

# Контроль за состоянием рыб при содержании в бассейнах



Канд. биол. наук С.А. Мальцев, д-р техн. наук В.П. Шевчук, канд. техн. наук В.И. Капля –  
Волжский политехнический институт  
С.В. Моргунов – главный рыбовод Волгоградского осетрового рыбоводного завода  
Р.Н. Титов – аспирант

Поддержание численности рыб осетровых видов является актуальной задачей современности. Строительство гидротехнических сооружений на больших и малых реках России привело к исчезновению большинства естественных нерестилищ этих проходных рыб. В настоящее время искусственное разведение рыб ценных пород стало основным путем сохранения их численности.

ФГУ «Нижневолжрыбвод» создало на Волжской ГЭС рыбоводное хозяйство, использующее закрытые бассейны. Стабильность водного и температурного режимов позволяет эффективно содержать и использовать в рыбоводных целях маточное стадо.

Видовое разнообразие, большая численность, динамика роста молоди требуют постоянного контроля за состоянием ремонтно-маточного стада. В первую очередь, это необходимо для определения суточной потребности в кормах. Для решения этой задачи периодически измеряются длина и масса рыб, подсчитывается их количество. Автоматизация этого процесса позволит снизить трудоемкость и повысить качество производимых операций. Использование цифровых видеосистем можно рассматривать в качестве основного метода, позволяющего решать задачи автоматизации процессов измерений и учета параметров маточных рыбных стад.

Коллективами ФГУ «Нижневолжрыбвод» и Волжского политехнического института разработана информационно-измерительная система, позволяющая оперативно контролировать состояние и потребность в кормах маточного стада, содержащегося в бассейнах.

Разработанная система позволяет оценивать численность рыбного стада и определять размеры рыб. По определенным параметрам вычисляются масса рыб и их суточная потребность в кормах. Результаты измерений и расчетов автоматически заносятся в специализированную базу данных. По каждому циклу измерений создается текущий отчет. Получаемая информация позволяет оперативно отслеживать динамику состояния маточного стада, выявлять влияние факторов содержания и вырабатывать меры для оптимизации процессов разведения и выращивания рыб.

Система состоит из специального штатива, двух видеокамер, многоканального устройства коммутации, канала связи и ЭВМ. Предусмотрена возможность увеличения числа камер до четырех при необходимости повышения точности измерения за счет введения



режима стереоизмерений. Конструкция штатива позволяет расположить камеры над центральной частью бассейна, закрепить устройство коммутации и соединительные кабели. Таким образом, обеспечивается наиболее выгодное положение камер для измерения рыб. Предусмотрена возможность регулирования высоты подъема камер над поверхностью воды на 1–5 м. Кроме того, конструкция штатива позволяет удобно разместить ЭВМ для работы оператора на установке. В системе используется переносная ЭВМ с процессором *Pentium-III*. Работа измерительной системы опробована на источниках цветного видеозображения с различной информативностью кадра: от 640x480 до 2540x1905 пикселей. Штатив выполнен из деревянных, пластмассовых и металлических деталей. Общий вес системы не превышает 20 кг, питание оборудования обеспечивается от аккумуляторных батарей ЭВМ, что делает установку электробезопасной и мобильной. Установка позволяет работать при ширине прохода между бассейнами 1 м и проводить контроль большого числа бассейнов за небольшой промежуток времени.

Основным элементом установки является видеосистема, осуществляющая формирование верхних видовых изображений рыб на фоне дна бассейна. При проведении измерений в бассейнах длиной менее 4 м используются одна, а при больших размерах бассейнов – две видеокамеры. Программное обеспечение осуществляет формирование общего изображения по данным двух видеокамер. Обработка изображения проводится вручную или автоматически; ручная обработка позволяет получить более точные параметры рыб, но требует значительных затрат времени. В процессе ручных измерений оператор с помощью маркеров, наносимых на изображение, указывает характерные оконечные и промежуточные точки на изображении отдельных особей рыб.

Перед установкой в систему камеры калибруются. В процессе измерений система вычисляет параметры ориентации оптических осей видеокамер относительно текущего положения поверхности воды в бассейне. Это позволяет полностью исключить какие-либо дополнительные измерения с помощью обычных измерительных средств.

Алгоритм работы системы:

1. Уровень воды в бассейне снижается до минимально допустимого.
2. Осуществляется калибровка видеосистемы: определяются координаты расположения видеокамер относительно поверхности воды и углы ориентации оптических осей.





3. Проводится настройка и съемка изображения бассейна. Для полного охвата больших бассейнов используют несколько параллельно работающих камер, изображения от которых «сшиваются» в единое изображение с помощью ЭВМ.

4. Указываются вид рыб и режим измерения (ручной или автоматический). Задается перечень измеряемых параметров: абсолютная длина; зоологическая длина; ширина рыбы на определенном участке и т.д.

5. В ручном режиме оператор указывает при помощи манипулятора типа «мышь» характерные (нос рыбы, плавники, хвост) и промежуточные точки, которые отмечаются контрастными маркерами и соединяются ломаными линиями. Предусмотрена возможность исправления ошибочно указанных точек.

6. Автоматический режим предваряется действиями оператора по выделению информативной области снимков.

7. По завершении процесса измерений автоматически создается отчет, одновременно результаты измерений заносятся в базу данных.

Алгоритмы обработки измерительной информации основаны на аналитических соотношениях математической модели формирования цифровых изображений. Модель учитывает технические характеристики разработанной измерительной видеосистемы: угловые размеры поля зрения; положение оптической оси относительно водной поверхности; характеристики разрешения. Она является основой для проводимых измерений, обеспечивая их необходимыми расчетными соотношениями и оценками погрешностей.

Пересчет координат характерных точек на изображении, указанных оператором или идентифицированных автоматически, в координаты объектной системы осуществляется на основании обобщенных фотограмметрических соотношений:

$$x = F_1(X, Y, Z, X_k, Y_k, Z_k, \alpha, \theta, \gamma, f, a, b),$$

$$y = F_2(X, Y, Z, X_k, Y_k, Z_k, \alpha, \theta, \gamma, f, a, b),$$

где  $x, y$  – координаты измеряемой точки в плоскости изображения;

$X, Y, Z$  – координаты измеряемой точки в объектном пространстве;

$X_k, Y_k, Z_k$  – координаты оптического центра видеокамеры;

$\alpha, \theta, \gamma$  – углы ориентирования оптической оси видеокамеры;

$f, a, b$  – параметры внутреннего ориентирования видеокамеры.

Определение массы рыб по их линейным размерам осуществляется на основе соотношения:

$$m = \beta \cdot L^3 \cdot D,$$

где:  $m$  – масса;  $L$  – длина;  $D$  – размер рыбы в области грудных плавников;  $\beta$  – экспериментально определенный коэффициент, зависящий от вида рыбы (был определен для осетра, стерляди и белуги). Испытания показали, что введение параметра  $D$  позволяет учитывать упитанность рыб и определять массу более точно. Упитанность рыб, содержащихся в бассейнах, выше, чем обитающих в естественных условиях, так как они менее подвижны, а условия питания лучше.

Автоматический подсчет количества рыб учитывает, что положение отдельных особей в бассейне может быть таким, что их проекция на изображении сольются. В ситуации, когда объектов много и они подвижны, повторная регистрация изображения не позволит существенно уточнить их количество. Располагая изображением бассейна, можно измерить следующие величины:

$S_B$  – площадь водной поверхности видимой части бассейна;

$S_f$  – среднюю площадь изображения одной рыбы;

$S_\Sigma$  – суммарную площадь изображения рыбных скоплений.

Если предположить, что рыбы, содержащиеся в одном бассейне, однородны, на основании соотношений теории геометрической вероятности можно получить уравнение, связывающее число рыб в бассейне  $N$  и указанные величины:

$$N \cdot \exp(-k \cdot N \cdot S_f / S_B) = S_\Sigma / S_f,$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от видовой формы рыбы; в первом приближении  $k = 1$ . Программное обеспечение автоматической оценки численности рыб решает это уравнение, обеспечивая дальнейшие расчеты, а полученное значение заносится в отчет.

Программное обеспечение предназначено для работы в операционной системе *Windows* и имеет соответствующий оконный интерфейс. Работа с видеоборудованием реализована с помощью мультимедийных *API*-функций. Предусмотрена возможность выбора источника видеоинформации и регулировки параметров изображения, таких как разрешение, яркость, контрастность, насыщенность, перевод в градации серого цвета.

Выбор кадра для обработки осуществляется в режиме «живого» видеоизображения: оператор следит за транслируемыми камерами изображениями и, выбрав наиболее удачное расположение рыбных особей, фиксирует изображения. Такая возможность позволяет избежать ситуаций, когда процесс измерений может быть осложнен неудачным расположением рыб (скопление их в одной части бассейна и др.).

По результатам измерений автоматически формируется отчет, содержащий также информацию о месте, времени и условиях их проведения. Оператор имеет возможность внести в отчет дополнительную оперативную информацию. Отчет формируется в виде документа, который можно прочитать в стандартном текстовом редакторе. Имя файла содержит номер бассейна, дату и время его сохранения, что упрощает последующую сортировку и обработку данных. Для хранения отчетов предусмотрена специальная база данных.

Все обработанные изображения, которые использовались при формировании отчета, также сохраняются в базе данных. Это обеспечивает возможность контроля правильности работы оператора и коррекции возможных ошибок путем повторной обработки изображений. Кроме того, это позволяет в процессе работы у бассейнов проводить только оперативную автоматическую обработку, а более точную – ручную – в стационарных условиях. Информационно-измерительная система обеспечена эксплуатационной документацией, электронной помощью и контекстной информацией о возможных действиях оператора, что позволяет эксплуатировать ее оператору со средним образованием, имеющему навыки работы с ЭВМ.

Испытания макета системы проводились в рыбоводном комплексе Волжской ГЭС. Рыб содержали в бассейнах типовых размеров (2x2; 5x2; 15x3,5 м) с регулируемым уровнем воды (максимальный – 1,2 м). Измеренные длины рыб пересчитывались в массу, так как именно общая масса рыб в бассейне является отправной величиной для расчета суточной потребности в кормах. Для уточнения алгоритмов были использованы экспериментальные данные, полученные на рыбоводном комплексе. Эти данные были обработаны статистическими методами, что позволило получить значения коэффициентов  $k$  и  $\beta$  для разных видов рыб.

В основе методики испытаний системы лежал процесс сравнения размеров рыб, полученных в результате замеров отловленных особей и определенных с помощью измерительной системы. Следует отметить, что ручной метод измерения размеров и массы имеет большую погрешность, так как живая рыба весьма подвижна при извлечении из водной среды и ее приходится удерживать. Оценить погрешность таких измерений проблематично. Сравнительная оценка усредненных значений прямых и косвенных измерений показала, что они совпадают (погрешность составляет менее 5–10 %). Для ограничения объема проводимых ручных замеров и создания приемлемых условий съемки бассейнов перегораживались разграничительными сетками.

**Выводы**  
В закрытом водоеме можно создать систему контроля состояния рыб. Наибольшей эффективностью обладают видеосистемы наблюдения и измерения, позволяющие сочетать методы автоматического контроля и оперативное вмешательство оператора. Разработанные математические модели позволили получить необходимые расчетные соотношения и алгоритмы цифровых измерений. Обеспечивается приемлемая точность оценки размеров и массы рыб.

Вычислены и реализованы в виде действующих программ основные алгоритмы информационно-измерительного комплекса, позволяющие пополнять базы данных и прогнозировать работу рыбоводного комплекса.

Проведенные в условиях рыбоводного хозяйства Волжской ГЭС испытания макета системы подтвердили ее работоспособность для решения поставленных задач для рыб больших и средних размеров.