

МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МОРСКОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ
(ВНИРО)

На правах рукописи

ДОКУКИН МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОЛОДИ РЫБ
В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ РЫБОНАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ

(Специальность № 05.18.17 –
Промышленное рыболовство)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1978

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

Научный руководитель - кандидат технических наук, лауреат Государственной премии **А.В.ТЕРЕНТЬЕВ**

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент **И.В.МАТВЕЕВ**

Официальные оппоненты: доктор технических наук
И.В.НИКОНОВ
кандидат технических наук
А.Л.ФОНАРЕВ

Ведущее предприятие - Управление "Севкаспрыбвод" (Астрахань).

Защита состоится "2" июня 1978 г. на заседании специализированного совета Д 11.701.01 по защите диссертаций на соискание ученых степеней по специальности № 05.18.17 - промышленное рыболовство при ВНИРО.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Письменный отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью учреждения, просим направить во ВНИРО по адресу: 107140, Москва, ул.В.Красносельская, 17а.

Автореферат разослан "28 апреля" 1978 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
К.Т.Н., доцент

С.С.ТОРБАН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Данная работа направлена на повышение эффективности труда в рыбоводстве и качества работы рыбозащитных сооружений за счет внедрения на операциях отлова и транспортирования молоди рыб высокопроизводительных орудий лова - центробежных рыбонасосов. Проведенные исследования позволяют производить инженерный расчет указанных орудий и допустимых эксплуатационных параметров, при которых сохраняется жизнедеятельность молоди.

Цель работы - исследовать факторы водного потока в центробежных рыбонасосных установках, влияющие на жизнедеятельность рыб, и на основании исследования разработать практические рекомендации.

Методика исследований. В работе использованы методы математического анализа, моделирования, а также экспериментальных исследований, результаты которых обработаны методами математической статистики и корреляционного анализа.

Научная новизна. Определены условия, которые необходимо учитывать при расчете центробежных рыбонасосных установок, обеспечивающих сохранение жизнедеятельности рыб. На основании обобщения литературных данных по газообмену рыб предложена формула инженерного расчета параметров гидротранспортной линии для живой рыбы. С помощью пневматического устройства произведено моделирование изменения давления, которое испытывает рыба при движении по проточным полостям центробежной рыбонасосной системы. Установлена величина допустимого вакуума в приемном трубопроводе. Дано обоснование конструкции двухступенчатого центробежного рыбонасоса и предложена методика расчета залавливающего устройства.

Практическая ценность. На основании результатов проведен-

ных исследований предложена методика инженерного расчета известных центробежных установок применительно к отлову и гидро-транспортированию молоди рыб, а также даны обоснования разработки нового оборудования.

Реализация работы. Разработанные методические рекомендации утверждены Минрыбхозом СССР и опубликованы в 1975 г. Новые двух-ступенчатые центробежные рыбонасосы серийно выпускаются на Кандакшском механическом заводе и с 1976 г. начато их внедрение на предприятиях Главрыбвода.

Апробация. Работа по мере выполнения ее этапов докладывалась и обсуждалась

- на Всесоюзном совещании по гидромеханизации в рыбной промышленности (Калининград, 1971 г.);
- на Всесоюзном семинаре "Опыт внедрения и использования рыбонасосов на промысловых судах" (Мурманск, 1973 г.);
- на IY и VI Советско-Японских симпозиумах по аквакультуре (Таллин, 1975 г., Батуми, 1977 г.).

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 8 работ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 136 страницах, содержит 29 рисунков и 8 таблиц; библиография содержит 105 наименований. В приложениях даны вспомогательные материалы, акты и протоколы промышленных испытаний, производственной проверки и внедрения, а также расчет экономической эффективности.

I. Состояние вопроса, цель и задачи исследования

До последнего времени главной задачей промышленного рыболовства была добыча природного рыбного сырья для пищевых нужд человека. Следовательно, молодь рыб не рассматривалась как объект промышленного рыболовства.

В настоящее время все большее значение приобретает новая отрасль рыбной промышленности - аквакультура - хозяйственное освоение водной среды. С развитием традиционного рыболовства, расширением искусственного воспроизводства, появлением озерных и морских садковых хозяйств методы и орудия промышленного рыболовства все шире используются для отлова именно молоди рыб. Для примера достаточно указать на широкое использование таких

орудий как бонитировочный трал при оценке продуктивности прудов, или бредень при их облове. Таким образом, молодь рыб становится распространенным промышленным объектом. Но применение известных орудий промышленного рыболовства к данному объекту осложнено требованием сохранения жизнедеятельности молоди рыб.

При отлове молоди сетными орудиями гибель рыб по нашим наблюдениям в экспериментах 1971г. в среднем совпадает с данными зарубежных специалистов - до 10%. По-видимому, наилучшим методом отлова и пересадки живой рыбы следует считать транспортирование ее вместе с естественной средой обитания, т.е. в потоке воды, исключив контакт с сетным орудием лова и ручными приспособлениями для перегрузки.

Перемещение рыбы с потоком воды осуществляется средствами напорного и безнапорного гидротранспорта. В подавляющем большинстве случаев только напорный гидротранспорт сможет обеспечить все возможные варианты перемещения живой рыбы в пределах рыболовного предприятия. Поэтому безнапорный - в нашей работе не рассматривается.

В любой напорной гидротранспортной линии основным органом является насосный агрегат. Среди различных типов насосов наилучшим по компактности и энергетическим показателям является центробежный рыбонасос. Это наиболее распространенное ору-

дие бессетового лова рыб, а также эффективное средство гидро-механизации при перегрузках рыбы в море и на побережье. Приведенные соображения определили выбор для отлова молоди рыб данного орудия лова, ставшего предметом нашего исследования.

Принципиальная осуществимость выбранного метода отлова молоди рыб подтвердилась в ходе наших предварительных экспериментов, а также в опытах ряда других исследователей (Мамонтов, 1969; Цыплев, 1972). Но указанные опыты не позволяют создать обобщенные рекомендации. Для выработки таких рекомендаций необходимо установить:

- какие факторы водорыбного потока необходимо рассматривать;
- в каких пределах и как могут изменяться факторы, воздействующие на рыбу;
- насколько организм рыбы может приспособиться к тем или иным изменениям.

На основании анализа некоторых обобщающих работ по экологии рыб (Строганов, 1962; Никольский, 1961), а также исследований рабочего процесса центробежного рыбонасоса (Терентьев, 1950; Никоноров, 1963; Краковский, 1971) был сделан предварительный вывод об опасном воздействии на живую рыбу следующих факторов, специфичных для напорного гидротранспортирования:

- факторы, приводящие к наружным повреждениям рыб - обдиранию чешуи, царапинам, надрывам кожи;
- факторы, приводящие к внутренним повреждениям рыб - повреждениям внутренних органов, нарушению обмена веществ.

Работа орудия лова, как это доказано теорией и практикой промышленного рыболовства, должна рассматриваться во взаимодействии с живым объектом лова (Баранов, 1923; Андреев, 1970; Ионас, 1960 и др.). В соответствии с этим исходным положением

применительно к центробежным рыбонасосам установлено, что вероятность наружных повреждений рыб будет существенно снижена при высоком качестве поверхности проточных полостей и оптимальном режиме работы рыбонасоса (Краковский, 1971). Однако, опасность для рыб их двигательной активности внутри насосного орудия не исследована.

К сожалению до последнего времени не были изучены факторы, вызывающие внутренние повреждения. Среди такого рода факторов к разряду опасных нами отнесены: концентрация кислорода в водорыбной смеси, величина давления и скорость его изменения относительно движущейся рыбы.

Изменение концентрации кислорода в водорыбной смеси определяется газообменом рыб, о котором имеются достаточные для обобщения сведения в ихтиологической литературе (Виноберг, 1956; Brett, 1970 и др.).

Величина и характер изменения давления во время движения рыбы в рыбонасосной системе зависят как от конструктивных параметров рыбонасосной установки и режима работы, так и от характера движения рыбы в поле установившегося распределения давления.

Для исследования динамики изменения давления были приняты следующие допущения: движение рыбы рассматривается как движение материальной точки вдоль линии тока; скольжение фаз отсутствует; наличие рыб в каждой точке не влияет на величину установившегося давления в данной точке.

Анализ имеющихся данных по влиянию изменения давления на рыб (Протасов, 1973; Цветков, 1972; Sutherland, 1972) показал, что влияние на рыб сложного воздействия давления, характерного для центробежной рыбонасосной системы до сих пор не было исследовано. Отсюда вытекают задачи: создать эксперимен-

тальный стенд и установить допустимые величины и скорости изменения давления для рыб различных видов.

В итоге работы необходимо разработать обобщенные практические рекомендации и осуществить их производственную проверку.

II. Анализ факторов гидротранспортирования

а) Кислородный запас водорыбной смеси и определение допустимого времени гидротранспортирования

Допустимое время движения живой рыбы в рыбонасосной системе определим по формуле

$$\tau_{\text{доп}} = \frac{\theta_{\text{н}} - \theta_{\text{п}}}{q_z} \quad (I)$$

где в числителе - кислородный запас в воде, $\text{см}^3\text{O}_2/\text{дм}^3$; $\theta_{\text{н}}$ - насыщенное количество O_2 ; $\theta_{\text{п}}$ - пороговая концентрация O_2 , при которой наступает смерть от удушья; q_z - интенсивность потребления рыбами кислорода $\text{см}^3\text{O}_2/\text{дм}^3\text{мин.}$, которая по принятому нами допущению не зависит от парциального давления кислорода.

В окончательном виде допустимое время (в мин.) получим, если величины, входящие в формулу (I), заменим на эмпирические зависимости, подобрав их по известным табличным и графическим данным (Винберг, 1956; Строганов, 1962; Кляшторин, 1973; Brett, 1970 и др.):

$$\tau_{\text{доп}} = 4,8 m^{0,19} \left(\frac{100}{K} - 1 \right) e^{-0,135 t} \quad (2)$$

где m - средняя штучная масса (г) перекачиваемых рыб, K - их концентрация (%) в смеси, t - температура ($^{\circ}\text{C}$) водн.

В числовом коэффициенте учтено влияние стресса на интенсивность газообмена у рыб.

Предложенная формула (2) справедлива при условиях: полного насыщения кислородом воды, поступающей в приемный трубопровод; нормального уровня pH; отсутствия токсических веществ в

воде; отсутствия болезней у рыб.

На основании формулы (2) составлена номограмма для упрощения инженерных расчетов.

б) Изменение давления при движении рыбы по трубопроводу

Сложное изменение давления, действующее на рыбу во время ее перемещения в центробежной рыбонасосной установке, разделим на три характерных периода:

- быстрое снижение давления в приемном трубопроводе;
- быстрое повышение при движении в рыбонасосе;
- медленное понижение в напорном трубопроводе.

Скорость изменения давления в значительной степени зависит от скорости движения рыбы. Величина давления в любом сечении трубопровода неизменна при установившейся работе рыбонасоса. Известно, что абсолютное давление в i -том сечении трубопровода определяется (если пренебречь скоростной составляющей полного напора) суммой:

$$P_i = P_0 + H_{zi} - H_{ni} \quad (3)$$

где P_0 - давление в начальном сечении; H_{zi} - высота расположения i -того сечения относительно начального, H_{ni} - потери напора в местных сопротивлениях и на трение на участке от начального до i -того сечения.

Приемный трубопровод обычно выполнен из армированного резиноканевого рукава, имеет длину не более 16 м, оборудуется хланком, который устанавливают в водоеме вертикально. Указанные особенности позволяют частично упростить известную формулу потери напора и вычислять вакуум в любом сечении приемного трубопровода по формуле:

$$H_v = \pm H_{z_i} + H_{n_i} = \pm H_z(\ell_i) + 0,827 \frac{0,02 \ell_i + 0,26 d}{d^5} Q \quad (4)$$

где ℓ_i - расстояние вдоль оси трубопровода между начальным и i -тым сечениями, м, d - внутренний диаметр, м, Q - подача, м³/с.

Время движения рыбы от начального до i -того сечения зависит от средней скорости потока v_{cp} и составит:

$$\tau = \frac{\ell_i}{v_{cp}} \quad (5)$$

С учетом формулы (4) уравнения (3) и (5) представляют функцию $P = f(\tau)$, заданную параметрически от ℓ ; следовательно скорость изменения давления определится, если найти первые производные уравнений (3) и (5) как

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{P'(\ell)}{\tau'(\ell)} = v_{cp} \left[\frac{d}{d\ell} H_z(\ell_i) + 10^{-3} \frac{v_{cp}^2}{d} \right] \quad (6)$$

Отсюда, на вертикальном участке приемного трубопровода рыба испытывает максимальную скорость снижения давления, которая может быть выражена как:

$$\frac{dP}{d\tau} = -v_{cp} - 10^{-3} \frac{v_{cp}^3}{d} \quad (7)$$

На рис. I показана в безразмерном виде типичная картина снижения давления, воздействующего на рыбу при движении ее по приемному трубопроводу. Максимальная скорость снижения давления характеризуется отрезком на оси абсцисс, который при переходе к абсолютным координатам будет равен:

$$A_0 = \frac{H_v d}{v_{cp} (d + 10^{-3} v_{cp}^2)} \quad (8)$$

где H_v и d - выражены в м, а v_{cp} - в м/с.

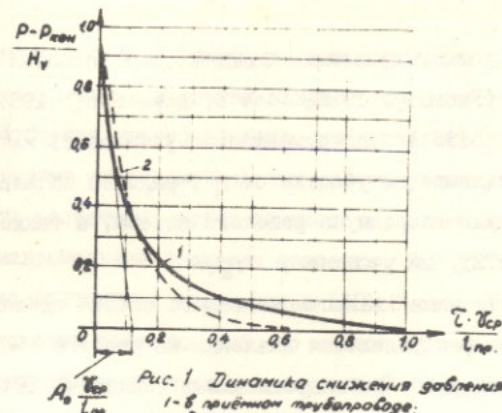


Рис. I Динамика снижения давления
1 - в приемном трубопроводе;
2 - в барометре
 H_v - вакуум перед входом в рыбонасос
 $P_{атм} = P_0 - H_v$, где P_0 - атмосферное давление
 $l_{пр}$ - длина приемного трубопровода
 v_{cp} - средняя скорость потока

Напорный трубопровод работает в условиях повышенного давления и отличается в условиях рыбоводных предприятий большой длиной и расположением весьма близким к горизонтальному. Скорость изменения давления будет определяться на основании уравнения (6) и при $H_z(\ell_i) = const$ составит: $\frac{dP}{d\tau} = -10^{-3} \frac{v_{cp}^3}{d}$, что значительно меньше, чем определенная по формуле (7) для случая вертикального трубопровода.

в) Изменение давления при движении рыбы в рыбонасосе

Движение рыбы в рыбонасосе сопровождается резким повышением давления. В этом случае, как и при рассмотрении движения в трубопроводе, необходимо определить установившуюся картину распределения давления вдоль траектории движения рыбы, а также скорость последней.

Распределение давления в центробежном насосе можно выяснить лишь рассматривая квазистационарный поток в относитель-

ном к рабочему колесу движения. Такой подход позволил ряду исследователей (Учимару, 1960; Acosta, Bowerman, 1957; Lewinsky-Kesslitz, 1961) экспериментально установить интересное нас распределение на участке от r_1 , радиуса начала лопастей до r_2 , наружного радиуса рабочего колеса, а также в отводе (Тимшин, 1972), на участке $r > r_2$.

Рассмотрение нами квазистационарного потока сделало возможным выяснение распределения давления на участке $r < r_1$. На основании анализа работ по гидродинамике (Милович, 1940; Биркгоф, 1954) была принята гипотеза, в соответствии с которой нарастание давления в рыбонасосе определяется динамическим взаимодействием между головной частью лопасти и набегающим относительным потоком.

В результате решения данной задачи, выполненного с помощью В.Н.Зырянова, была получена формула для расчета поля давления в потоке, набегающем на лобовую часть лопасти:

$$\Delta P = \frac{\rho}{2} \left\{ V_\infty^2 - \left[V_\infty^2 (1 - R^2 \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}) - \frac{\omega y}{2} \right]^2 - \left[V_\infty^2 \frac{2R^2 xy}{(x^2 + y^2)^2} - \frac{\omega x}{2} \right]^2 \right\} \quad (9)$$

где $\Delta P = P - P_0$ — приращение абсолютного давления в точке (x, y) , P — абсолютное давление, P_0 — начальное давление, равное давлению в приемном патрубке рыбонасоса, R — радиус скругления головной части лопасти, ρ — плотность воды, $V_\infty = |\vec{w}_1|$ — модуль вектора средней относительной скорости на радиусе r_1 , ω — завихренность вблизи лопасти.

Линии тока определяются выражением

$$V_\infty \left(y - \frac{R^2 y}{x^2 + y^2} \right) - \frac{\omega}{4} (x^2 + y^2 - R^2) = T, \quad (10)$$

где $T = const$.

Приемлемость полученного решения подтвердилась удовлетворительным совпадением изобар расчетного поля давления вблизи

радиуса r_1 , с экспериментальными изобарами в межлопастном канале, полученными в опытах Левинского-Кесслитца.

Обобщение нашего решения, представленного формулой (9), с результатами экспериментальных работ, упомянутых выше, позволило найти расчетным путем линию тока, вдоль которой будет иметь место максимальный градиент давления. Для указанной линии тока значение постоянной в уравнении (10) будет $T = 20,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

Скорость движения рыбы по межлопастному каналу ^{вдоль} линии тока определяется параметрами режима n и Q , радиальным направлением потока и стеснением его лопастями рабочего колеса.

На рис.2 дана кривая изменения давления в рыбонасосе в функции времени в безразмерных координатах. Масштабом давления является полный напор, развиваемый рыбонасосом. В качестве масштаба времени принято время τ_2 движения рыбы от r_1 до r_2 , которое для рыбонасосов типов РБ (двулопастных) и РБ-ЗНП (трехлопастных) определяется по следующей, предложенной нами формуле:

$$\tau_2 = 0,6184 \frac{r_2}{v_{m1}}$$

Как показано на рис.2, касательная, проведенная к кривой давления в точке наиболее крутого ее восхождения, отсекает на горизонтальной оси отрезок, величину которого в абсолютных координатах можно вычислить по формуле:

$$A_1 = 1,58 \frac{H}{R} \quad (11)$$

Используя формулу (11), получим количественную оценку максимальной скорости повышения давления, воздействующей на рыбу в рыбонасосе:

$$\frac{dP}{d\tau} = \frac{H}{A_1} = 0,632 n n \quad (12)$$

Таким образом, полученные на рис.1 и 2 изменения давления во времени и расчетные формулы (7), (8), (11) и (12) делают воз-

можным моделирование изменения данного фактора в лабораторных условиях.

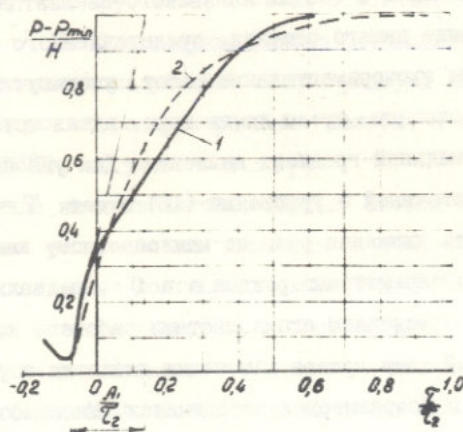


Рис. 2 Динамика повышения давления
1 - в рабочем колесе рыбонасоса;
2 - в барокамере.
 $P_{m0} = P_{кон}$ - давление перед входом
в рыбонасос.

III. Исследование влияния изменения давления на молодь ОНО

а) Конструкция стенда, методика работы и опытный материал

Моделирование изменения давления производилось в барокамере на разработанном нами стенде с использованием известного пневматического способа.

Конструкция стенда позволяет предварительно задавать необходимое давление в двух ресиверах и затем в любой, требуемой последовательности объединять полость барокамеры либо с ресивером вакуума, либо с ресивером избыточного давления.

Процесс изменения давления в барокамере, связанный с истечением воздуха, определяется термодинамической характеристикой элемента, соединяющего объемы барокамеры и ресивера. Кри-

вные изменения давления в барокамере, полученные с помощью датчика давления на осциллографе, описываются экспонентами с точностью до 6%. Проводимость соединительных элементов нашего стенда определена методом корреляционного анализа. Полученные эмпирические зависимости представлены в виде двух систем уравнений:

$$\left. \begin{aligned} & \text{— для вакуумирования барокамеры } \frac{P_{нач}}{P_{кон}} > 1 \\ & \frac{P - P_{кон}}{H_s} = e^{-\beta_0 \tau} \\ & \beta_0 = 13 - 0,023 W_s - 9,2 \frac{P_{кон}}{P_{нач}} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} & \text{— для наполнения барокамеры } \frac{P_{нач}}{P_{кон}} < 1 \\ & \frac{P - P_{нач}}{H_s} = 1 - e^{-\beta_1 \tau} \\ & \beta_1 = 9 - 0,03 W_s - 8,4 \frac{P_{нач}}{P_{кон}} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где $H_s = |P_{кон} - P_{нач}|$; $P_{нач}$ и $P_{кон}$ — соответственно, начальное и конечное абсолютные давления в барокамере; P — текущее значение давления; W_s — объем воздуха в барокамере над поверхностью воды.

На рис. 1 и 2 штриховыми линиями показаны экспоненты, построенные по формулам 13 и 14 при соблюдении условий $\beta_0 = \frac{1}{A_0}$; $\beta_1 = \frac{1}{A_1}$. Как видим, несовпадение кривых на основных, крутопадающих участках, составляет не более 10%. Сопоставление резких изменений давления, воздействующих на рыбу в рыбонасосной системе и в барокамере, позволяет вывести формулы моделирования, связывающие параметры n, H, H_v, γ_p и d реальной гидротранспортной линии с параметрами $P_{нач}$, $P_{кон}$ и W_s моделирующих испытаний:

— для процесса снижения давления

$$W_d = 565 - 400 \frac{P_{\text{кон}}}{P_{\text{нач}}} - 43,5 \frac{v_{\text{ср}} + 10^{-3} \frac{v_{\text{ср}}^3}{d}}{H_v} \quad (15)$$

- для процесса повышения давления

$$W_d = 300 - 200 \frac{P_{\text{нач}}}{P_{\text{кон}}} - 21 n \frac{H}{H_d} \quad (16)$$

где размерность W - см³.

Цель лабораторных экспериментов заключалась в определении области допустимых величин и скоростей изменения давления для молоди некоторых видов рыб при их гидротранспортировании с помощью центробежного рыбонасоса. Изменение давления, действующего на рыбу во время ее перемещения по системе, имеет сложный характер и делится на три периода: I - быстрое снижение, II - быстрое повышение и III - медленное снижение.

Было решено провести три группы опытов с рыбами, помещенными в барокамеру, воздействуя на них: 1) быстрым вакуумированием барокамеры, что моделирует I период; 2) быстрым повышением давления, что моделирует II период; 3) сложным изменением по схеме - резкое снижение - резкое повышение - постепенное снижение давления до атмосферного, что моделирует весь процесс гидротранспортирования.

В ходе каждого эксперимента регистрировались следующие параметры:

- $P_{\text{нач}}$ и $P_{\text{кон}}$ (по образцовым показывающим приборам) и текущее давление P (на осциллографе Н-700);

- время каждого этапа опыта (по часам);

- основные данные о подопытных рыбах (вид, масса, длина).

Для оценки влияния на рыб изменения давления были приняты следующие критерии:

- скорость успокоивания рыб после воздействия изменения давления, т.е. скорость замедления дыхательного ритма; частота

дыхательного ритма замерялась визуально с помощью секундомера и отмечалось время каждого замера до воздействия давления и после;

- выживаемость рыб, прошедших испытание в барокамере по сравнению с контрольными;

- отличие внешнего вида органов брюшной полости у рыб, прошедших испытание в барокамере, от вида тех же органов у контрольных рыб по результатам вскрытия рыб через 20-30 суток после испытания.

При выборе материала (см. табл. I) для лабораторных исследований мы руководствовались следующими положениями:

- исследовать такие наиболее вероятные объекты гидромеханизации как карп и белый амур, учитывая распространенность карповых товарных хозяйств с двухлетним циклом выращивания рыб и необходимость ее перегрузок из летних прудов в зимовальные и обратно;

- исследовать как открыто-, так и закрытопузырных рыб; карп и белый амур - открытопузырные рыбы; речной окунь - представитель закрытопузырных рыб;

- исследовать один и тот же вид в лабораторных и натуральных (производственных) условиях: годовики и двухлетки семги.

Таблица I
Характеристика материала лабораторных опытов

№ пп	Вид молоди рыб	Кол-во шт.	Длина, мм (по смиту)			Масса, г	
			минимальная	максимальная	средняя	минимальная	максимальная
1.	Карп	330	42	96		1,6	23,3
2.	Белый амур	250	72	96		6,1	14,5
3.	Окунь речной	72	70	93		6,3	14,4
4.	Семга						
	сегалетки	30	35	70		0,5	2,7
	двухлетки	100	57	111		2,0	16,0

б) Результаты экспериментов и определение допустимого изменения давления

В ходе экспериментов снижение давления в барокамере происходило со скоростями почти в 10 раз превышающими реальные, а повышение давления отличалось значительно большей кратностью (высотой скачка давления), чем в рыбонасосах, что повышает надежность практических рекомендаций, основанных на результатах наших исследований.

Оценка воздействия на рыб различных изменений давления по скорости успокаивания позволяет сделать следующие выводы:

- различные виды рыб переносят одинаковое воздействие по-разному;

- наиболее тяжело переносятся рыбами снижение давления, значительно легче — сложное воздействие и почти не вызывает реакции резкое повышение давления.

Выживаемость рыб, прошедших испытание в барокамере, не отличалась от выживаемости контрольных рыб. Сопоставляя данный результат с опытами В.И.Цветкова (1972) и Д.Ф.Сазерленда (1972), можно сделать следующий вывод: кратковременное изменение давления, характерное для условий гидротранспортирования, переносится без внешних повреждений абсолютным большинством подопытных рыб (99%).

Вскрытие рыб и оценку их состояния производили при участии сотрудников лаборатории морской аквакультуры ВНИРО Н.Б. Маркевича и Ж.Т.Дергалева. Сопоставление по визуальной характеристике внешних и внутренних органов у рыб, испытавших воздействие давления, и у контрольных позволило установить опасные воздействия. К таковым были отнесены воздействия, при которых через 20-30 суток после эксперимента при вскрытии рыб наблюдалось (по сравнению с контрольными) покраснение печени,

потемнение селезенки, точечные кровоизлияния у основания хвостового плавника, а также у края жабр или глаз.

Вскрытие рыб показало, что резкое повышение давления не опасно для молоди рыб. С надежностью 95% установлена допустимая область относительного падения давления:

$$1 \leq \frac{P_{\text{нач}}}{P_{\text{кон}}} \leq 2,5$$

Отсюда следует выражение

$$H_v \leq 6 - 0,4 H_{2a} \quad (17)$$

по которому устанавливается величина допустимого вакуума H_v при входе в центробежный рыбонасос в зависимости от глубины H_{2a} расположения залавливающего устройства, т.е. в зависимости от той глубины, к которой молодь рыб адаптирована в момент отлова.

IV. Практическое применение результатов исследования

а) Методика расчета рыбонасосной системы и залавливающего устройства

Инженерный расчет и проектирование гидросистемы, перекачивающей живую рыбу, отличается от обычного гидравлического расчета (Куколевский, Пивидз, 1972, Пин, 1965). Для создания системы, перекачивающей живую рыбу, необходимо:

- выбрать типоразмер рыбонасоса и обеспечить оптимальный режим его работы;

- определить типоразмер трубопровода и конструкцию приемной ветви;

- рассчитать предельно-допустимую концентрацию рыбы и конструкцию залавливающего устройства, предупреждающего повышение концентрации сверх допустимой.

Выбор типоразмера рыбонасоса, трубопровода и частоты вращения рабочего колеса значительно упрощается в случае исполь-

зования не обычных рабочих характеристик, а кривых оптимальных режимов, полученных нами для отечественных серийных центробежных рыбонасосов.

При разработке приемной ветви рыбопровода определяют с помощью формулы (4) величину вакуума H_v и если она не удовлетворяет неравенству (17), принимают конструктивные меры для уменьшения вакуума. Дальнейшая корректировка производится по неравенству (20).

Допустимую концентрацию $K_{доп}$ рыбы определяют используя формулу (2), из которой следует:

$$K_{доп} = 100 : \left[1 + 0,2650^{\psi} \left(\sum_{j=1}^{\psi} \ell_j d_j \right) m^{-0,19} \exp(0,135 t) \right] \quad (18)$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, \psi$ — количество типоразмеров труб, составляющих рыбопровод; d_j — диаметр труб; ℓ_j — длина труб одного диаметра.

Для предупреждения повышения концентрации рыбы в рыбнасосной системе предложено использовать присоединенное к приемному трубопроводу коробчатое залавливающее устройство, заход рыбы в который ограничивают выдвижной сетчатой рамкой. Полностью опущенная рамка позволяет при наличии рыбы в зоне облова проверить работу рыбнасосной линии на чистой воде. В дальнейшем, поднимая рамку на большую или меньшую высоту, можно с достаточной уверенностью ограничивать концентрацию рыбы в системе. Если предположить, что максимально возможная концентрация рыбы перед рыбоприемником составляет 30%, то расчет высоты подъема сетчатой рамки, т.е. высота входной щели $h_{щ}$, определится по формуле

$$h_{щ} = h_{6x} \frac{K_{доп}}{30} \quad (19)$$

где h_{6x} — высота входа при отсутствии сетчатой рамки.

б) Обоснование разработки двухступенчатой рыбнасосной установки

Как известно, снижение вероятности механического травмирования рыбы в рыбнасосе достигается при его эксплуатации в оптимальном режиме, а также за счет снижения частоты вращения рабочего колеса. Оба эти условия могут быть выдержаны, если вместо одноступенчатой рыбнасосной установки на ту же сеть будет работать двухступенчатая с регулируемым приводом. Установлено, что при этом частота вращения рабочего колеса снижается на 30%, а энергия ударного воздействия лопастей на рыбу почти в 2 раза.

Двухступенчатая установка имеет еще одно преимущество перед одноступенчатой: она может развивать влвое больший напор при одинаковой с одноступенчатой частоте вращения. Поэтому двухступенчатые установки с успехом могут применяться для передачи рыбы на большие расстояния и высоту, например, в прудовых хозяйствах, раскинувшихся на больших площадях и в рыбозащитных сооружениях, где сезонные изменения уровня воды могут достигать 10–15 м.

На основании приведенных теоретических предпосылок и исследования натурной модели по нашему техническому заданию в Клайпедском отделении Гипрорыбфлота разработаны чертежи двухступенчатой рыбнасосной установки ЗРБУ-100, которая в настоящее время серийно изготавливается на Кандалякском механическом заводе. Конструкция типа ЗРБУ представляет собой совокупность двух серийных рыбнасосов, установленных на общей раме с электродвигателем и клиноременной передачей.

в) Промышленные опыты

В ходе испытаний рыбнасосов в промышленных условиях по

отлову и перекачке молоди рыб апробировалась разработанная методика и проводились исследования, которые не могли быть выполнены в лабораторных условиях. В частности, изучалась связь между поведенческими особенностями рыб и их повреждаемостью.

Во время опытов по перекачке молоди белорыбицы был найден способ снижения механических повреждений рыб за счет удлинения четырехметрового приемного трубопровода до $l_{np} = 12-16$ м. С учетом работ по поведению рыб (Честной, 1961; Яркомбек, 1973) нами было сделано предположение о том, что рыба, попадая в необычный для нее поток в приемном трубопроводе, делает резкий скоростной бросок навстречу потоку. В случае короткого приемного трубопровода скоростной бросок может произойти в момент прохождения полости рыбонасоса, где в результате произойдет соударение рыбы с движущимися частями рабочего колеса. В случае длинного приемного трубопровода время движения по нему увеличивается и скоростные броски происходят в условиях трубопровода, где нет опасных движущихся частей.

На основании наших опытов минимальное допустимое время движения молоди белорыбицы массой до 3 г по приемному трубопроводу составляет 4 секунды. На основании данного результата предлагается формула для проверки длины l_{np} и диаметра d_{np} приемного трубопровода:

$$\frac{l_{np} d_{np}^2}{Q} \geq 5,1 \quad (20)$$

Разработанная методика и новая рыбонасосная установка ЗРБУ-100 прошли производственную проверку на рыбоводных заводах Главрыбвода. В ходе промышленных опытов с помощью центробежных рыбонасосов перекачивалась молодь различных видов: семга (сеголетки и двухлетки) — на Кандалакшском рыбоводном

заводе, сеголетки осетровых и белорыбицы — на Александровском и Сергиевском заводах Севкасприбвода. Длина гидротранспортных линий оставляла от 20 до 130 м; внутренний диаметр рыбопроводов от 90 до 150 мм. В качестве рыбопровода применялись армированные резинотканевые рукава, мягкие поливиниловые рукава на капроновой основе, а также брезентовые рукава. Полный напор, развиваемый рыбонасосом, составлял 4-30 м вод.ст. Вакуум не превышал допустимого. Масса отдельных рыб составляла 0,9-84,0 г. Концентрация рыб в рыбопроводе, по нашим наблюдениям, не превышала 5%. В некоторых случаях требуемая концентрация создавалась с помощью приспособления по нашему авторскому свидетельству № 423443. По оценке рыбоводов состояние перекачанной нами молоди не отличается от такового в контроле.

В результате успешной производственной проверки комиссия Минрыбхоза СССР приняла предъявленный опытный образец двухступенчатой рыбонасосной установки ЗРБУ-100 и рекомендовала к внедрению разработанную методику гидротранспортирования молоди рыб. По оценке экономистов внедрение рыбонасосных установок только на перекачке молоди осетровых даст годовой экономический эффект свыше 650 тыс.руб.; фактический эффект в 1977 г. составил 52 тыс.руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

I. Научно поставлена и в результате проведенных исследований впервые решена задача отлова и перекачки центробежным рыбонасосом молоди рыб с сохранением ее жизнедеятельности.

Установлено, что кроме соблюдения ранее найденных условий отлова и перекачки рыбы (оптимальный режим работы рыбонасоса, допустимая частота вращения рабочего колеса, высокое качество смачиваемых поверхностей гидротракта) необходимо

учитывать такие факторы как поведенческие особенности рыб, содержание кислорода в воде и характер изменения давления.

2. На основании анализа литературных данных по поведенческим особенностям рыб и с учетом наших натурных экспериментов по перекачке молоди рыб с помощью центробежного рыбонасоса предложено длину ℓ_{np} и диаметр d_{np} приемного трубопровода проверять по условию
$$\frac{\ell_{np} d_{np}^2}{Q} \geq 5,1$$

3. Предложена формула (18), позволяющая в зависимости от длины, диаметра трубопровода и подачи рыбонасоса устанавливать величину допустимой концентрации водорыбной смеси с учетом обеспечения нормального газообмена рыб.

Для упрощения инженерных расчетов предложена номограмма, связывающая время гидротранспортирования рыбы по рыбонасосной системе и максимально возможную ее концентрацию в потоке.

Даны рекомендации по расчету и проектированию залавливающего устройства, надежно предупреждающего повышение концентрации рыбы сверх допустимой.

4. Доказано, что процесс изменения давления в гидротранспортной линии возможно моделировать с помощью пневматических устройств; предложены формулы моделирования (15) и (16), связывающие параметры режима работы реальной рыбонасосной установки с параметрами моделирующих испытаний.

5. В результате моделирования установлено, что в центробежных рыбонасосах всех отечественных типов процесс повышения давления не опасен для молоди рыб; скорость снижения давления в приемных трубопроводах рыбонасосных установок не превышает допустимой, равной 10 м вод.ст./с, а допустимая величина вакуума перед входом в рыбонасос зависит от глубины $H_{гл}$ отлова рыб:

$$H_v \leq 6 - 0,4 H_{гл}$$

6. Предложена, разработана и внедрена в серийное производство конструкция двухступенчатой рыбонасосной установки типа ЗРБУ-100, позволяющая снизить вероятность повреждения молоди и повысить дальность ее транспортирования. Данная установка была экспонирована в павильоне "Рыбное хозяйство" ВДНХ СССР в 1972 г.

7. Разработана научно обоснованная методика инженерного расчета центробежной рыбонасосной установки, предназначенной для отлова и перекачки молоди рыб. Методика прошла производственную проверку, утверждена Минрыбхозом СССР и внедрена в управлении Севкасприбвод.

8. Успешное внедрение центробежных рыбонасосных установок на предприятиях Севкасприбвода и их высокая экономическая эффективность создают предпосылки для новой, высокопроизводительной организации биотехнических процессов рыбоводства.

Основные положения диссертации освещены в следующих публикациях автора:

1. Испытания центробежных рыбонасосов по перекачке молоди рыб. - "Рыбное хозяйство", № 9, 1972, с.35-37.

2. Анализ конструкций и рекомендации по разработкам и использованию погружных центробежных рыбонасосных установок. М., ОНТИ ВНИРО, 1974, 50 с. (соавторы А.В.Терентьев, Б.С.Краковский).

3. Центробежные рыбонасосы (исследование, модернизация, эксплуатация). М., "Пищевая промышленность", 1974, 120 с. (соавтор Б.С.Краковский).

4. Приспособление для создания равномерной концентрации рыбы в водном потоке при испытаниях рыбонасосов. Авторское свидетельство на изобретение № 423443. Бюллетень № 14 (соавторы А.В.Терентьев, Б.С.Краковский).

5. Методическое руководство по гидротранспортированию молоди рыб центробежными рыбонасосами. М., ОНТИ ВНИРО, 1975, 75 с. (соавтор Б.С.Краковский).

6. Транспортирование молоди рыб рыбонасосом. Информационный листок № 75. Серия 2I-I5, ЦНИТЭИРХ, М., 1975.

7. Исследование распределения давления в центробежном рыбонасосе. Труды ВНИРО, т.СХХУ, М., 1977, с.28-34 (соавтор В.Н.Зырянов).

8. Использование центробежных рыбонасосов в рыбоводстве. В тезисах докладов на IV Советско-Японском симпозиуме по аквакультуре (Таллин). Изд. Токайского университета. Токио, март 1977, с.43-46.

Л- 93469

Формат 92x60

Объем- 1,2 л.л.

Подписано к печати - 24.III.1978 г.

Заказ № 38

Тираж 120 экз.

Ротапринт ВНИРО, Москва, В.Красносельская, 17