

УДК 639.3.06

А.В. КОЗЫРЬ

аспирант

Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь

Статья поступила 13 апреля 2022 г.

РЫБОВОДНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ

В статье дана оценка основного технологического оборудования, применяемого в установках замкнутого водоснабжения, описаны его основные технологические недочеты, предложена технологическая схема, и по ней протестирована физическая модель, позволяющая минимизировать воздействие и повысить эффективность работы установки. Использование электролизного безреагентного рН-корректора позволяет повысить эффективность работы системы биологической фильтрации, о чем свидетельствует снижение концентрации аммиак-аммония в 3,13 раза, и увеличить среднесуточный прирост на 29,8%.

Ключевые слова: клариевый сом, установка замкнутого водообеспечения, ресурсоэффективность, флотатор, биологическая очистка, рН-коррекция, прирост, кормозатраты.

KOZYR Alexey V.

Graduate Student

Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

FISH BREEDING AND TECHNOLOGICAL ASSESSMENT OF RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM AND WAYS TO INCREASE THEIR RESOURCE EFFICIENCY

The article gives an assessment of the main technological equipment used in recirculating aquaculture system, describes its main technological shortcomings, suggests a technological scheme and a physical model is tested using it to minimize their impact and increase the efficiency of the installation. Thus, the use of an electrolysis reagentless pH corrector makes it possible to increase the efficiency of the biological filtration system, as evidenced by a decrease in the concentration of ammonia-ammonium by 3.13 times and increase the average daily increase by 29.8%.

Keywords: *clarium catfish, Recirculating aquaculture system, resource efficiency, flotator, biological treatment, pH-correction, gain, feed costs.*

Введение. Системы с рециркуляцией воды созданы для выращивания гидробионтов по интенсивным технологиям на территориях, которые испытывают недостаток водных ресурсов. Благодаря удалению загрязнений, они позволяют использовать вторично 90–99% воды [1]. Оператор может контролировать параметры качества воды и факторы ми-

кроклимата в помещении и, следовательно, создавать оптимальные условия для культивирования рыб. Эти преимущества вследствие высоких капитальных и операционных затрат, а также необходимости постоянного мониторинга и управления системой оказывают влияние на повышение себестоимости производимой продукции. Постоянную ре-

циркуляцию воды обеспечивает насосная группа, что приводит к высокому потреблению электроэнергии. Чем сильнее степень рециркуляции и загрязнения технологических вод, тем выше будет этот расход. Следовательно, это сложная система на стыке биологии и инженерии, требующая мониторинга производительности и ее ресурсоэффективности [2]. Она появилась в ходе длительного развития, от простой очистки воды и аэрации до более сложных биотехнологических процессов, и сейчас считается высокотехнологичной отраслью аквакультуры [3].

Основная часть. Установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) можно разделить на 2 категории: 1-е для содержания маточного стада и выращивания рыбопосадочного материала, 2-е для получения товарной продукции. Данные установки имеют различия в конструкции рыбоводных емкостей, обрачиваемости воды в контуре, системах бактериологической и биологической очистки, и особенно в комплексах механической фильтрации. В данной работе будут исследоваться установки для выращивания рыбы до товарной продукции [4]. В основном данные установки имеют однотипную компоновку, представленную на рисунке 1.

Данные блоки и системы включают в себя ряд оборудования, обеспечивающего технологические процессы в УЗВ. Выбор оборудования зависит от вида культивируемого гидробионта, а также технологической схемы, выбранной авторами проекта. Например, наиболее распространенным типом биологического фильтра являлся капельный фильтр и фильтр с подвижной плавающей загрузкой, механические фильтра – различные констру-

кции с использованием микросит: барабанный и параболический фильтр. Для удаления углекислого газа применяют аэрлифтные колонны и биофильтры с большим объемом подаваемого воздуха. В качестве средства бактерицидной обработки воды используются озонаторы и ультрафиолетовые лампы.

Анализ, проведенный Maddi Badiola [5], позволил выявить наиболее проблемные компоненты УЗВ при ее эксплуатации, они указаны на рисунке 2.

Так или иначе, все вышеперечисленные проблемы связаны с удалением продуктов жизнедеятельности гидробионтов. Система механической фильтрации позволяет удалять продукты жизнедеятельности гидробионтов, несъеденные корма, чешую и т.д., однако, как показывают исследования, после проведения механической фильтрации через микроситчатые фильтра с ячейей фильтрующего полотна от 50 до 100 мкм, при концентрации взвешенных частиц в воде более 25 мг/л они не позволяют обеспечить должного уровня фильтрации для стабильной работы системы биологической очистки.

Тонкодисперсные взвешенные частицы (диаметром менее 30 мкм) являются основной частью взвеси в УЗВ. Они повышают потребление кислорода и разрушают жабры рыб. Кроме того, растворенные органические частицы (белки) могут внести большой вклад в потребление кислорода [6]. Тонкодисперсные и растворенные частицы нельзя удалить осаждением и механической фильтрацией. Для этой цели применяется пенное фракционирование с помощью флотаторов или, как их называют в Европе и США – протеиновых скиммеров.

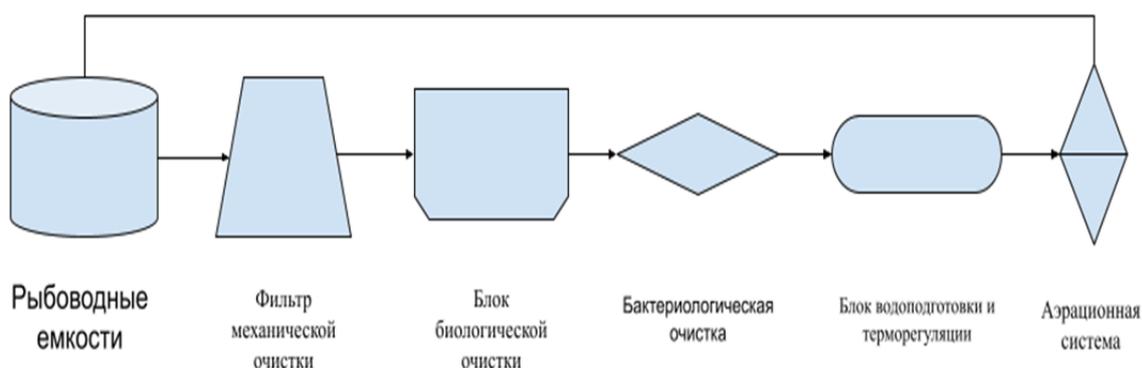


Рисунок 1. – Принципиальная схема компоновки основных элементов УЗВ

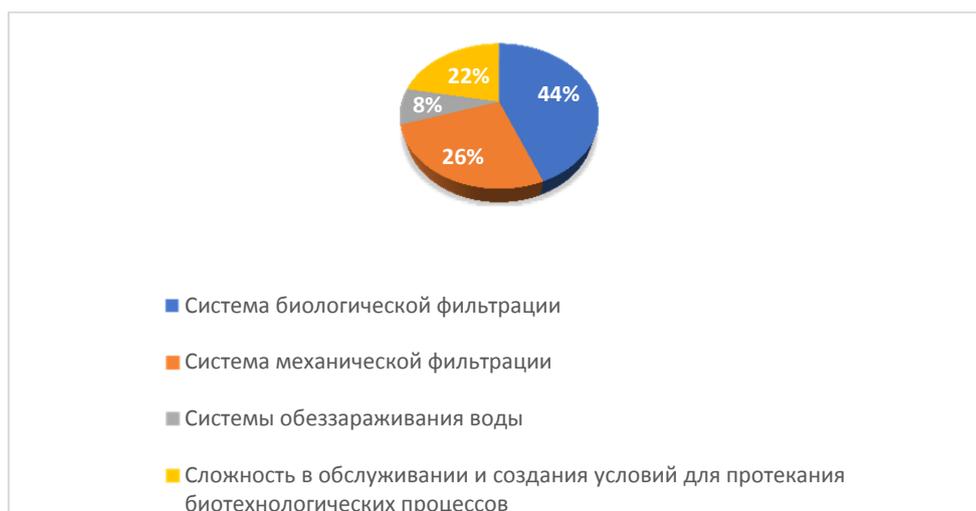


Рисунок 2. – Наиболее проблемные компоненты в УЗВ по оценке Maddi Badiola [5]

Процесс фракционирования заключается в введении пузырьков воздуха и других газов или газовых смесей, например озона, на дно столба воды. Поднимаясь, на границе воды/воздуха они создают пену. Затем пена удаляется из колонны фракционирования в емкость сбора загрязнений. Концентрация частиц в этой емкости может быть в 7 раз выше, чем в культуральном бассейне [7].

Использование флотаторов позволяет снизить мутность и, соответственно, количество тонкодисперсных взвешенных частиц, а также предотвратить кислородное голодание системы биологической фильтрации. Особенно эффективными считаются флотаторы с введением озона, который позволяет обеспечить окисление и консервацию взвешенных

частиц. Также свою эффективность доказали электрофлотаторы, в них флотация происходит пузырьками электролитических газов, образующимися при электролизе воды [8]. Эффект электрофлотация и флотация с использованием озона представлен на рисунке 3.

Таким образом, использование флотаторов позволяет решить ряд причин, которые оказывают негативное комплексное воздействие на элементы УЗВ, например, системы биологической и бактериологической очистки.

Для работы биологической системы очистки воды в УЗВ необходимо обеспечение ряда оптимальных условий, представленных на рисунке 4.



Рисунок 3. – Воздействие электрофлотации и флотации с использованием озона на УЗВ



Рисунок 4. – Оптимальные условия для работы системы биологической очистки в УЗВ

Отсутствие в системе УЗВ качественной механической очистки (или выход ее из строя) способствует нарастанию колоний гетеротрофных бактерий, не участвующих в процессе нитрификации, поэтому часть загрузки не будет работать на нитрификацию, и окислительная мощность биофильтра упадет [9]. Также недостаточная степень очистки приведет к изменению редокс-потенциала, повышенному потреблению кислорода и изменению рН воды. Все эти факторы окажут комплексное негативное влияние на работу системы биологической фильтрации, что, в свою очередь, приведет к ухудшению гидрохимического режима и потребует дополнительной подмены воды в системе [10].

В процессе нитрификации в биофильтре образуется кислота, и значение рН понижается. Для удержания рН на стабильном уровне в воду добавляется основания. Данная процедура происходит или насосом-дозатором для регулирования рН, или путем добавления заранее рассчитанного раствора NaOH вручную. Для полной автоматизации регулирования уровня рН насос может быть подключен к датчику рН [11]. Некоторые УЗВ содержат установки для известкования, добавляющие в систему по каплям известковую воду и, таким образом, стабилизируют рН. Другим способом является использование системы автоматической дозировки, регулируемой рН-метром с импульсом обратной связи к насосу-дозатору. В этой системе рекомендуют использовать гидроксид натрия (NaOH), поскольку он более прост в обращении, что облегчает эксплуатацию системы. Для увеличения рН используют 2–10%-ные растворы кислоты (чаще соляной), при этом изменения величины рН должны быть не более 0,5 ед

[12]. Использование реагентов требует постоянного технологического контроля и оперативного внесения растворов для коррекции водородного показателя. Это влечет за собой необходимость нахождения на объекте высоко квалифицированного персонала, который сможет произвести правильный расчет и коррекцию, а, как отмечалось выше, большинство предприятий нуждаются в квалифицированном персонале [13]. Существуют способы автономной безреагентной рН-коррекции – электролизные комплексы. Безмембранные электролизеры позволяют обеспечить поддержание рН на заданном уровне без внесения реагентов и постоянного технологического контроля. В качестве анода и катода в таких системах используется графит, который не выделяет дополнительных нежелательных химических элементов в систему. Также во время электролиза выделяется активный кислород, который легко поглощается системой биологической фильтрации или может быть направлен на флатирующие устройства. Электролизеры позволяют производить коррекцию редокс-потенциала, для работы биологических систем очистки рекомендуется его значение около -150 – -220 mV. Таким образом, используя электролизный блок в УЗВ, возможно создание условий для эффективной работы таких компонентов, как:

система механической фильтрации – направление электролизных газов во флотатор;

система биологической фильтрации – рН-стабилизация, корректировка редокс-потенциала, насыщение технологических вод атомарным кислородом.

Схема УЗВ с использованием флотатора и электролизного блока для рН-стабилизации и

насыщения технологических вод электролизными газами представлена на рисунке 5.

По данной схеме нами была смонтирована физическая модель УЗВ для проверки концепции ее работы. В качестве объекта выращивания был выбран клариевый сом (*Clarias gariepinus*), так как сом имеет мелкодисперсные экскременты, которые сложно подвергаются фильтрации. Объем рыбоводных емкостей составлял 1000 л, они были зарыблены 300 экземплярами. Кормление производилось комбикормом производства ОАО «Жабинковский комбикормовый завод» марки КО 112-3, с массовой долей протеина не менее 33%. Норма кормления составляла 2,5% от биомассы, корм подавался 3 равными дозами с помощью автоматических кормушек Jebao WSQ-01.

Нами был выбран биофильтр с плавающей подвижной загрузкой (850 м²/м³), его объем

составил 250 л, объем загрузки 1/3. Механическую фильтрацию обеспечивал параболический фильтр с микроситом 70 мкм. Также к системе был подключен разработанный безреагентный электролизный рН-стабилизатор с загрузкой из графита и источником питания постоянного тока.

В ходе выполнения эксперимента контролировались гидрохимические показатели, представленные в таблице 1.

Время выполнения эксперимента составляло 30 суток, контроль гидрохимических показателей проводился раз в 3 суток перед кормлением.

Первоначально проводился эксперимент с использованием электролизного блока. Результаты проведенных анализов гидрохимических показателей представлены в таблице 2.

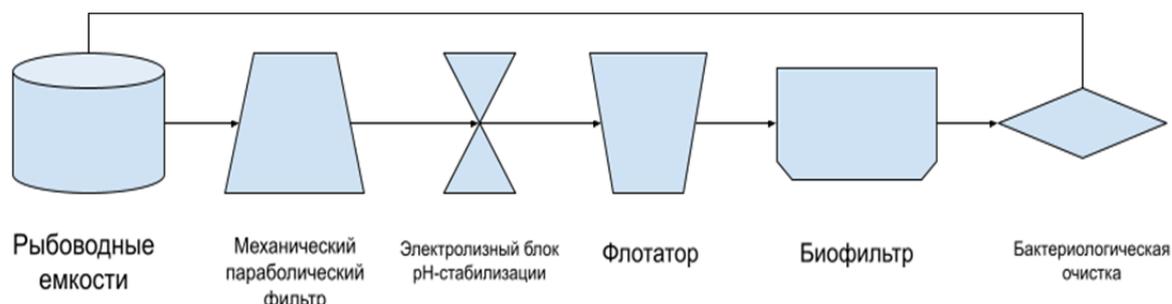


Рисунок 5. – Схема работы экспериментальной УЗВ

Таблица 1. – Показатели, контролируемые в процессе выполнения эксперимента

Показатель	Единицы измерения	Прибор (методика) измерения
Водородный показатель рН	ед.	рН метр Аквилон рН-410 (предел основной абсолютной погрешности при измерении активности ионов водорода ± 0,05)
Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)	mV	ОВП метр Thermo Scientific™ Elite ORP Pocket Testers and Replacement Sensors (предел погрешности ± 3 mV)
Концентрация аммиака-аммония NH ₃ /NH ₄ ⁺ (TAN)	мг/л	Экспресс тест Tetra NH ₃ /NH ₄ ⁺ согласно методике производителя (предел погрешности ± 0,10 мг/л)
Концентрация нитритов NO ₂	мг/л	Экспресс тест Tetra NO ₂ согласно методике производителя (предел погрешности ± 0,01 мг/л)
Концентрация нитратов NO ₃	мг/л	Экспресс тест Tetra NO ₃ согласно методике производителя (предел погрешности ± 0,10 мг/л)
Светопроницаемость технологических вод	%	Спектрофотометр ПЭ-5400ВИ
Общая минерализация (TDS)	ppm	TDS метр TDS-3 (предел погрешности ± 5 ppm)
Сила тока	A	Мультиметр цифровой MILWAUKEE 2212-20 (предел погрешности ± 0,5 %)

Таблица 2. – Результаты использования электролизного блока в УЗВ

Номер пробы	pH	ОВП, mV	TDS, ppm	TAN, мг/л	NO ₂ , мг/л	NO ₃ , мг/л	Светопроницаемость, %	Сила тока, А
1.	7,45	61	67	0	0	0	85,6	2
2.	7,49	48	82	0,5	0	20	83,1	2
3.	7,55	36	87	1,5	0	20	83,4	2
4.	7,41	51	91	2	0,1	25	82,9	1
5.	7,39	12	130	3	0,2	25	77,7	1
6.	7,44	53	112	2	0,1	25	78,3	1
7.	7,46	57	98	1,5	0	20	79,5	2
8.	7,44	53	91	1,5	0	20	80,1	2
9.	7,51	61	96	2	0	20	80,0	2
10.	7,48	62	87	1,5	0	20	79,6	2
Средний показатель	7,46± 0,014	49,40± 4,824	94,10± 5,404	1,5± 0,22	0,04± 0,010	19,50± 7,245	81,02± 2,563	1,70± 0,483

Результаты эксперимента показали, что использование электролизного блока в системе позволило стабилизировать pH системы: максимальное снижение было выявлено на показателе 7,39, а повышение – на 7,55. Разница составила 0,16 пунктов. Также стабилизировался редокс-потенциал, его значения за 30 дней не изменились. Эффективно работала система биологической очистки, ни один из контролируемых показателей не вышел за границу своей нормы. Сом активно потреблял корм, случаев падежа не наблюдалось.

Для оценки влияния электролизного блока на работу УЗВ был проведен подобный эксперимент без системы стабилизации pH.

Компоновка системы и плотности посадки сома не изменились. С результатами проведенного эксперимента можно ознакомиться в таблице 3.

Согласно результатам измерений, произошли существенные колебания водородного показателя в системе: максимальное снижение было выявлено на показателе 6,25, а повышение на 7,7, разница за 30 дней составила 0,73 пунктов. Наблюдается закисление технологической воды за счет влияния системы биологической фильтрации. Динамика изменения pH в обеих системах представлена на рисунке 6.

Таблица 3. – Основные гидрохимические показатели в классической схеме УЗВ

Сутки эксперимента	pH	ОВП, mV	TDS, ppm	TAN, мг/л	NO ₂ , мг/л	NO ₃ , мг/л	Светопроницаемость, %
1.	7,61	68	211	0	0	0	84,6
2.	7,77	51	381	4	0,1	30	72,8
3.	7,14	33	331	3	0,2	40	70,6
4.	6,66	-14	271	5	0,1	20	69,3
5.	6,25	-25	395	4	0,2	20	69,1
6.	6,95	-22	432	5	0,1	10	52,7
7.	6,71	-14	476	6	0	0	42,4
8.	6,85	-16	573	6	0	0	45,1
9.	6,73	-24	584	7	0	0	43,2
10.	6,88	-17	567	7	0	0	41,4
Средний показатель	7,96± 0,142	2,00± 11,003	422,10± 40,974	4,70± 0,667	0,07± 0,026	12,00± 4,666	59,12± 5,006



Рисунок 6. – Динамика изменения рН в рыбоводных установках

Также наблюдались значения редокс-потенциала, по которым косвенно можно судить о прохождении процессов разложения белков в системе (от -10 до -25 mV). Прохождение процессов разложения привело к

увеличению показателей азота (TAN), его значения вышли за границу технологической нормы. Сравнение концентрации азотистых соединений в анализируемых системах представлено на рисунке 7.

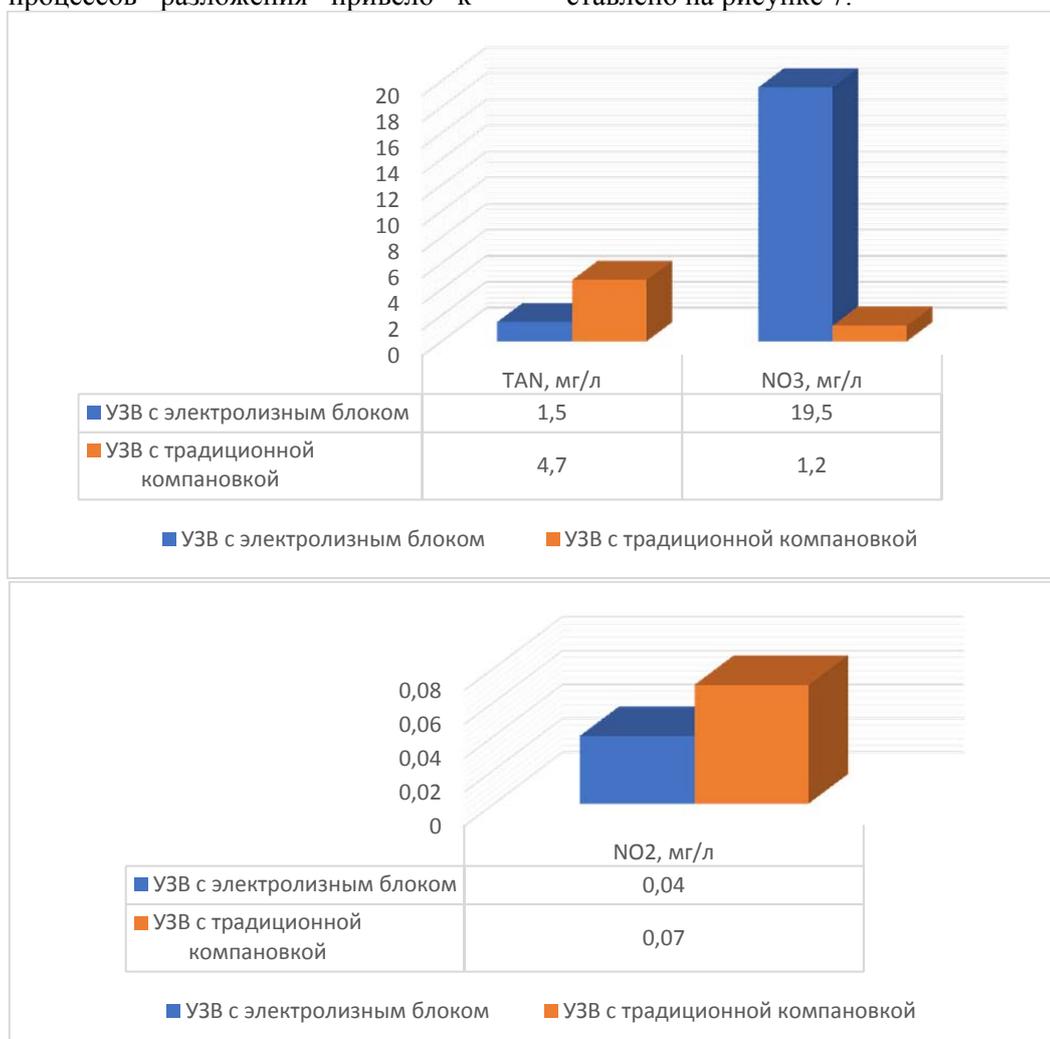
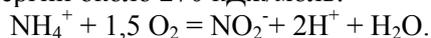


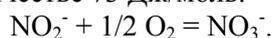
Рисунок 7. – Сравнение средних значений концентрации азотистых соединений в тестируемых УЗВ

Отсутствие в УЗВ без электролизера на 7 день эксперимента нитратов предположительно связано с тем, что остановились процессы в биофилтре, также после 6 дня в системе не обнаружены нитриты, что также свидетельствует о плохом протекании реакции нитрификации. В технологических водах УЗВ, где был применен рН-стабилизатор, ежедневно фиксировались нитраты как индикатор прохождения реакций в биофилтре.

Автотрофные бактерии рода *Nitrosomonas* в присутствии кислорода производят окисление аммония до нитритов с потреблением энергии около 270 кДж/моль:



Вторым этапом нитрификации является окисление нитритов до нитратов. Данный процесс происходит при участии бактерий рода *Nitrobacter* с выделением энергии в количестве 73 Дж/моль:



Наличие в технологических водах нитратов и нитритов (в пределах нормы) в системе с электролизным рН-корректором, а также значения концентрации аммиак/аммония на нижних границах нормы свидетельствует о нормализации работы системы биологической очистки воды. Также немаловажным фактором является светопроницаемость воды, ее динамика изменения представлена на рисунке 8.

В системе с электролизным блоком наблюдается незначительное снижение светопроницаемости. За 10 суток показатель снизился на 6 пунктов, в системе без блока данный показатель ухулся на 43,2 пункта. В класси-

ческой системе УЗВ наблюдалось большее количество взвешенных частиц, наличие которых и обусловило снижение светопроницаемости. Также этот факт обусловил существенное увеличение TDS в системе, разница между тестируемыми системами составила 327,9 ppm. Поддержание на оптимальных значениях общей минерализации и светопроницаемости в системе с электролизным блоком было вызвано протекающими в нем процессами коагуляции с флокуляцией органических загрязнителей, а также окисления взвешенных частиц на основе электролизных процессов. Именно эти факторы позволили снизить концентрацию взвешенных частиц, что и позволило облегчить работу системе биологической фильтрации и повысить производительность системы, результаты облова представлены в таблице 4.

За счет нормализации гидрохимического режима клариевый сом в экспериментальной системе был более активным, быстрее потреблял корм, случаев гибели не наблюдалось. Это факт обусловлен отсутствием стресса у рыбы, выделением меньшего количества слизи и, как следствие, снижением энергозатрат. При классической системе без проведения реагентной рН-коррекции наблюдались скачки рН и ухудшение гидрохимической ситуации в системе, что привело к снижению среднесуточного прироста и после 15 дней к увеличению кормозатрат на 0,6 кг, в то время как после адаптации к новым условиям выращивания в экспериментальной системе кормозатраты снизились на 0,1 кг и увеличился среднесуточный прирост.

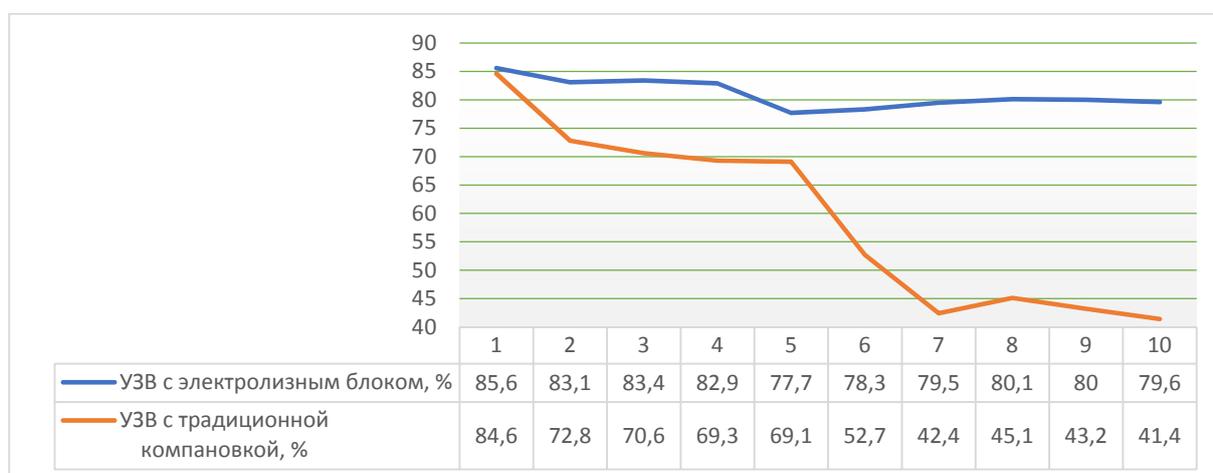


Рисунок 8. – Изменение светопроницаемости технологических вод

Таблица 4. – Рыбоводные результаты опыта использования различных схем УЗВ (n=600)

Показатель	Классическая схема УЗВ			Экспериментальная схема УЗВ		
	период опыта, сут					
	0	15	30	0	15	30
Средняя масса рыбы, г	518,98±25	625,07±31	714,27±34	511,70±24	632,58±32	759,03±36
Коэффициент вариабельности массы рыбы (Cv), %	4,75	6,87	10,84	5,13	7,66	11,45
Израсходовано корма, г	–	38923	46880	–	38378	45944
Выход биомассы, г	155694	187521	214281	153511	183774	227709
Выживаемость рыб, %	–	100	99,4	–	100	100
Выход биомассы, кг/м ³	155,69	187,52	214,28	153,51	183,77	227,70
Относительный прирост, %	–	16,97	12,48	–	19,11	16,65
Среднесуточный прирост, г/сут	–	7,07	5,95	–	8,06	8,43
Затраты корма, кг	–	1,2	1,8	–	1,3	1,2

Заключение. Одним из способов повышения эффективности получения товарной рыбы является включение в технологическую схему УЗВ рН-стабилизатора, позволяющего существенно нормализовать работу системы биологической фильтрации. Средние значения TAN в системе с электролизным блоком составили 1,5 мг/л, когда в системе без блока – 4,7 мг/л. Показатель аммиак/аммония в системе без электролизного блока находится на верхней границе технологической нормы для клариевого сома. Также об эффективности работы биофильтра свидетельствует наличие в технологических водах нитратов как конечного продукта реакции нитрификации.

Использование рН-стабилизатора позволило существенно усреднить значения водородного показателя. При его использовании отсутствует необходимость внесения дополнительных химических реагентов для корректировки рН в системе. Постоянность водородного показателя оказывает благоприятное воздействие как на работу системы биологической фильтрации, так и на культивируемые гидробионты, среднесуточный прирост увеличился на 29,8%, а затраты корма снизились на 20%.

За счет процессов коагуляции с флокуляцией органических загрязнителей, а также окисления взвешенных частиц на основе электролизных процессов использование электролизера позволяет в 1,65 раза снизить

концентрацию взвешенных органических частиц и в 4,48 раза общую минерализацию технологически вод УЗВ.

Таким образом, использование блока рН-стабилизации позволяет комплексно подготовить технологические воды для проведения их биологической фильтрации, создать условия для эффективной работы биофильтра, повысить среднесуточный прирост и снизить кормозатраты. Дальнейшие исследования будут проведены с комбинацией электролизных систем, флотации и системы аквапоники.

Список литературы

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org> – Дата доступа: 04.05.2022.
2. Агеец, В. Ю. Экологические проблемы рыбоводства в Республике Беларусь / В. Ю. Агеец // Вести национальной академии наук Беларуси. Сер. Аграрных наук. – 2015. – № 2. – С. 95–101.
3. Александрова, У. С. Выращивание нетрадиционных объектов аквакультуры в условиях установок с замкнутым водоиспользованием / У. С. Александрова, А. В. Ковалев, К. Д. Матишов // Наука Юга России. – 2018. – № 14. – С. 74–81.
4. Проскуренок, И. В. Замкнутые рыбоводные установки / И. В. Проскуренок. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 152 с.

5. Аквавитро [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aquaviro.org>. – Дата доступа: 04.05.2022.
6. Григорьев, С.С. Индустриальное рыбоводство / С.С. Григорьев – М.: Знамя, 2008. – 186 с.
7. Жигин, А. В. Замкнутые системы в аквакультуре / А. В. Жигин – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. – 664 с.
8. Фиш-агро: Флотатор и процесс флотации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fish-agro.ru/uzv-main/flotator/>. – Дата доступа: 04.05.2022.
9. Жигин, А. В. Техничко-экономические аспекты использования замкнутых систем в рыбоводных хозяйствах / А. В. Жигин, Н. В. Мовсесова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2014. – № 8. – С. 47–57.
10. 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.
11. Никифоров, А.И. Сом *Clarias gariepinus* — строение тела и морфологические особенности мускулатуры / А. И. Никифоров, А. В. Маилкова // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2008. – № 24. – С. 170–173.
12. Пономарёв, С. В. Индустриальное рыбоводство: учеб. / С. В. Пономарёв, Ю. Н. Грозеску, А. А. Бахарева. – Изд. 2-е. исп. и доп. – СПб: Лань, 2013. – 416 с.
13. Ярмош, В. В. Клариевый сом – перспективный объект индустриального рыбоводства: монография / В. В. Ярмош [и др.] // – Пинск: ПолесГУ, 2020. – 202 с.
3. Aleksandrova U.S., Kovalev A.V., Matishov K.D. *Vyrashchivaniye netraditsionnykh ob'yektov akvakul'tury v usloviyakh ustanovok s zamknutym vodoispol'zovaniyem* [Cultivation of non-traditional aquaculture objects in the conditions of installations with closed water use]. *Nauka Yuga Rossii* [Science of the South of Russia], 2018, no. 14, pp. 74–81 (In Russian)
4. Proskurenko, I. V. *Zamknutyie rybovodnyie ustanovki* [Closed fish hatcheries]. *Izdatelstvo VNIRO* [VNIRO publishing house], 2003. – 152 pp. (In Russian)
5. Aquaviro [Electronic resource]. – Access mode: <http://aquaviro.org>. – Access Date: 04.05.2022.
6. Grigoryev, S.S. *Industrialnoe rybovodstvo* [Industrial fish farming]. *Znamia* [Banner], 2008. – 186 p. (In Russian)
7. Zhigin A.V. *Zamknutyie sistemy v akvakulture* [Closed systems in aquaculture]. *RGAU-MSKhA im. K.A. Timiriazeva* [K.A. Timiryazev Russian State Agrarian Academy of Agriculture], 2011. – pp. 664 (In Russian)
8. Fish-agro: Flotator and flotation process [Electronic resource]. – Access mode: <https://fish-agro.ru/uzv-main/flotator/>. – Access Date: 04.05.2022.
9. Zhigin A.V., Movsesova N.V. *Tekhniko-ekonomicheskiye aspekty ispol'zovaniya zamknutykh sistem v rybovodnykh khozyaystvakh* [Technical and economic aspects of the use of closed systems in fish farms]. *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo* [Fish farming and fish farming], 2014, no. 8, pp. 47–57 (In Russian)
10. Kovrigin A.V. *Avtomatizirovannaya tekhnologiya proizvodstva ekologicheskii chistoy prodkutsii rasteniyevodstva i akvakul'tury v kontroliruyemykh usloviyakh pomeshcheniy* [Automated technology for the production of environmentally friendly crop and aquaculture products under controlled indoor conditions]. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy* [Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects], 2016, no. 4 (12), pp. 124–129 (In Russian)
11. Nikiforov A.I., Mailkova A.V. *Som Clarias gariepinus – stroyeniye tela i morfologicheskkiye osobennosti muskulatury* [Catfish *Clarias gariepinus* - body structure and morphological features of muscles] *Voprosy rybnoye khozyaystva Belarusi* [Issues of fish

References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.fao.org> – Access Date: 04.05.2022.
2. Ageyets, V.Yu. *Ekologicheskkiye problemy rybovodstva v Respublike Belarus'* [Ecological problems of fish farming in the Republic of Belarus]. *Vesti natsional'noy akademii nauk Belarusi. Ser. Agrarnykh nauk* [News of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Agricultural Sciences], 2015, no 2, pp. 95–101 (In Russian)

- industry in Belarus], 2008, no. 24, pp. 170–173 (In Russian)
12. Ponomarov S.V. *Industrial'noye rybovodstvo: uchebnik* [Industrial fish farming: textbook]. Saint Petersburg, Lan Publ., 2013, 416 p. (In Russian)
13. Yarmosh V.V. *Klariyevyy som – perspektivnyy ob"yekt industrial'nogo rybovodstva: monografiya* [Clary catfish - a promising object of industrial fish farming: monograph], Pinsk, PolesGU Publ., 2020, 202 p. (In Russian)

Received 13 April 2022