

# Концептуальный проект частичной автоматизации установки замкнутого водоснабжения для рыбной фермы

Григорьев Д.М., Болгова Д.Л.

**Аннотация**—Статья посвящена описанию концептуального проекта автоматизации установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) для производства аквакультуры. Концептуальный проект отражает взаимосвязь основного оборудования рыбного хозяйства с единым пультом управления (ЕПУ), осуществляющим поддержку принятия решений, и с базой данных, используемой для хранения и анализа показателей контрольно-измерительных приборов (КИП).

ЕПУ позволяет отслеживать все параметры производства и управлять ими с рабочего места оператора-рыбовода, а также получать оповещения о нарушениях технологических условий. ЕПУ предусматривает реализацию на базе программного средства.

Для контроля параметров среды устанавливаются КИП, считывающие важные для производства показатели. Оператор имеет возможность дистанционно отслеживать показатели КИП в режиме реального времени для мониторинга состояния рыбы, водной среды или оборудования и своевременно управлять этими состояниями, подавая сигналы на исполнительные механизмы системы. В базу данных непрерывно записываются показатели КИП с выбранной периодичностью. Данные доступны для чтения с любого авторизованного устройства. При этом в случае отклонения показателей от заданных пределов система немедленно информирует оператора о нарушении технологического процесса.

Концептуальный проект рассматривает основное технологическое оборудование, используемое на УЗВ, предполагаемые управляющие воздействия на систему и связь с ЕПУ и базой данных и отражает эту связь на схемах. Данный проект может быть применен для любого рыбного хозяйства при корректировке состава оборудования и требуемых технологических параметров производства.

**Ключевые слова**—Автоматизация, аквакультура, единый пульт управления, концептуальный проект, установка замкнутого водоснабжения.

Статья получена 8 июля 2021. Данная работа основана на магистерской диссертации «Системный анализ технологических решений в рыбохозяйственной сфере и проектирование инструментов для частичной автоматизации деятельности экофермы СППК «Панинское» Григорьева Д.М.

Григорьев Д.М., НИЯУ МИФИ, Высшая Инженерная Школа, Москва, Россия (e-mail: dimq93@gmail.com).

Болгова Д.Л., Университет Нью Мексико, США

## I. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы обусловлена устойчивым развитием рыбоводческой отрасли народного хозяйства. Согласно документу «О развитии и поддержки аквакультуры (рыбоводства) в Российской Федерации» (Москва, 2020), выпущенному Министерством сельского хозяйства Российской Федерации совместно с Федеральным агентством по рыболовству [1], по состоянию на октябрь 2020 года функционирует около 4600 рыбоводных хозяйств и наблюдается положительная динамика роста объема товарной продукции. За последнее десятилетие объем производства аквакультуры вырос в два раза, до 286,8 тыс. т [1].

Рост производства рыбных продуктов связан не только с постоянным ростом населения, но и с рядом других факторов, например, ростом доходов населения, развитием технологий, вследствие чего снижается процент потерь и порчи продукции, а также повышением осведомленности о пользе рыбы. К пользе рыбы можно отнести, например, то, что рыбий жир – самый богатый из доступных для человека источников длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) [2], выполняющих целый ряд важнейших для здоровья функций. В период с 1961 по 2017 средний годовой прирост потребления рыбы составлял 3,1% и был выше темпов прироста населения [2].

При увеличении объемов производства неизбежно возникает необходимость увеличения рабочих ресурсов или оптимизации процессов, что позволяет снизить требуемое количество ресурсов на единицу продукции. Первый вариант заключается в найме и обучении дополнительных сотрудников. Оптимизация может быть достигнута посредством автоматизации производства таким образом, чтобы один сотрудник мог выполнять больший объем работы. Преимущества автоматизации заключаются в технологичности, удобстве контроля и управления рабочими процессами, что в свою очередь помогает снизить вероятность человеческой ошибки и повысить качество производства.

## II. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

Технология установок замкнутого водоснабжения (УЗВ)

зародилась в Японии в 50-х годах 20 века при попытке разработки биологического фильтра для систем разведения карповых. Европейские и американские исследователи пытались применить технологию очистки сточных вод для культивации морских видов рыб и ракообразных [3].

Первые экспериментальные УЗВ в СССР были построены в 1976 году, а в 1978 году введены как промышленные проекты на Уралмашзаводе (карповые) и Колхозе им. Кирова в Эстонии (посадочный материал форели) [4].

Опыт эксплуатации пилотных УЗВ выявил ряд проблем, которые препятствовали получению целевых параметров производства (карповые – 3 т/год и форель – 2 т/год) [4]:

- отсутствие технологии выращивания аквакультуры в



Рис. 1. Основные элементы УЗВ

УЗВ;

- отсутствие технологии фильтрации воды;
- отсутствие технологии производства кормов для УЗВ;
- отсутствие нормативной базы для проектирования и эксплуатации УЗВ;
- недостаток опыта и компетентных специалистов для проектирования и эксплуатации установок подобного типа.

Данные проблемы были рассмотрены и проработаны лабораторией аквакультуры, созданной на базе Калининградского технического института рыбной промышленности и хозяйства в 1978 году по приказу Минрыбхоза СССР. Масштабная и плодотворная работа лаборатории позволила разработать ряд важных технологических решений [4]:

- технология выращивания карповых, форели и осетровых в УЗВ;
- биологическая очистка в УЗВ (нитрификация и денитрификация);
- системы аэрации и дегазации воды;
- нормы проектирования УЗВ.

Перечисленные технологии позволили создать рыбные хозяйства с УЗВ с устойчивым и эффективным производством. На Калужском турбинном заводе в 1982 году было создано хозяйство по разведению карповых с производственной мощностью 150 т/год. В порту

Пионерск в 1988 году было построено форелевое хозяйство на морской воде. Всего за период с 1980 по 1991 годы было выполнено 30 проектов рыбоводческих ферм с УЗВ, из них построено и введено в эксплуатацию 18 хозяйств в различных регионах СССР [4]. Современные УЗВ позволяют выращивать большое число разнообразных видов как пресноводных, так и морских рыб.

### III. СТРОЕНИЕ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

УЗВ имеют такое название, потому что вода циркулирует в замкнутом контуре, из бассейна направляется на очистку и возвращается. Однако эти установки все же нуждаются в добавочной воде из-за потерь на удаление отходов, испарения, протечек оборудования и технологических целей (например,

заполнение бассейнов для транспортировки рыбы).

Основные элементы УЗВ изображены на рис. 1.

Оборудование для систем УЗВ имеет специфические требования для обеспечения оптимальных технических и экономических параметров производства [5]:

- соответствие параметров оборудования нормативам и биологическим требованиям определенного вида рыбы;
- экономичность работы для снижения эксплуатационных расходов;
- длительность эксплуатации (срок жизни проекта рассчитывается на 10-15 лет);
- доступное, минимальное и мало затратное сервисное обслуживание;
- невозможно использование «аналогичного» оборудования для аквариумов, плавательных бассейнов и прудов.

Основными ошибками при проектировании и эксплуатации систем УЗВ являются [5]:

- применение одной схемы УЗВ для различных видов аквакультуры;
- подбор оборудования по стоимостному критерию вместо подбора по технологическим требованиям;
- использование «номинального» состава оборудования;
- отсутствие контроля параметров производства в автоматическом режиме и систем оповещения персонала о начале отклонений;

- отсутствие сервисного обслуживания оборудования;
- отсутствие гидравлических и механических расчетов системы;
- низкая квалификация персонала.

УЗВ имеют следующие перспективы развития [5]:

- совершенствование технологии и структуры систем, включая систему очистки и кондиционирование воды;
- улучшение систем контроля качества воды и

затраты на логистику, возможность контроля персонала с целью предотвращения кражи рыбы и кормов из хозяйства.

Недостатками же являются:

- затраты на строительство установки, электроснабжение, очистные сооружения, корм;
- необходимость наличия аварийного электроснабжения;
- потребность в высококвалифицированном

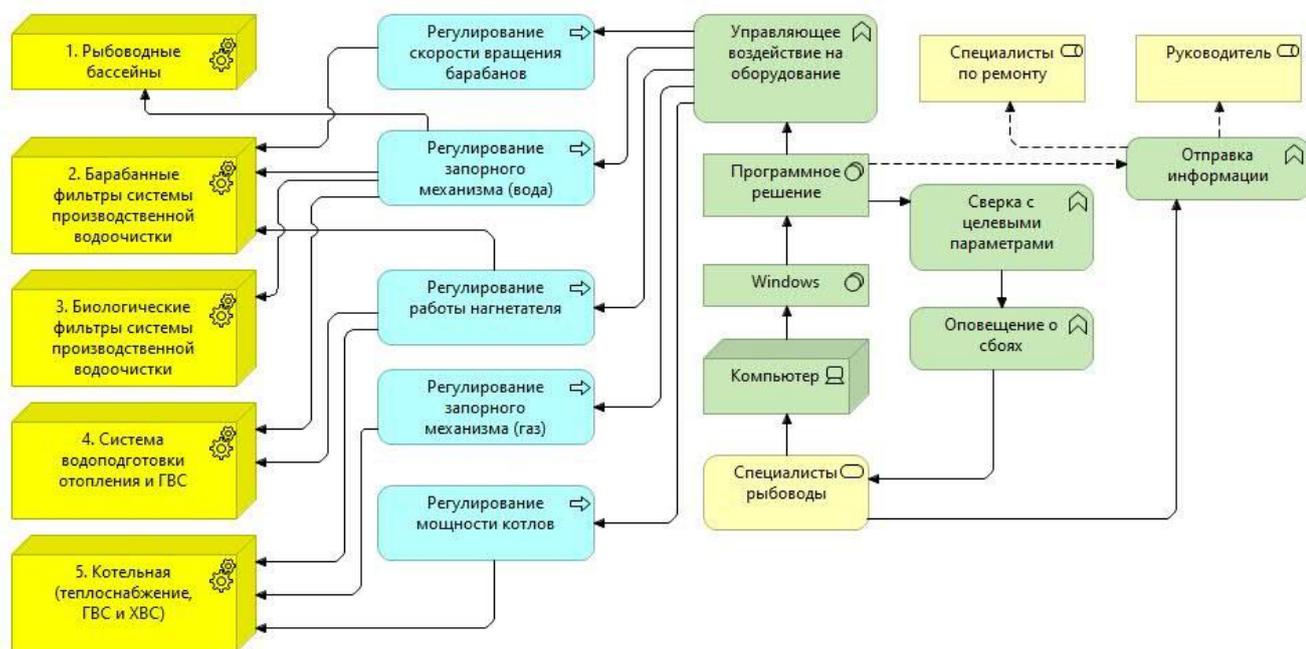


Рис. 2. Концепции пульта управления с указанием планируемых управляющих воздействий на узлы системы

управление этими параметрами;

- повышение надежности работы оборудования и системы в целом;
- разработка санитарных норм эксплуатации;
- разработка технологий обезвоживания и утилизации отходов производства (особенно систем с морской водой);
- поиск путей снижения стоимости строительства и эксплуатационных затрат.

Разведение рыб в УЗВ имеет как преимущества, так и недостатки. К преимуществам можно отнести:

- улучшенный контроль за проточностью и очисткой воды, температурным режимом, гидрохимическим режимом;
- низкий уровень водопотребления;
- сведение к минимуму объема сточных вод;
- относительно небольшая площадь строительства;
- высокая плотность посадки рыбы;
- значительное снижение риска заболеваний аквакультуры;
- круглогодичность;
- возможность автоматизировать и механизировать подачу корма, очистку воды, насыщение кислородом, возможность выбора места ведения деятельности, что может позволить снизить

персонале;

- обеспечения высокого уровня биологической безопасности;
- ошибки при строительстве и эксплуатации приводят к деформации скелета рыбы;
- регистрация бассейнового хозяйства.

УЗВ является перспективной и современной методикой выращивания аквакультуры. Она обеспечивает высокое качество продукции при соблюдении технологических параметров производства. Весомым достоинством является возможность автоматизации производства с минимизацией риска возникновения человеческих ошибок.

#### IV. КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ

В данной работе рассматривается вариант автоматизации, при котором в автоматическом режиме происходит измерение параметров, оповещение персонала об отклонении параметров от целевых значений, запись информации о параметрах в базу данных, а также возможность автоматизированного управления исполнительными механизмами. Комплекс технических средств и потоков информации объединен в единую сеть в системе управления. Оператор имеет доступ к информации о текущих значениях всех

контролируемых параметров, управлению механизмами, влияющими на данные параметры, а также данных, записанных в базу, посредством единого пульта управления.

Единый пульт управления проектируется как единый узел. Он представляет из себя компьютер со специальным программным обеспечением. Информация с датчиков, которые производят измерения различных параметров, обрабатывается в системе управления и отображается в количественных значениях на мониторе. Оператор имеет доступ ко всем измерениям в любой момент времени. Помимо отображения текущего состояния, система имеет функцию анализа полученной информации и сравнения её с целевыми, заранее заданными параметрами. В случае отклонения измеренных параметров от заданных система оповещает оператора о том, в каком узле случилось отклонение, текущее состояние и степень отклонения. Также программное средство содержит ряд функций, позволяющих управлять производственным процессом. Команда из программного обеспечения передается на тот или иной исполнительный механизм для регулирования параметров. Таким образом, оператор быстро получает информацию о возможной проблеме и имеет возможность своевременно предпринять необходимые действия для поддержания объемов производства и качества продукции на заданном уровне.

В зависимости от рыбной культуры, для которой подготавливается устройство замкнутого водоснабжения, контролируемые параметры могут различаться. В рамках данной работы контролируемые параметрами являются:

- наличие и уровень воды;
- температура воды;
- содержание азотных соединений в воде;
- кислотность воды;
- качество корма;
- электропроводность воды.

Схематичное изображение концепции пульта управления с указанием планируемых управляющих воздействий на узлы системы приведено на рис. 2.

Планируется, что для подачи управляющего воздействия специалист-рыбовод при использовании компьютера на базе операционной системы Windows и созданного программного обеспечения сможет подавать следующие типы управляющих воздействий (выделены голубым цветом):

- регулирование скорости вращения барабанов;
- регулирование запорного устройства (газ);
- регулирование запорного устройства (вода);
- регулирование работы нагнетателя;
- регулирование мощности котлов.

Желтым цветом выделены подсистемы, на которые будет подаваться управляющее воздействие. Управление запорными механизмами в контуре воды позволит обновлять воду в бассейнах и контролировать её уровень. Управление работой нагнетателей позволит регулировать давление и расход воды, которая направляется из бассейна на очистку сначала в барабанный фильтр, затем в биологический фильтр. В двухконтурной системе подогрева завершается цикл подготовки воды, при этом температура регулируется за счет мощности работы котлов и расхода воды в контурах.

В случае обнаружения отклонений от заданных целевых параметров либо нарушениях в работе контрольно-измерительных приборов система, в первую очередь, оповещает специалиста-рыбовода о сложившейся ситуации, позволяя ему принять решение о дальнейших действиях. В случае необходимости проведения ремонтных работ система позволяет направить сообщение руководителю фермы и специалисту по ремонту. В сообщении содержится информация о времени обнаружения неисправности, месте, где она произошла, а также краткий комментарий специалиста-рыбовода в случае необходимости.

## V. КОНЦЕПЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Для анализа производственных процессов с целью их возможной корректировки и улучшения технологии выращивания рыбы необходимо создать также базу данных, которая бы хранила информацию о значимых параметрах производства. База данных используется для записи информации о значениях контролируемых параметров за выбранные заказчиком периоды времени. Она доступна через любой авторизованный в системе компьютер. Таким образом, получить статистические данные об отслеживаемых параметрах в любой момент времени может как оперативный персонал, так и руководство предприятия.

Программное средство, на базе которого реализован пульт управления, также имеет функцию записи информации в базу данных. Эта база существует в

Таблица 1. Пример вида базы данных

					25 июня						
					15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30
№ п/п	Группа	Тип датчика	Ед. изм.	Расположение	Значения						
1	Рыбоводные бассейны	Температурный	°C	Рыбоводный бассейн №4	26,5	26,6	26,9	27,3	27,2	27,2	27,1
2	Рыбоводные бассейны	Мутность воды	NTU	Рыбоводный бассейн №4	4,65	3,29	3,57	4,17	4,78	3,41	3,15
3	Рыбоводные бассейны	Кислотность	pH	Рыбоводный бассейн №4	7,055	7,003	7,002	8,705	7,002	7,000	7,003
4	Рыбоводные бассейны	NO <sub>3</sub>	мг/л	Рыбоводный бассейн №4	13,6	11,6	10,6	10,8	10,5	11,3	14,5
5	Рыбоводные			Рыбоводный	0,01	0	0,01	0	0,01	0	0,01

облачном хранилище и защищена паролем, поэтому она не подвержена утере или несанкционированному доступу сторонних лиц. Она хранит информацию о значениях измеряемых параметров в определенные (установленные заказчиком) моменты времени, а затем сравнивает их с допустимыми значениями. При этом запись происходит в автоматическом режиме непрерывно.

При необходимости получения информации создается файл Excel, в котором содержатся требуемые данные. При этом можно выбрать определенный промежуток времени и те датчики, информация о показателях которых необходима. Файл построен таким образом, чтобы пользователю было максимально удобно читать и анализировать информацию. Пример вида базы данных приведен в Таблице 1.

Каждый датчик имеет имя, свой порядковый номер в таблице, данные о принадлежности к группе, месторасположении, а также единицах измерения. Для каждого нового измерения добавляется столбец, для столбцов указаны дата и время. При этом при перемещении вдоль строк или столбцов информация о времени и датчике не смещается, так как эти ячейки закреплены.

Если данные содержат параметры, которые выходят за рамки допустимых значений, то ячейки с этими данными выделяются, чтобы их было легко обнаружить. В текущем примере значение pH, измеренное датчиком в 17:00, является слишком высоким для безопасной жизнедеятельности рыбы, поэтому система выделила записанное значение. Далее оператор имеет возможность выполнить анализ, где и по какой причине произошло отклонение.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ текущего состояния рыбоводческой отрасли показал, что рыба является востребованным ресурсом и темпы её потребления растут с каждым годом. При сохранении текущих объемов вылова морских видов рыб неизбежно наступит истощение морских ресурсов. Это свидетельствует о необходимости развития рыбоводческих хозяйств, которых сейчас существует недостаточно для покрытия потребности в рыбе.

Технология УЗВ существует около пятидесяти лет. Такой способ выращивания рыбы распространен по всему миру и может применяться независимо от климатических условий, к тому же подходит для большого количества видов рыб. Для этой технологии существуют пути улучшения, в том числе автоматизация рыбного хозяйства.

Разработана и описана концепция единого пульта управления, с помощью которого операционный персонал может как отслеживать состояние всех необходимых параметров производства, так и управлять ими посредством отправки команд на исполнительные механизмы, контролирующие значения параметров. Кроме того, оператор получит оповещение в случае

отклонение какого-либо параметра от заданного значения. Для сбора статистических данных используется база данных, расположенная в облачном хранилище. Запись информации происходит в автоматическом режиме. Доступ к данным можно получить через авторизацию в любое время. Также доступна функция сортировки данных по типу датчика и времени и выгрузка информации в файл Excel. Концепция единого пульта управления и базы данных отражены на схемах.

Полученное решение возможно использовать для автоматизации любого рыбного хозяйства при установлении требуемых исходных данных.

## БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] О развитии и поддержке аквакультуры (рыбоводства) в Российской Федерации: информ. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 164 с.
- [2] Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020: краткий обзор / Продовольственная и сельскохозяйственная Организация Объединенных Наций, 2020 г. – 28 с.
- [3] Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and their Commercial Application – Final Report, University of Stirling, March 2014, pp. 28-35.
- [4] Хмельницкий В.Н. УЗВ в аквакультуре: история и перспективы развития. ООО «Аквафид», Калининград, 2018.
- [5] Томилов А. В. Оборудование и системы УЗВ. ООО «Аквафид», Калининград, 2018.

# Conceptual project of partial automation of recirculation aquaculture farm

Dmitry Grigorev, Daria Bolgova

**Abstract** — the article is devoted to the description of a conceptual project for the automation of a recirculation aquaculture system (RAS). The conceptual design reflects the relationship between the core equipment of the fishery with a unified control panel (UCP), which supports decision-making, and with a database used for storing and analyzing indicators of control and measuring devices.

UCP allows you to monitor all production parameters and manage them from the operator's workplace, as well as receive notifications about violations of technological conditions. The UCP is a computer-based program.

To control the parameters of the environment, instrumentation is installed that collect data important for production. The operator has the ability to remotely monitor the collected data in real time to monitor the state of fish, aquatic environment or equipment and manage these conditions in a timely manner by sending signals through the computer system. Data from the indicators are continuously recorded in the database at a selected frequency. The database is readable from any authorized device. In case of deviation of indicators from the specified limits, the system immediately informs the operator about the violation of the technological process. The conceptual design considers the main technological equipment used at the RAS, the expected control actions on the system and the connection with the UCP and the database, and reflects this connections in the diagrams. This project can be applied to any fishery after adjusting the composition of the equipment and the required technological parameters of production.

**Keywords**-Automation, aquaculture, unified control panel, conceptual project, installation of closed water supply.

## REFERENCES

- [1] On the development and support of aquaculture (fish farming) in the Russian Federation: inform. ed. - Moscow: FGBNU "Rosinformagrotech", 2020 -- 164 p
- [2] The state of world fisheries and aquaculture-2020: a brief overview / Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020-28 p.
- [3] Review of Recirculation Aquaculture System Technologies and their Commercial Application – Final Report, University of Stirling, March 2014, pp. 28-35.
- [4] Khmelnitsky V. N. UZV in aquaculture: history and prospects of development. Aquafid LLC, Kaliningrad, 2018.
- [5] Tomilov A.V. Equipment and ultrasound systems. Aquafid LLC, Kaliningrad, 2018.