

**А.В. Козырь***Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СИСТЕМУ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ, И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Аннотация: Все большее развитие получает промышленное рыбоводство, и, в частности, культивирование гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Данные системы являются перспективными за счет возможности выращивания рыбы при высоких плотностях посадки с минимальным использованием водных ресурсов. Для приведения оборотных вод к значениям показателей необходимых при культивировании определенного вида рыбы используется оборудование (системы механической и биологической фильтрации, обеззараживания, аэрации и др.), позволяющее поддерживать на необходимом технологическом уровне факторы среды выращивания. От эффективности работы данного оборудования зависит ресурсоэффективность и производительность всей системы. Одним из важнейших элементов УЗВ является биофильтр: процессы биологического окисления и окислительно-восстановительные реакции, проводимые микроорганизмами в нем, позволяют сокращать концентрацию азотистых соединений в системе. Определены основные факторы влияющие на эффективность работы системы биологической фильтрации: температура от 13 до 28 °С, концентрация растворенного кислорода не менее 2 мг/л на выходе из биофильтра, концентрация общего аммонийного азота до 4,5 мг/л, рН 8,0–8,2 и отсутствие прямых солнечных лучей на открытую часть биофильтра. УЗВ дает возможность управления данными факторами, влияющими на протекание технологических процессов. Однако, сложности у обслуживающего персонала вызывает корректировка водородного показателя. Произвести правильный расчет необходимого количества щелочи либо кислоты, учитывая высокую буферность оборотных вод и поддерживать значения рН на одном уровне, не всегда представляется возможным. Также процессе такой корректировки образуются побочные химические соединения, которые в последствии необходимо удалять из системы, увеличивая общее водопотребление



УЗВ. Существуют методики электролизной безреагентной рН-коррекции. Разработан безреагентный рН-корректор с анодом и катодом из инертных насыпных материалов (графит). Испытание такой системы позволило скорректировать значения водородного показателя обрабатываемой воды до рН $6,24 \pm 0,114$ и $8,10 \pm 0,158$ при исходных значениях 7,4. Напряжение при обработке составляло 18,3 Вольта, Сила тока 2,1 Ампера, при минерализации воды (TDS) = 287 ppm. Полученные значения позволяют произвести разделение потоков в системе для создания благоприятных условий прохождения биотехнологических процессов в биофильтре, и воздействовать на баланс аммиак-аммония в рыводных емкостях.

Ключевые слова: установка замкнутого водоснабжения, биологическая очистка, клариевый сом, рН-коррекция, аквапоника

A. Kozyr

Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

DETERMINATION OF FACTORS AFFECTING THE BIOLOGICAL FILTRATION SYSTEM IN INDUSTRIAL AQUACULTURE AND METHODS TO INCREASE ITS EFFICIENCY

Abstract: Industrial fish farming is becoming increasingly developed, and, in particular, the cultivation of aquatic organisms in recirculating aquaculture system (RAS). These systems are promising due to the possibility of growing fish at high planting densities with minimal use of water resources. To bring the circulating waters to the values of indicators necessary for the cultivation of a certain type of fish, equipment is used (mechanical and biological filtration systems, disinfection, aeration, etc.), which allows to maintain the factors of the growing environment at the required technological level. The resource efficiency and performance of the entire system depends on the efficiency of this equipment. One of the most important elements of RAS is a biofilter: the processes of biological oxidation and redox reactions carried out by microorganisms in it make it possible to reduce the concentration of nitrogenous compounds in the system. The main factors influencing the efficiency of the biological filtration system are determined: temperature from 13 to 28 °C, concentration of dissolved oxygen at least 2 mg/l at the outlet of the biofilter, concentration of total ammonium nitrogen up to 4.5 mg/l, pH 8.0–8.2 and the absence of direct sunlight on the open part of the biofilter. RAS makes it possible to control these factors affecting the flow of technological processes. However, the adjustment of the hydrogen index causes difficulties for the service personnel. It is not always possible to make the correct



calculation of the required amount of alkali or acid, given the high buffering of circulating waters and to maintain pH values at the same level. In the process of such an adjustment, side chemical compounds are formed, which subsequently need to be removed from the system, increasing the total water consumption of the RAS. There are methods of electrolysis reagentless pH correction. A non-reactive pH corrector with an anode and cathode made of inert bulk materials (graphite) has been developed. Testing of such a system made it possible to correct the values of the hydrogen index of the treated water to pH 6.24 ± 0.114 and 8.10 ± 0.158 at the initial values of 7.4. The processing voltage was 18.3 Volts, Current 2.1 Amperes, with water mineralization (TDS) = 287 ppm. The obtained values make it possible to separate the flows in the system to create favorable conditions for the passage of biotechnological processes in the biofilter, and to influence the ammonia-ammonium balance in fish tanks.

Keywords: Recirculating aquaculture system, biological purification, clarium catfish, pH correction, aquaponics

Введение. Все большее развитие получает индустриальное рыбоводство, и, в частности, культивирование гидробионтов в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) [1]. В настоящее время, практически во всём мире (включая страны с тропическим климатом) используются данные системы, так как они позволяют гарантируемо управлять процессом выращивания и планировать объем и сроки вылова выращиваемой рыбы [2]. Также данные системы позволяют производить продукцию при ограниченных запасах водных ресурсов, достигается это за счет рециркуляции технологических вод в установке. В современных УЗВ ежедневный подмен воды составляет от 8 до 12 % от объема установки в сутки [3]. За счет рециркуляции и малой подмены чистой воды в системе накапливается большое количество загрязнителей как механических (чешуя, остатки корма, фекальные массы), так и химических (азотистые соединения, фосфор, углекислый газ и др.). Для приведения технологических вод к значениям показателей необходимых при культивировании определенного вида рыбы используется технологическое оборудование, позволяющее существенно сократить количество загрязнителей в системе [4].

Основная часть. Обработка воды в УЗВ включает в себя несколько этапов, которые можно разделить на механическую и биологическую очистку. В механическом удалении частиц и дезинфекции участвуют физико-химические агенты (кислород, температура, озон, ультрафиолет (УФ), pH, Total Dissolved Solids (TDS), а в случае биологической



очистки преобладают процессы биологического окисления и окислительно-восстановительные реакции, проводимые микроорганизмами. Сообщество в биофильтре играет ключевую роль в обработке воды. Фактически, оно влияет на вид и концентрацию азотистых соединений, прирост биомассы и активность рыб, и потребление кислорода системой, также весомое значение оказывается на водородный показатель [5].

В УЗВ бактерий условно разделяются на две группы, первые — гетеротрофные бактерии участвующие в минерализации различных органических веществ в системе: углеводов, аминокислот, белков и липидов. Они поступают с несъеденным кормом и экскрементами рыб. Вторая группа — автотрофные бактерии которые окисляют неорганические азотсодержащие соединения, серу и железо, при этом добывая энергию. Для реализации данного процесса необходим углерод, источником которого выступает углекислый газ [6]. В ходе минерализации азота в составе протеинов происходит выделение аммония (NH_4^+). Также большое количество азотсодержащих соединений выделяется непосредственно рыбами, в том числе и через жабры.

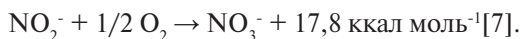
Основное достоинство при культивировании рыбы в УЗВ — возможность управления системой. Процессы механической очистки, температуры, проточности легко управляются, в то время как биологические системы, основанные на взаимодействии микробных сообществ между собой и со средой, с трудом поддаются контролю. Для протекания реакций нитрификации в системе биологической очистки необходимо создание определенных условий среды. Реакция проходит в два этапа на первом этапе окисляющие аммоний бактерии, переводят аммоний в нитрит, на втором этапе нитрит окисляется до нитрата. В данных процессах участвуют протеобактерии *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. И те, и другие микроорганизмы являются грамотрицательными. Их относят к семейству *Nitrobacteriaceae*. Все известные нитрифицирующие бактерии являются облигатными аэробами, и для проведения реакций им необходим кислород. Реакцию окисления аммония можно представить следующим образом:



Но весь процесс превращения аммония в нитраты происходит в несколько этапов с образованием соединений, где азот имеет разную степень окисленности. Сначала аммоний окисляется до гидроксиламина,



как промежуточного продукта, а затем до нитрита. Реакция окисления нитрита в нитрат имеет следующий вид:



Для проведения реакции нитрификации необходимо значительное количество кислорода. При недостаточной концентрации кислорода в биофилтре реакция окисления нитрита в нитрат может не происходить, и технологические воды будут насыщаться токсичным для рыбы нитритом. Понижение уровня кислорода в воде может быть связано со сбоями в работе аэрационного оборудования, либо наличием больших колоний гетеротрофных бактерий [8]. Если механизмы нитрификации в должной степени изучены, то влияние флоры гетеротрофных бактерий вызывает вопросы. Основной проблемой является то, что они конкурируют с автотрофными бактериями за кислород и субстрат, и существенно ингибируют нитрификацию [9]. Фактически, в биофилтре гетеротрофные бактерии развиваются быстрее и преобладают на внешнем слое наполнителя, непосредственно потребляя кислород из воды. Это пагубно сказывается на автотрофах, которые растут медленнее и в глубоких слоях субстрата и биофилтра. Конкуренция имеет критическое значение в эффективности работы филтра при окислении аммония [10].

На процессы нитрификации в УЗВ оказывают факторы, представленные на рис. 1.

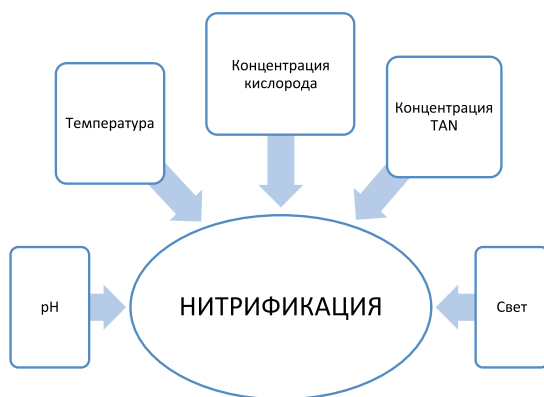


Рис. 1. Факторы среды влияющие на процессы нитрификации

Fig. 1. Environmental factors affecting nitrification processes



1 — температура и концентрация кислорода. Данные факторы имеют взаимосвязь, так как температура воды в биологическом фильтре имеет влияние на концентрацию растворенного в ней кислорода. Растворимость кислорода в воде повышается с понижением температуры, поэтому в холодной воде концентрация кислорода выше (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость концентрации растворенного кислорода в воде от температуры [11]

Table 1. Dependence of dissolved oxygen concentration in water on temperature [11]

Температура (°C)	Концентрация кислорода (мг/л)
15	9,8
20	9,1
25	8,1
30	7,5

Снижение уровня кислорода в биологическом фильтре ведет к снижению эффективности нитрификации. На каждый грамм окисления аммония в нитрат требуется не менее чем 4,57 г кислорода. Оптимальная работа системы биологической фильтрации достигается при концентрации выше 2 мг/л в оборотной технологической воде, выходящей после системы биологической фильтрации. Недостаток кислорода не позволяет должным образом развиваться нитрифицирующим бактериям, и они уступают свое место на субстрате гетеротрофным, развитие которых оказывает пагубное воздействие на систему. Наиболее оптимальным диапазоном температуры воды в биофильтре являются значения от 13 до 28 °C.

Управление температурным режимом может производиться путем корректировки мощности системы нагрева или охлаждения, а также за счет подменной воды непрошедшей стадию подогрева. Использование датчиков температуры в различных узлах УЗВ позволяет оператору иметь полную температурную карту установки и грамотно производить ее корректировку согласно технологическим аспектам культивируемого вида рыбы.

Уровень растворенного кислорода можно увеличить путем повышения производительности воздуходувок/оксигенаторов, или понижением температуры воды, а также путем уменьшения количества его потребителей. Понижение температуры возможно лишь в тех случаях, когда это позволяет технология культивирования выбранного вида



рыбы. Возможно повышение концентрации кислорода за счет применения средств интенсификации его внесения: напорные либо безнапорные оксигенаторы, ультразвуковые и керамические распылители.

Важную роль в управлении концентрацией растворенного кислорода является его контроль, для этого могут использоваться датчики растворенного кислорода, оксиметры, экспресс тесты, лабораторные способы определения. Контроль должен производиться как минимум в трех точках системы:

1. Культуральный бассейн;
2. Биологический фильтр;
3. Емкость накопитель после биофильтрации.

Постоянный плановый контроль позволит вовремя определить нехватку кислорода и предотвратить негативные последствия: снижение эффективности нитрификации, ухудшение гидрохимического режима, гибель рыбы.

2 — освещение. Освещение оказывает отрицательное влияние на работу системы биологической фильтрации. Под влиянием света происходит гиперполяризация клеточных мембран. Обладая положительным зарядом, мембраны отталкивают одноимённо заряженные ионы аммония, вследствие чего процессы нитрификации снижаются.

Также обилие света и питательных веществ вызывает развитие в биофильтре водорослей, которые оказывают общее негативное воздействие на систему механической фильтрации.

Для минимизации негативного воздействия света рекомендуется использовать крышки для биофильтров, однако при их конструировании следует учесть тот факт, что в верхней точке биофильтра должен обеспечиваться воздухообмен, так как в реакторе проходят процессы дегазации. Также при проектировании системы стоит отказаться от источников солнечного света вблизи биофильтров.

3 — концентрация азотистых соединений. Концентрация аммиак-аммония оказывает непосредственное влияние на скорость нитрификации и эффективность работы биофильтра. С его возрастанием продуктивность биофильтра повышается. Эта зависимость строго соблюдается в диапазоне концентрации аммония от 0 до 4,5 мг/л. Существуют данные, что слишком высокие концентрации аммония и нитрита подавляют нитрификацию.

Необходимо поддерживать уровень азотистых соединений на определенном уровне, при создании технологической схемы выращивания

рыбы избегать периодов, в которые в установке будет выращиваться крайне малое количество рыбы, неспособное продуцировать должное количество загрязнителей. Производить постоянный расчет продуцируемого общего аммонийного азота (TAN) в зависимости от вносимого корма.

4 — водородный показатель pH. Водородный показатель имеет наибольшее влияние на протекание нитрификации и работу системы биологической очистки. Его значения для общей системы и для бактерий указаны на рис. 2.

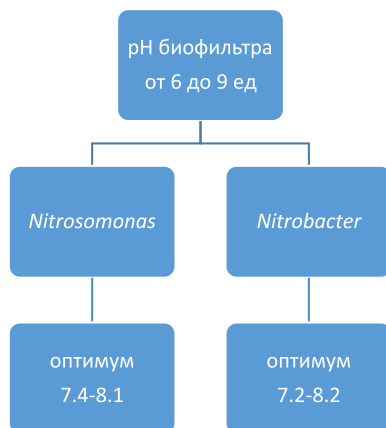


Рис. 2. Значения pH для нитрификации
Fig. 2. pH values for nitrification

Слабощелочная вода является оптимумом для эффективной работы бактерий биофильтра. Поддержание такого режима в биофильтре также обусловлено тем, что для перевода аммиак-аммония в нитрат необходимо израсходование щелочей из системы. Для этого рыбоводами они вносятся в установку из вне, в основном в виде бикарбоната натрия (рекомендуется вносить 250 г на 1 кг корма). В процессе нитрификации происходит закисление среды, и при плохих буферных свойствах биофильтра, либо при отсутствии должной корректировки со стороны обслуживающего персонала происходит снижение pH и замедляется нитрификация. Если вообще не проводить корректировку pH, то эффективность работы биофильтра может снизиться до 65 % от проектной. Корректировка не производится в том случае, если водородный пока-



затель воды используемой для подпитки системы уже имеет слабощелочные значения.

Показатели pH в системе также оказывают на баланс аммиак-аммония. Аммиак и ион аммония находятся в химическом равновесии $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$, которое в щелочной среде смещается влево — связывание ионов водорода, а в кислой вправо — образование аммония. Кроме pH воздействие оказывает температура технологических вод. Зависимость соотношения свободного и связанного аммиака приведена в табл. 2.

Таблица 2. Зависимость соотношения свободного и связанного аммиака при различных значениях pH и температуры [11]
Table 2. Dependence of the ratio of free and bound ammonia at different pH and temperature values [11]

Температура	Содержание аммиака в % при различных значениях pH							
°С	6,0	7,0	7,5	8,0	8,2	8,4	8,6	8,8
25	0,05	0,53	1,70	5,1	7,8	11,9	17,6	25,3
15	0,03	0,26	0,80	2,5	3,9	6,1	9,2	14,0
5	0,01	0,12	0,37	1,2	1,8	2,9	4,5	6,9

Ион аммония NH_4^+ не оказывает значительного негативного влияния на рыб, как и в случае с CO_2 , организм рыбы выделяет свободный аммиак NH_3 через жабры. Выделение аммиака, как правило, прямо пропорционально количеству съеденного корма, обратно пропорционально кормовому коэффициенту и зависит процента протеина в корме и качества ингредиентов позволяющих его достичь.

Кроме pH на равновесие и образование азотистых соединений оказывает влияние температура. Повышение температуры технологических вод активизирует процессы аммонификации, или гниения, — разложении белков на менее сложные соединения: пептоны, пептиды, аминокислоты. Аминокислоты разрушаются до конечного продукта — аммиака. В процессах расщепления белка активное участие принимают аэробные микроорганизмы: и пигментообразующие бактерии, жизнедеятельность и работа которых также оказывает влияние на концентрацию растворенного кислорода в воде. Таким образом, перед подачей воды на систему биологической фильтрации необходимо производить качественную механическую очистку технологической оборотной воды от загрязнителей. Особенно проблемными для удаления и последующего разложения являются тонкодисперсные взвешенные частицы диаметром менее 30 мкм, так как в основ-



ном фильтрующее сито барабанных фильтров имеет диаметр ячеей от 50 до 100 мкм [12].

Таким образом, все вышеперечисленные факторы оказывают влияние на работу системы биологической фильтрации и процессы нитрификации. Для достижения максимальной производительности биофильтра необходимо обеспечить контроль и управление данными факторами. Наиболее сложным в плане управления является водородный показатель. В УЗВ его контролируют путем внесения щелочей или кислот, в зависимости от первоначального значения рН. Однако применение данного способа несет за собой ряд недостатков. Имеется сложность в расчете необходимого количества реагента для рН коррекции, в случае ошибки технолога и внесения большей концентрации щелочей или кислот произойдет существенное закисление или защелачивание воды. Изменение водородного показателя в УЗВ не должно колебаться более 0,5–0,7 ед в сутки, иначе это оказывает негативное влияние на культивируемую рыбу. Ошибка во внесении реагентов также может быть обусловлена высокими буферными свойствами технологической воды. В процессе такой корректировки образуются побочные химические соединения, которые в последствии необходимо удалять из системы.

Все большее распространение в смежных отраслях получают способы электрохимической обработки воды. Они применяются для очистки природных и сточных вод, позволяют отказаться от использования химических реагентов, исключить рост соленосодержания в воде, получать необходимые продукты непосредственно из обрабатываемой воды. Особенно эффективно использование этих методов в безотходных и малоотходных технологиях в замкнутых системах, где ввод любого вещества в систему неизбежно приводит к его накоплению, коей и является УЗВ.

Данная технология позволяет производить электролизную обработку технологических вод УЗВ с разделением продуктов ее реакции. В электролизере, под влиянием электрического тока протекают сложные физико-химические процессы в результате которых происходит изменение валентности ионов при окислительно-восстановительных реакциях, приводящие к изменению рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Используя данную технологию возможна как корректировка водородного показателя, так и разделение технологической воды на католит и анолит.



Интеграция данной технологии в систему очистки технологической воды в УЗВ позволит производить безреагентную рН-коррекцию. Учитывая тот факт, что слабощелочная среда в биофильтре повышает его производительность и является оптимальной для нитрифицирующих бактерий, в то время как в рыбоводных емкостях целесообразно поддерживать нейтральную-слабокислую среду для минимизации воздействия аммиака на рыбу, возможно разделение технологической воды на слабощелочную и слабокислую и направление только катодной воды в систему биологической очистки.

Для проверки данной гипотезы был разработан электролизёр с анодом и катодом из графита. Для разделения продуктов электролизных реакций использовалось тканное полотно. Электролизный рН-корректор был подключен к источнику питания постоянного тока.

Был произведен тест безреагентного рН-корректора: в систему подавалась вода из рыбоводных емкостей, в которых выращивался Клариевый сом (*Clarias gariepinus*), с результатами обработки можно ознакомиться в табл. 3.

Таблица 3. Гидрохимические показатели технологических вод УЗВ при безреагентной рН-коррекции
Table 3. Hydrochemical parameters of process waters of the ultrasonic system with non-reactive pH correction

рН	Температура, °С	№ пробы
Исходная		
7,4	26,3	—
Анодная		
6,2	26,3	1
6,4	26,4	2
6,3	26,6	3
6,1	26,7	4
6,2	26,7	5
Катодная		
7,9	26,4	1
8,2	26,4	2
8,0	26,5	3
8,3	26,5	4
8,1	26,5	5
Смешанная анодная и катодная		
7,2	26,6	—

Напряжение при обработке составляло 18,3 Вольта, Сила тока 2,1 Ампера, при минерализации воды (TDS) = 287 ppm.

Тестирование безреагентного pH-корректора показало, что возможно производить разделение технологической воды на слабощелочную и слабокислую, с возможностью ее дальнейшей нейтрализации. Наибольшее расхождение значений анодной и катодной воды составило 2,2 единицы pH, а среднее значение $6,24 \pm 0,114$ и $8,10 \pm 0,158$ соответственно.

Таким образом возможно производить корректировку водородного показателя к значениям необходимым для протекания биотехнологических процессов в УЗВ: воздействовать на равновесие аммиака и аммония в рыбоводных емкостях и биофилтре путем увеличения доли аммония в рыбоводных емкостях, что ведет к минимизации воздействия TAN на рыбу и одновременно поддерживать высокую концентрацию аммиака в биологическом фильтре для интенсификации реакции нитрификации, схема системы и значения pH в ней представлены на рис. 3.

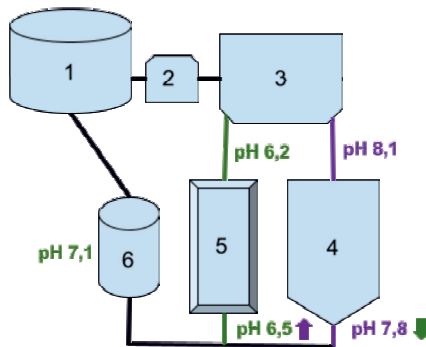


Рис. 3. Принципиальная схема УЗВ с использованием pH-корректора:

- 1 — рыбоводная емкость, 2 — механический фильтр, 3 — pH-корректор,
- 4 — биофильтр, 5 — аквапонный модуль, 6 — емкость реактор

Fig. 3. Schematic diagram of the RAS using a pH corrector:

- 1 — fish tank, 2 — mechanical filter, 3 — pH-corrector, 4 — biofilter,
- 5 — aquapon module, 6 — reactor tank

При коррекции водородного показателя образуется слабокислая вода, богатая азотистыми соединениями и насыщенная кислородом, она может быть использована для выращивания растений методом ак-



вапоники [13]. Использование данной технологии позволит снизить концентрацию нитратов, проблему которых не решает классическая система биологической фильтрации, а также получать дополнительную фитопroduкцию [14].

Следовательно, при разделении потока технологической оборотной воды после рН корректировки возможно направление на аквапонный модуль воды с рН $6,24 \pm 0,114$, а в биофильтр $8,10 \pm 0,158$ (данные показатели получены при проведении испытаний блока коррекции рН табл. 3), что обеспечит в биофильтре 5,164 процентов содержание аммиака соответственно (согласно данным табл. 2), и обеспечит эффективное прохождение реакций нитрификации.

Также электролизное воздействие позволяет производить первичную деструкцию органических соединений, тем самым облегчая работу системе биологической очистки по удалению азотистых соединений. При обработке производится изменение ОВП воды, что благоприятно сказывается на состоянии биопленки и времени ее нарастания. Разработанный рН-корректор при различных технологических режимах его использования способен как поддерживать на одном уровне значения рН, так и приводить катодную и анодную воды к конкретным значениям необходимым для протекания биотехнологического процесса.

Выводы. Система биологической очистки является самым сложным и наименее управляемым компонентом УЗВ, когда от эффективности ее работы зависит производительность и ресурсоэффективность всей установки. Для эффективного протекания реакций нитрификации необходимо создание оптимальных условий: температура от 13 до 28 °С, ТАН около 3–4 мг/л, водородный показатель рН 8,0–8,2, низкая освещенность и отсутствие солнечных лучей, соблюдение проточности, низкие концентрации взвешенных веществ.

Современное технологическое оборудование позволяет эффективно управлять большинством из вышеперечисленных показателей, однако существуют проблемы с рН коррекцией, она производится путем внесения щелочей или кислот в оборотные воды УЗВ. За счет высокой буферности технологической воды в системе технолог не всегда может правильно произвести расчет корректирующего агента.

Существуют методики электролизной безреагентной рН-коррекции. Испытание такой системы позволило скорректировать значения водородного показателя обрабатываемой воды до рН $6,24 \pm 0,114$ и $8,10 \pm 0,158$ при исходных значениях 7,4. Полученные значения позволяют произ-



вести разделение потоков в системе для создания благоприятных условий прохождения биотехнологических процессов в биофильтре, и воздействовать на баланс аммиак-аммония в рыбоводных емкостях.

Дальнейшие исследования будут направлены на создания опытной УЗВ с системой безреагентной рН-коррекции, и определению влияния данного комплекса на основные факторы среды выращивания и рыбохозяйственные показатели.

Список использованных источников

1. Осуществление рекомендаций предыдущих сессий подкомитета по аквакультуре КРХ [Электронный ресурс] : отчет 11 сес., Рим, 24–27 мая 2022 г. / Продовольств. и с.-х. орг. Объед. Наций, Ком. по рыб. хоз-ву, Подком. по аквакультуре. — Режим доступа: www.fao.org/3/cb9459ru/cb9459ru.pdf. — Дата доступа: 01.09.2022.
2. Агеец, В. Ю. Экологические проблемы рыбоводства в Республике Беларусь и пути их решения / В. Ю. Агеец // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. — 2015. — № 2. — С. 95–101.
3. Григорьев, С. С. Индустриальное рыбоводство : учеб. пособие : в 2 ч. / С. С. Григорьев, Н. А. Седова. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2008. — Ч. 1 : Биологические основы и основные направления разведения рыбы индустриальными методами. — 186 с.
4. Аквавитро [Электронный ресурс] : сайт по вопр. рыбоводства, аквакультуры и биологии гидробионтов. — Режим доступа: <http://aquavitro.org>. — Дата доступа: 01.09.2022.
5. Брайнбалле, Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения: введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы / Я. Брайнбалле. — Копенгаген : ЕВРО-ФИШ ; ФАО, 2010. — 71 с.
6. Жигин, А. В. Замкнутые системы в аквакультуре / А. В. Жигин. — М. : РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2011. — 664 с.
7. Никаноров, А. М. Гидрохимия : учебник / А. М. Никаноров. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Гидрометеиздат, 2001. — 444 с.
8. Пономарев, С. В. Индустриальное рыбоводство : учебник / С. В. Пономарев, Ю. Н. Грозеску, А. А. Бахарева. — Изд. 2-е., испр. и доп. — СПб. [и др.] : Лань, 2013. — 415 с.
9. Проскуренко, И. В. Замкнутые рыбоводные установки / И. В. Проскуренко. — М. : ВНИРО, 2003. — 152 с.
10. Жигин, А. В. Технико-экономические аспекты использования замкнутых систем в рыбоводных хозяйствах / А. В. Жигин, Н. В. Мовсесова // Рыбоводство и рыб. хоз-во. — 2014. — № 8. — С. 47–57.
11. Клариевый сом — перспективный объект индустриального рыбоводства / В. В. Ярмош [и др.] ; Полес. гос. ун-т. — Пинск : [б. и.], 2020. — 202 с.



12. Козырь, А. В. Рыбоводно-технологическая оценка установок замкнутого водоснабжения и пути повышения их ресурсоэффективности / А. В. Козырь // *Вестн. Палес. дзярж. ун-та. Сер. прыродазн. навук.* — 2022. — № 1. — С. 55–65.
13. Козырь, А. В. Влияние аквапонного модуля на содержание азотистых соединений в тепловодных установках замкнутого водоснабжения при выращивании клариевого сома (*Clarias Gariepinus*) / А. В. Козырь, Л. С. Цвирко // *Вестн. Палес. дзярж. ун-та. Сер. прыродазн. навук.* — 2019. — № 1. — С. 87–94.
14. Ковригин, А. В. Автоматизированная технология производства экологически чистой продукции растениеводства и аквакультуры в контролируемых условиях помещений / А. В. Ковригин // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы.* — 2016. — № 4 (12). — С. 124–129.

References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Report of the Eleventh Session of the Sub-Committee on Aquaculture, Rome, Italy, 24–27 May 2022. FAO Fisheries and Aquaculture Report, no. 1381. Rome, FAO, 2022. 81 p. <https://doi.org/10.4060/cc0928t>
2. Ageyets V. Y. Ecological problems of fisheries in the Republic of Belarus and their solutions. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2015, no. 2, pp. 95–101 (in Russian).
3. Grigor'ev S. S., Sedova N. A. Industrial fish farming. Part 1. Biological bases and main directions of fish breeding by industrial methods. Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka State Foam Technical University, 2008. 186 p. (in Russian).
4. Aquavitro. Available at: <http://aquaviro.org> (accessed 01.09.2022) (in Russian).
5. Bregnballe J. A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Copenhagen, Eurofish International Organisation, 2010. 64 p.
6. Zhigin A. V. Closed systems in aquaculture. Moscow, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural, 2011. 664 p. (in Russian).
7. Nikanorov A. M. Hydrochemistry. 2nd ed. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2001. 444 p. (in Russian)
8. Ponomarev S. V., Grozesku Yu. N., Bakhareva A. A. Industrial fish farming. 2nd ed. St. Petersburg etc., Lan' Publ., 2013. 415 p. (in Russian).
9. Proskurenko I. V. Closed fish farms. Moscow, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 2003. 152 p. (in Russian).
10. Zhigin A. V., Movsesova N. V. Technical and economic aspects of the use of closed systems in fish farms. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaistvo = Fish Breeding and Fisheries*, 2014, no. 8, pp. 47–57 (in Russian).
11. Yarmosh V. V., Tsvirko L. S., Tarazevich E. V., Astrenkov A. V., Kozyr A. V. Clary catfish — a promising object of industrial fish farming. Pinsk, 2020. 202 p. (in Russian).



12. Kozyr A. V. Fish breeding and technological assessment of recirculating aquaculture system and ways to increase their resource efficiency. *Vesnik Paleskaga dzyarzhhaunaga universiteta. Seryya pryrodaznauchykh navuk = Bulletin of the Polesky State University. Series of Natural Sciences*, 2022, no. 1, pp. 55–65 (in Russian).
13. Kozyr A. V., Tsvirko L. S. Influence of the AQUAPONIC module on the content of nitrogenous connections in the warm-water installations of the closed water supply at cultivation of *Clarias Gariepinus*. *Vesnik Paleskaga dzyarzhhaunaga universiteta. Seryya pryrodaznauchykh navuk = Bulletin of the Polesky State University. Series of Natural Sciences*, 2019, no. 1, pp. 87–94 (in Russian).
14. Kovrigin A. V. Automated technology for the production of environmentally friendly products of crop production and aquaculture in controlled conditions of premises. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy [Innovations in the Agro-Industrial Complex: Problems and Prospects]*, 2016, no. 4 (12), pp. 124–129 (in Russian).

Сведения об авторах

Козыр Алексей Викторович — аспирант кафедры технологий аквакультуры, Полесский государственный университет (ул. Днепровской Флотилии 23, 225710, г. Пинск, Республика Беларусь) E-mail: tpark.kozyr@gmail.com

Information about the authors

Kozyr Alexey — Postgraduate student of the Department of Aquaculture, Technologies of Polesky State University (Dneprovskaya Flotilla str. 23, 225710, Pinsk, Republic of Belarus) E-mail: tpark.kozyr@gmail.com