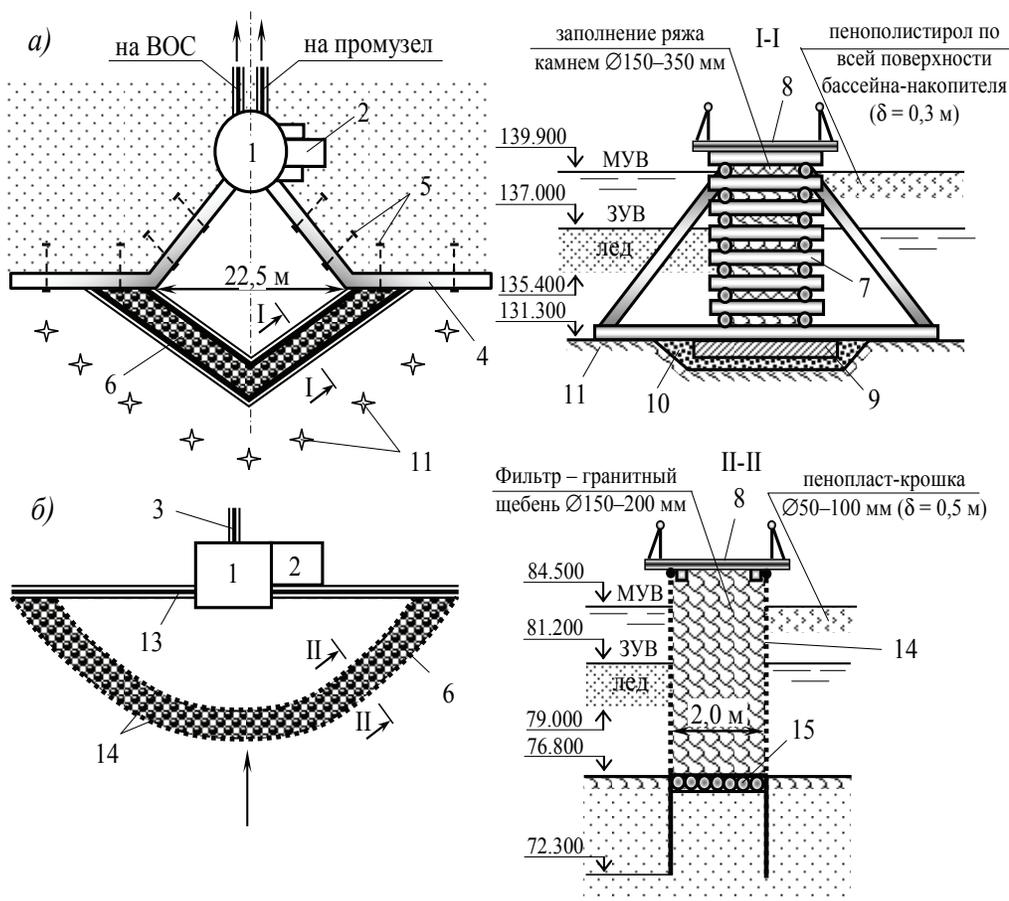
— возможность организации надежной регенерации пропускной способности фильтрующих сооружений (обратной промывкой, руслорегулированием, гидроимпульсной промывкой [4; 5; 11], секционированием водоприемного фронта;

— возможность приспособления фильтрующих сооружений для водоотбора в любых регионах России и СНГ при различных направлениях водоприема [4; 5; 11] и при реализации схем фильтрующего, инфильтрационно-фильтрующего, инфильтрационного либо комбинированного водоотбора исходя из режима источников, категории и степени надежности (ответственности) водозаборных узлов.

Для оценки особенностей работы фильтрующих водоприемников, их шуго-, мусоро- и рыбозащитных свойств и эффективности совокупного их действия, например, в специфических природно-климатических и гидролого-ихтиологических условиях Севера России потребовались натурно-производственные исследования и обследования действующих водозаборных узлов в разных регионах. Интересен проект водозабора (ТПИИ «Якутгипроводхоз», г. Якутск, 1985 г.) с фильтрующей ряжевой стенкой из водохранилища на р. Дьенг-Кююдэ для водоснабжения поселка Бердигестях и комплекса горных предприятий (западные улусы Республики Саха (Якутия)). Река Дьенг-Кююдэ с одноименным озером образуют единую гидрологическую и рыбохозяйственную систему, куда из рек Лена и Вилюй заходят на нерест ценные виды рыб (чир, муксун, омуль и др.). Конструкция водозабора достаточно проста, капитальна и рассчитана на значительные колебания уровней (до 5—6 м), ледовые воздействия, шуго-ледовые помехи, обилие таежного мусора — листья, ветки, хвоя и пр. Производительность водозабора  $Q_{\text{вх}} = 13,0 \text{ м}^3/\text{с}$  (летом) и до  $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$  — зимой. За счет малых скоростей фильтрации ( $v_{\text{ф}} \leq 0,10 \text{ м/с}$ ) и преимущественно снежно-ледникового питания реки взвесь в летние месяцы не превышает 35—50 мг/л и на фильтре обеспечивается осветление воды до 1,5 мг/л (рис. 3 а).

Фильтрующая стенка для забора  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  (зима) —  $7,0 \text{ м}^3/\text{с}$  (летом) разработана для водоснабжения одного из ГОК с поселком на северо-западе Якутии из водохранилища. Эта конструкция нами предлагается для капитальных (на срок отработки месторождений) промышленных сооружений при наличии рыхлых аллювиальных отложений под забивку шпунта. Перфорация отдельных шпунтин воз-

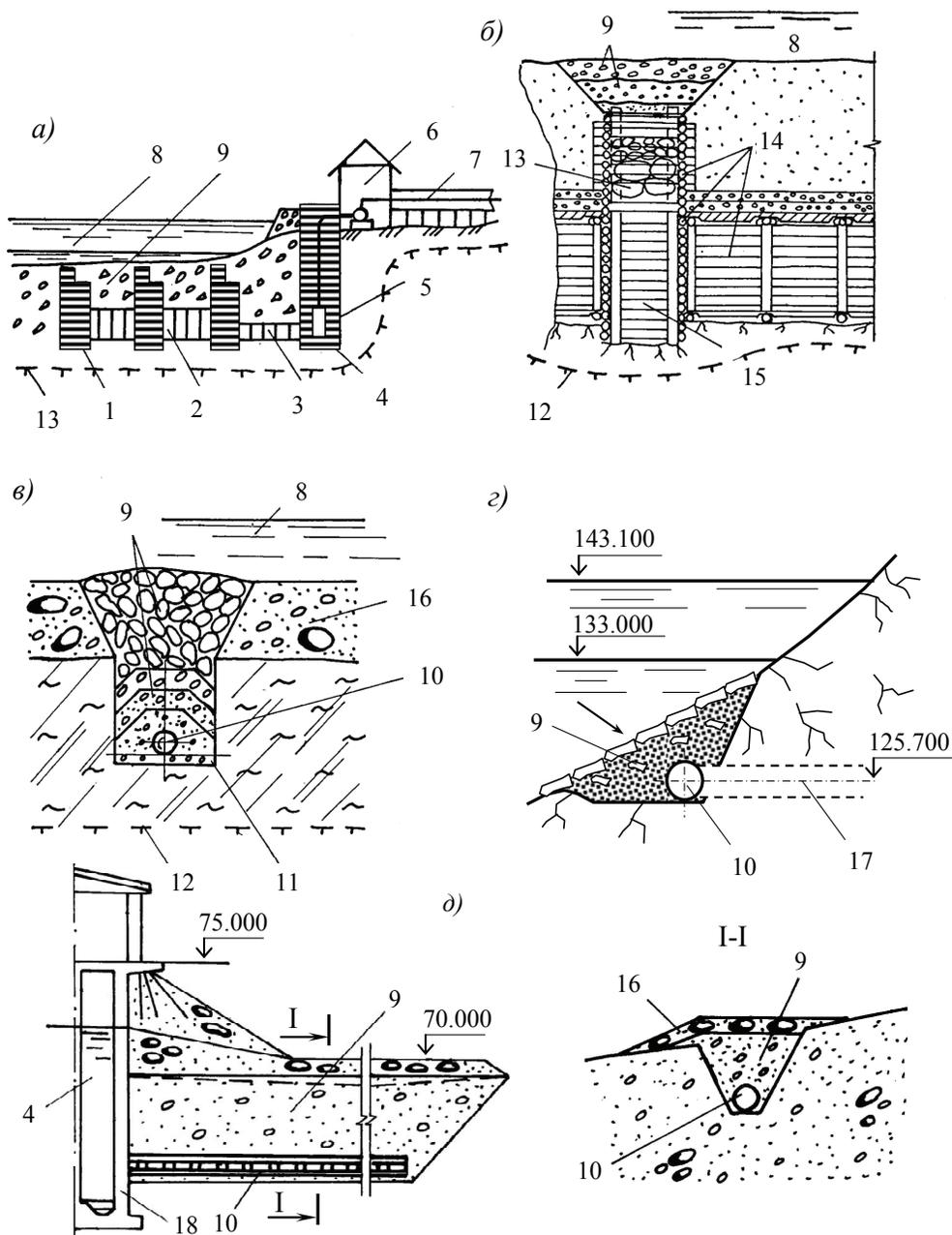
можно любая (круглая, продольными прорезями, щелевая и др.), скважностью до 35% площади надземной части шпунта (рис. 3 б).



**Рис. 3.** Примеры фильтрующих водозаборов с повышенной рыбозащитой в системах водоснабжения:

*а* — фильтрующий ряжевый водоприемник с бассейном-накопителем; *б* — фильтрующая стенка; 1 — береговая шахта с НС-1 (Ø 7,5 м); 2 — энерго-тепловой блок; 3 — водоводы; 4 — подпорная стенка; 5 — анкеры; 6 — фильтр; 7 — ряж; 8 — мостки; 9 — ж/б плита ( $d = 220$  мм); 10 — подготовка; 11 — скальное основание; 12 — льдозащита — сипаи, через 3,0 м; 13 и 14 — сплошная и перфорированная шпунтовые стенки (ШП-1); 15 — спллок (из лафета (Ø 250 мм))

Были обследованы подрусовые фильтрующие галереи, где проблема рыбозащиты решена радикально, на водозаборах пос. Северный (р. Яна), р.д. Хандыга (р. Индигирка) и др. Такие решения стали, в сущности, типовыми и оправдали себя, многократно окупив за время эксплуатации (с 1939 по 1941 г.) (рис. 4). Вариант простейшего водозабора — береговой фильтрующей дрены (р. Лена, пос. Мохсоголлох) приведен на рис. 4 *г*. Такое решение приемлемо для временного, аварийного либо сезонного водоснабжения. Заслуживает внимания обследованный нами фильтрующий лучевой водозабор на севере Тюменской области (рис. 4 *д*), построенный для предочистки воды при заводнении нефтяных пластов.



**Рис. 4.** Примеры водозаборов комбинированного действия с повышенной рыбозащитой:

*а* — фильтрующая галерея с обводнительными колодцами; *б* — фильтрующий колодец; *в* — фильтрующая траншея; *г* — береговая дрена; *д* — фильтрующий лучевой водозабор; 1 — обводнительный колодец; 2 — галерея; 3 — самотечная часть галереи; 4 — шахта; 5 — насос; 6 — насосная; 7 — водоводы; 8 — река; 9 — фильтр; 10 — дрена; 11 — траншея; 12 — мерзлота; 13 — утепление; 14 — элементы деревянных галерей; 15 — колодец; 16 — местный грунт; 17 — водоотвод; 18 — стенка шахты

Приведенные выше конструкции фильтрующих водозаборов в наибольшей мере соответствуют природно-мерзлотным и гидрологическим условиям Севера России.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Вдовин Ю.И., Анисимов А.В. и др.* Фильтрующие рыбозащитные сооружения и устройства коммунальных и промышленных водозаборов. — Пенза, 2002.
- [2] *Лушкин И.А.* Исследования фильтрующего водоприема из источников с обильной водной растительностью: Дисс. ... канд. техн. наук. — Пенза, 1999.
- [3] *Михеев П.А.* Рыбозащитные сооружения и устройства. — М.: Рома, 2000.
- [4] *Вдовин Ю.И., Кордон М.Я., Волков В.Н., Лушкин И.А.* Фильтрующие рыбозащитные сооружения и устройства коммунальных и промышленных водозаборов. — Пенза—Ухта: МНИЦ ПГСХА, 2002.
- [5] *Образовский А.С., Ереснов Н.В., Казанский Е.А., Ереснов В.Н.* Водозаборные сооружения для водоснабжения из поверхностных источников. — М.: Стройиздат, 1976.
- [6] *Вдовин Ю.И.* Водоснабжение на Севере. — Л.: Стройиздат, 1987.
- [7] СНиП 2.06.07-87. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. — М., 1987.
- [8] СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1985.
- [9] Пособие по проектированию рыбопропускных и рыбозащитных сооружений (к СНиП 2.06.07-87). — М.: Гидропроект, 1988.
- [10] ВНИИ ВОДГЕО. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод. — М.: Стройиздат, 1990.
- [11] *Журба М.Г., Вдовин Ю.И., Говорова Ж.М., Лушкин И.А.* Водозаборно-очистные сооружения и устройства. — М.: Астрель, 2003.

## WATER INTAKE STRUCTURE AND PUBLIC WATER SYSTEM OPERATION TECHNOLOGICAL FEATURES

**S.Sh. Sairiddinov**

Department of Water Supply and Sanitation  
Togliatti State University  
*Belarus str., 14, Togliatti, Russia, 445667*

The analysis of fish protecting existing methods applicability has been carried out. And during the water intake structure and public water system exploitation. filtering water intake has been favored over other water intake methods.

**Key words:** water intake structure, fish protection structure, treatment facilities, filtering water intake.