

На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Старов' (Starov), with a stylized flourish at the end.

СТАРОВОЙТОВ СЕРГЕЙ ВАДИМОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ
ОЧИСТКИ ВОД РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность: **05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону - 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Серпокрылов Николай Сергеевич

Официальные оппоненты: **Фесенко Лев Николаевич,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Южно-Российский
государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
профессор кафедры «Водное хозяйство,
инженерные сети и защита окружающей
среды»
Онкаев Виктор Аджиевич,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный
университет имени Б.Б. Городовикова»,
доцент кафедры «Строительство»

Ведущая организация: ФГБУН «Федеральный исследовательский
центр Южный научный центр Российской
академии наук»

Защита состоится «19» ноября 2019 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета Д 220.057.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



И.А. Юхин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сельское хозяйство – одно из крупнейших отраслей экономики страны, и с каждым годом в России наращивается его объем. Согласно приказу Министерства здравоохранения РФ №614 от 19.08.2016 г. и требованиям здорового питания норма годового потребления рыбопродуктов составляет 22 кг на человека, в тоже время потребление рыбы на душу населения в 2016 г составило – 15кг/год.

Аквакультура - одно из приоритетных направлений в сельском хозяйстве. Согласно государственной программе госфинансирования, ежегодно растет объем выделяемых средств на развитие аквакультур и осетроводства, а также на компенсацию ущерба, нанесенного водным биоресурсам и среде их обитания в результате хозяйственной деятельности. При поддержке государства широкое распространение получили предприятия по выращиванию рыб с системой замкнутого водоснабжения.

Актуальность темы исследования подтверждается необходимостью совершенствования режимов очистки сточных вод установок замкнутого водоснабжения на биофильтрах с включенным узлом денитрификации, при отклонениях в работе которого снижаются привесы и возможна гибель разводимой рыбы.

Повышение эффективности производства рыбоводческих предприятий, а также разработка технологии и устройств по модернизации систем очистки их сточных вод являются перспективными направлениями для исследования.

Диссертация посвящена накоплению новых фактических результатов, обобщению имеющихся в литературе данных и на их основе проведению экспериментальных исследований по изучению влияния объективных и субъективных факторов технологии замкнутого рыборазведения на процесс очистки оборотных вод с применением осветительно-аэрационных устройств.

Степень разработанности темы. Товарное рыборазведение в России и зарубежных странах достаточно широко развито, но наблюдается определенная несогласованность между технологиями выращивания рыб и очисткой оборотных и продувочных вод. Последние чаще всего используют классические решения для очистки городских и промышленных сточных вод, что для условий рыборазведения содержит избыточные технологические узлы, увеличивающие размеры очистных установок и, как следствие, себестоимость очистки.

Разработаны технологии регулирования факторов, влияющих на водную среду, для сокращения сроков межнерестового цикла и формирования ремонтно-маточных стад рыб. Исследования в этом направлении проводились

такими учеными как Г.Г. Матишов, В.А. Онкаев, Е.Н. Пономарева, Н.С. Серпокров, Л.Н. Фесенко, Г.К. Шелухин и др. Вопросы очистки вод рыбоводных хозяйств рассмотрены в работах ряда ученых: Л.В. Борониной, С.З. Тажиевой и др.

Цель исследования. Обоснование параметров установки, повышающих эффективность очистки вод рыбоводческих предприятий.

Для достижения поставленной цели, в работе решались следующие задачи:

- исследование режимов очистки вод на установках закрытого водоснабжения (УЗВ) в лабораторных и опытно-промышленных условиях;
- теоретическое и экспериментальное обоснование параметров технологии и конструктивных особенностей устройства очистки оборотных вод УЗВ;
- определение оптимальных условий осветительно-аэрационного элемента в установках биологической очистки оборотных вод на объектах рыборазведения;
- разработка рекомендаций по внедрению и эксплуатации установки биологической очистки оборотных вод.

Объект исследования – установка биологической очистки оборотных вод рыбоводческих предприятий.

Предмет исследования – зависимости параметров установки очистки вод на объектах рыборазведения.

Методология и методы исследований – аналитическое обобщение известных научных и практических результатов, лабораторные методы химического анализа, регрессионный анализ экспериментальных данных, статистическая обработка результатов исследований на ПЭВМ по стандартным программам.

Научная новизна:

- установлено влияние и получены аналитические зависимости параметров осветительно-аэрационного устройства на очистку сточных вод и процесс рыборазведения;
- определены оптимальные условия режима эксплуатации осветительно-аэрационного элемента в установках УЗВ на объектах рыборазведения;
- обосновано комплексное использование микроводорослей хлорелла для очистки сточных вод и кормовой базы выращиваемых рыб.

Основные положения, выносимые на защиту:

- технология повышения эффективности очистки сточных вод за счет освещенности биомассы светодиодными элементами красного и синего цвета;

- методология повышения эффективности производства рыбоводческих ферм при снижении энергозатрат;
- обоснование параметров работы осветительно-аэрационного элемента при повышении эффективности биологической очистки вод.

Теоретическая значимость работы. Предложены технические решения, компенсирующие недостаточную освещенность и аэрацию в процессе очистки сточных вод при рыборазведении. Результаты, полученные в лабораторных исследованиях применения осветительно-аэрационной установки, доказывают эффективность ее использования в рыбоводческих предприятиях при очистке оборотных, продувочных и сбросных вод.

Практическая значимость работы. Результаты научных исследований внедрены в ООО «ЕЙСКПОЛИМЕР» и на станции очистки сточных вод логистического распределительного центра «Логопарк-Дон», а также приняты к внедрению на аналогичных отраслевых объектах.

Реализация результатов исследования. Рекомендации диссертационной работы использованы: осветительно-аэрационный элемент внедрен в биофильтр системы очистки оборотных сточных вод рыборазводной фермы, находящейся в г.Шахты Ростовской обл. и занимающейся разведением сомов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов обоснована моделированием изучаемых процессов и подтверждена сходимостью результатов, полученных в лабораторных и производственных условиях, коэффициент детерминации R составил 0,999.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на: Международных научно-практических конференциях института инженерно-экологических систем РГСУ (Ростов-на-Дону, 20014 – 2018 гг.); Международной научно-практической конференции «Новая наука: Проблемы и перспективы», г. Стерлитамак, 26.09.2016 г.; Международная научно-практическая конференция «Новая наука: Современное состояние и пути развития», г. Стерлитамак, 30.01.2017г.; Международная научно-практическая конференция «Новая наука: Теоретический и практический взгляд», г. Ижевск, 04.02.2017 г; а также на международной молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова «Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогнозирование развития», г. Ростов-на-Дону, 05.09.2018 г.

Личное участие соискателя в получении результатов состоит в выдвижении идей, научном обосновании, постановке и проведении исследований, анализе результатов, разработке технологии и ее внедрении.

Публикации. Основные результаты исследований по теме диссертации изложены в 4 работах, в т.ч. 1 – в издании международной реферативной базе Scopus, 1 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 патента РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений, общий объем 155 страниц, содержит 67 рисунков, 18 таблиц, список литературы из 120 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность темы исследований, показаны социальная и экономическая значимости рыбохозяйственной отрасли сельского хозяйства, а также очистки ее сточных вод, возникающих в процессе рыборазведения. Отмечена возможность повышения эффективности очистки указанных вод со снижением затрат на электроэнергию и обслуживание.

В первом разделе рассмотрены состояние и перспективы аквакультуры в мире, в т.ч. в России, и ее влияние на окружающую среду. Факторы, определяющие экономическую составляющую разведения аквакультуры, подразделяются на биотические и абиотические. Биотические, т.е. природные факторы (болезни, кормовая база, плотность обитания и т.д.) слабо поддаются регулированию. Воздействие абиотических факторов, т.е. кислородный и температурный режимы, водообмен, освещенность, прозрачность, загрязненность и т.д., регулируется в условиях искусственных рыбоводческих ферм с замкнутым водоснабжением. Это позволяет создавать и оптимизировать технологические схемы очистки вод в зависимости от вида разводимой аквакультуры.

Анализом литературных источников выявлено, что уровень освещенности оказывает значительное влияние на выживаемость эмбрионов и предличинок. У каждого представителя аквакультуры определен режим освещенности, фотопериода и спектра, нарушение которых может как подавляюще воздействовать на рост рыб, так и стимулировать их рост. Переменные режимы светового фактора оказывают положительное воздействие на рост, питание и физиологический статус молоди рыб и личинок земноводных, которые определяются экспериментально. Эти факторы зависят от состава среды обитания, т. е. используемой воды.

Во втором разделе рассмотрены методы очистки сточных вод рыбоводческих предприятий, расположенных вне водных акваторий (пруды и бассейны рыборазведения). При этом, сточные воды подразделяются на оборотные, возвращаемые (до 75% от расхода) на выращивание рыб, и продувочные, сбрасываемые (до 25% от расхода) в приемник сточных вод. При этом, степень очистки этих вод различна: оборотные очищаются до

нормативов, для выращивания рыб, а продувочные - до сброса в водоем - приемник сточных вод (чаще всего - до рыбохозяйственных норм). В основном технологические схемы представляют сочетание механических и биологических методов. В основе технологии биологической очистки лежит использование активного ила или биопленки, представляющих сообщество аэробных и анаэробных микроорганизмов, а также микроводорослей. Для очистки продувочных вод технологическая схема дополняется узлом доочистки, чаще всего с применением адсорбции.

К основным факторам, определяющим эффективность рабочих режимов и степень очистки сточных вод, помимо гидродинамических, относятся: температура, активная реакция среды, биогенные элементы, уровень питания, кислородный режим, токсические вещества, освещение.

Расход воздуха определяется по формуле:

$$V = 1.11 d^2 \sqrt{\frac{P}{p}}, \quad (1)$$

где P – давление воздуха, Па;

d – внутренний диаметр трубопровода подачи газов (или воздуха), м;

p – плотность, кг/м³;

V – расход, м³/с.

Давление воздуха определяется по уравнению Менделеева-Клапейрона

(2):

$$pV = nRT, \quad (2)$$

где p – давление, (Па); V – объем, (м³); n – число молей газа; R - 8,31431 Дж/моль.К; T – температура, (°C)

Расход воздуха зависит от уровня освещенности. В свою очередь источником света могут служить как солнечный свет, так и искусственные источники освещения, среди которых наиболее приоритетными являются светодиодные элементы.

Установлено, что искусственное освещение повышает окислительную способность биомассы в условиях её повышенных концентраций: в аэротенках с плавающей и прикрепленной биомассой, а также в биофильтрах, уменьшая их габариты. Актуальным является исследование влияния на аквакультуру совокупных поведенческих реакций симбиотического сообщества при искусственном освещении с дополнительным насыщением кислородом от микроводорослей, при сниженной интенсивности аэрации.

Для искусственного освещения возможно использование солнечной энергии, аккумулируемой в светлое время суток. С точки зрения природного потенциала и ресурса солнечной инсоляции южные регионы Российской

Федерации соответствуют странам, где развитие солнечной энергетики экономически целесообразно.

Третий раздел посвящен исследованиям влияния освещения на технологические показатели микроводорослей в альгобактериальном сообществе, применительно к очистке вод рыбоводческих хозяйств. В качестве модельной жидкости использовали суспензию одноклеточных водорослей хлореллы (*Chlorella vulgaris*), конструктивное решение культиватора определяли на основе теоретических и экспериментальных данных.

Сравнительный анализ источников освещения в установках культивирования хлореллы показал, что в наибольшей степени технологическим потребностям удовлетворяют светодиодные элементы: светоотдача которых 60-110 Люмен/Вт, а срок службы 30000-100000 часов. Недостатками являются узкий угол излучения 15-180 град., быстрая деградация при высоких температурах, необходимость драйвера питания и радиатора отвода тепла (для мощных светодиодов).

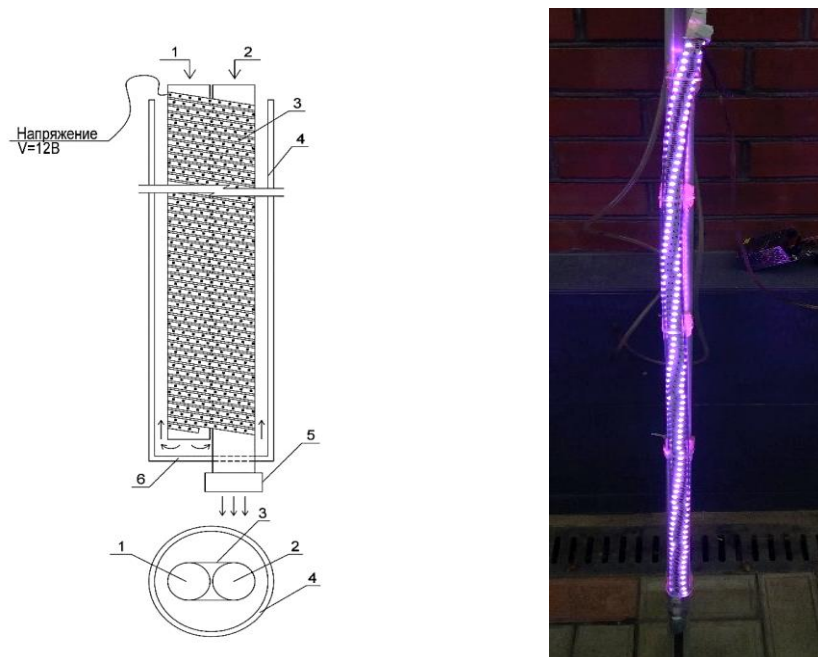
Произведя ряд экспериментов, установлено, что для продления срока службы светодиодных источников освещения возможны различные элементы охлаждения, в частности элемент Пельтье, но наиболее энергетически эффективным является водяное охлаждение. При водяном охлаждении происходит нагрев культивируемой среды, что влияет на процесс. Степень влияния зависит от конструктивного исполнения установки.

На базе существующих моделей культиваторов, аэрационных установок и источников освещения, разработан способ повышения эффективности работы фильтра биологической очистки (Патент 2680511 РФ), а также предложен и запатентован (Патент 181325 РФ) осветительно-аэрационный элемент (рисунок 1), который включает вертикальный герметичный корпус из прозрачного пластика, содержащий источник освещения, представляющий собой светодиодную ленту с элементами, излучающими синий и красный свет. Электроэнергия может быть подана от источников переменного или постоянного тока.

Уровень освещенности осветительно-аэрационным элементом зависит от моделей применяемых светодиодных элементов, их типоразмера, а также условий их эксплуатации, что потребовало разработки методики определения освещенности (подбора источников света и их количества), которая заключается в следующем:

$$E = \Phi / S, \quad (3)$$

где E – освещенность (Лк); Φ – величина светового потока (Лм); S – освещаемая площадь (m^2).



1 – трубка продувки установки, 2 – трубка аэрации жидкости, 3 – лента светодиодная, 4 – корпус установки, 5 – аэрационный диспергатор, 6 – дно корпуса установки

Рисунок 1 - Осветительно-аэрационный элемент:

Используемые светодиоды, в отличие от традиционных источников освещения, имеют угол излучения в пределах 15-180 градусов. Таким образом, зная угол излучения светодиодного элемента и расстояние от светодиода до освещаемой поверхности, можно вычислить освещаемую поверхность (4):

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha/2), (\text{м}^2) \quad (4)$$

где h – расстояние от светодиода до освещаемой поверхности (м.); α – угол излучения (град).

Для определения интенсивности излучения в рабочей среде следует учитывать ее мутность. Связь коэффициента пропускания среды с ее оптической плотностью определена формулой:

$$\tau = 10^{-D}, \quad (5)$$

где, D – оптическая плотность исследуемой среды, определяемая опытным путем;

τ – коэффициент пропускания.

Тогда зависимость определения освещенности от светодиодного источника освещения может быть представлена:

$$E = \frac{\tau \cdot \Phi}{\pi \cdot h^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha/2)} \quad (6)$$

Таким образом, зная характеристики светодиодных элементов, а также оптическую плотность культивируемой среды, возможно определить интенсивность освещенности на различной удаленности от источника

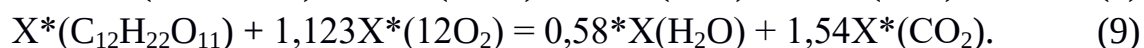
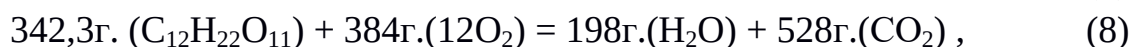
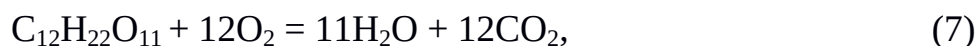
освещения, и соответственно подобрать необходимое количество осветительно-аэрационных устройств. Помимо этого, при помощи цифрового люксметра, появляется возможность определить фактические характеристики используемых светодиодных элементов.

Исследования по культивированию микроводорослей хлореллы проводились при различных интенсивности и высоте от поверхности жидкости источника освещения, а также при смене спектра излучаемого светового потока. В качестве культиватора выступал прозрачный корпус цилиндрической формы, в который был интегрирован осветительно-аэрационный элемент, и залита суспензия хлореллы (рисунок 2).

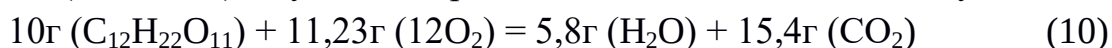


Рисунок 2 - Лабораторная модель (а - без культуры; б - с культурой) культиватора хлореллы с осветительно-аэрационным элементом.

В процессе фотосинтеза, под действием освещения хлорелла усваивает углекислый газ с дальнейшим выделением кислорода O_2 . Для получения углекислоты на нужды питания хлореллы, в культивируемую среду вводится необходимое количество питательного органического вещества. В ходе эксперимента в качестве питания хлореллы использовался раствор сахарозы. Полученный в процессе фотосинтеза кислород, снова поступал на окисление глюкозы. Процесс реакции окисления сахарозы с выделением углекислоты можно описать уравнением:

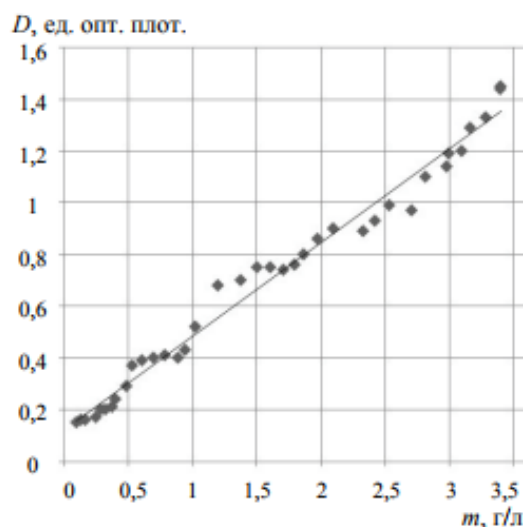


Введено ($C_{12}H_{22}O_{11}$) в культиватор в количестве 10г, из чего следует:

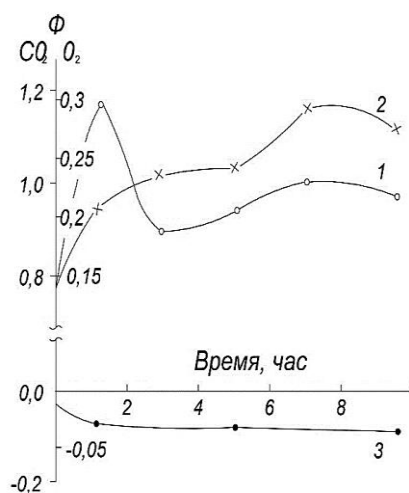


Проверку теоретических кинетических соотношений (7-10) проводили на модельной жидкости при культивировании хлореллы в условиях освещения осветительно-аэрационным элементом. Контрольным являлся сконструированный культиватор с одинаковыми начальными условиями эксперимента, но с естественной освещенностью.

Посев суспензии хлореллы в культиватор производили с начальной оптической плотностью $0,010 \pm 0,002$ (рис. 3а). Для этого в $100 \pm 5 \text{ см}^3$ 50 % питательной среды вносили $5 \pm 0,5 \text{ см}^3$ суспензии водоросли с оптической плотностью $0,200 \pm 0,010$, профильтрованной через 3-4 слоя марли или вату. График (рис. 3б) соответствует классической кривой роста культуры микроорганизмов (лаг-фаза, фазы экспоненциального роста и отмирания).



а



б

Рисунок 3 - а - зависимость оптической плотности D культивируемой хлореллы от ее массовой доли; б - изменение фотосинтеза и дыхания культуры во времени: 1 - поглощение CO_2 , 2 - выделение кислорода, 3 - дыхание культуры.

При оптической плотности суспензии хлореллы 0.200 ее концентрация составляет 0,2 г/л. Было отобрано 0,015 л суспензии, что составляет 0,003 г хлореллы. Таким образом, при введении суспензии хлореллы в культиватор с 10 литрами водопроводной воды, ее концентрация составила 0,0003 г/л. После добавления питания оптическая плотность культивируемой среды D составила 0,002.

Исследования работы культиватора хлореллы проводили в период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г. с учетом изменения внешних факторов: температуры окружающей среды, освещения и т.д., так и внутренних: замер окислительно-восстановительного потенциала, содержания растворенного

кислорода и температуры среды, замеры общей минерализации и оптической плотности исследуемой среды.

Во время исследования аэрация культивируемой среды была постоянной с производительностью 3 л/мин. На культивируемую среду оказывали влияние внешние факторы – слабый естественный солнечный свет через оконные проемы помещения и температура окружающей среды. Освещение осветительно-аэрационной установкой периодически выключалось и менялся спектр света для определения его влияния на культивируемую среду – синий (440-485 нм), красный (625-740 нм), сине-красный (380-440 нм) (рис. 4, 5).

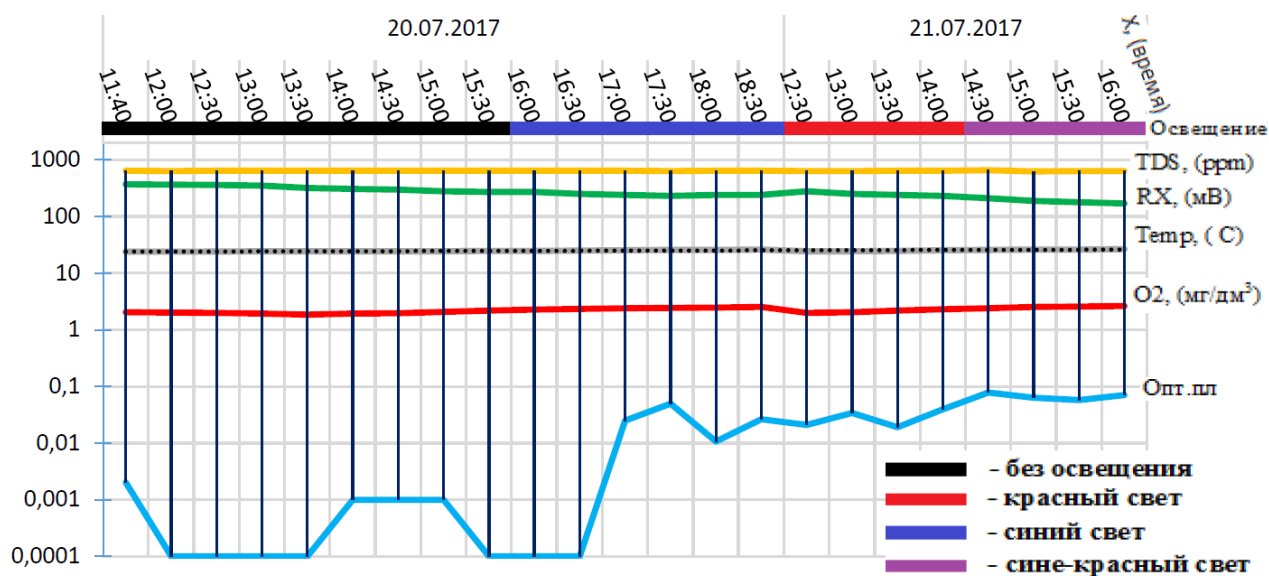


Рисунок 4 - График результатов исследования культивирования хлореллы за период с 20.07.2017 г. по 21.07.2017 г.

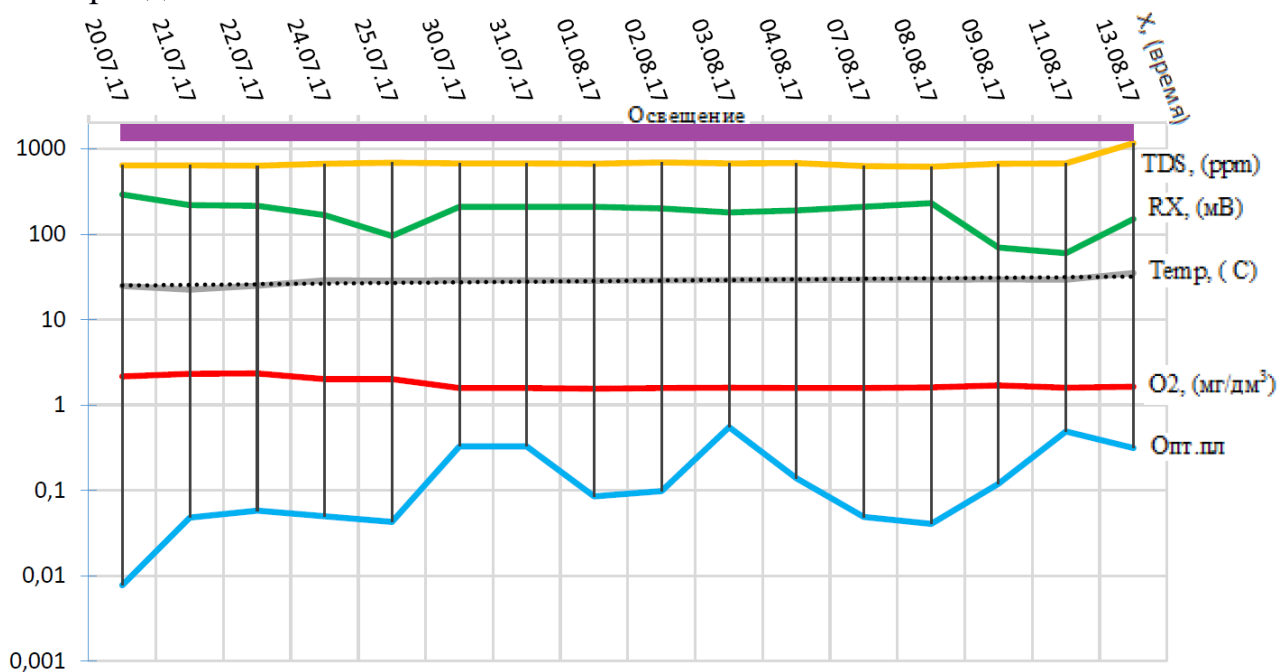


Рисунок 5 - График результатов исследования культивирования хлореллы за период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г.

Установлено (рис. 4), что после периода адаптации культуры в течение суток начала эксперимента после внесения сахарозы в модельную жидкость, через 1,5 часа вследствие окисления органики увеличивается концентрация CO_2 , что увеличивает скорость фотосинтеза и, соответственно, повышение содержания растворенного кислорода. А снижение оптической плотности в этот момент (рис. 5, без освещения), соответствует кривой роста микроорганизмов – фазе отмирания, что подтверждает классическую теорию. При последовательном включении синего, красного и сине-красного освещения, в каждом случае наблюдался положительный отклик микроводорослей, что подтверждается увеличением скорости роста оптической плотности.

Для определения спектра освещенности, влияющего на оптическую плотность раствора хлореллы в большей степени, был произведен сравнительный анализ значений освещенности. Согласно полученным значениям коэффициента детерминации ранее полученных результатов, было установлено, что:

- при естественном освещении коэффициент детерминации полученных значений оптической плотности составил $R=0.93$, что свидетельствует о нелинейности распределения света;

- коэффициент детерминации R значений оптической плотности, полученных при синем, красном и сине-красном спектре света составил 0,999, что является показателем функциональной зависимости между значениями освещенности и оптической плотности.

Согласно сравнительному анализу спектров освещения, используя критерий Фишера, установлено, что сине-красный спектр света имеет наибольшее влияние на оптическую плотность культивируемой среды, и будет использоваться в дальнейшем эксперименте.

В контрольной пробе (рис. 5) оптическая плотность, т. е. концентрация хлореллы, без освещения очень мала, что указывает на приоритетность светодиодного освещения альгобактериального сообщества. В ней меньше значения окислительно-восстановительного потенциала и растворенного кислорода.

Выбор предпочтительного субстрата для культивирования хлореллы проведен на примере сточной воды очистных сооружений г.Ростова-на-Дону до и после ультрафиолетового обеззараживания.

Культиватор работал с интегрированным осветительно-аэрационным элементом в режиме сине-красного света, с постоянной аэрацией.

Установлено, что органика, внесенная в культиватор с необеззараженными сточными водами, окислилась в течение 24 часов. Процесс

окисления сопровождался выделением углекислоты и наблюдался рост оптической плотности, что свидетельствует о приросте хлореллы. При повышении оптической плотности наблюдается рост концентрации кислорода до 4.5 - 5.5 мг/л. Спустя сутки, после окисления органики и потребления избыточной углекислоты, выделение кислорода хлореллой снизилось до 2-2,5 мг/л, т. е. наблюдается фаза отмирания культуры. В емкости со сточными водами после обеззараживания УФО такого явления не наблюдалось.

Таким образом, можно резюмировать, что микроводоросли хлореллы являются действующим и перспективным средством очистки сточных вод предприятий рыборазведения от органических соединений. Помимо очистки сточных вод и поступления растворенного кислорода, возможно дальнейшее использование хлореллы в аквакультуре для дополнения кормовой базы или в качестве питания.

В четвертом разделе исследовали влияние применения осветительно-аэрационного элемента на биологическую очистку сточных вод рыбоводческой фермы, занимающейся разведением клариевого сома (г.Шахты Ростовской обл., рис. 6а), и имеющей производительность 700 кг рыбы в месяц. Объем циркуляционной воды – 21 м³.

Технологическая схема включает следующие элементы: 1 – бассейны для рыбы (4 бассейна по 4,5 м³), 2 – механический барабанный сетчатый фильтр, 3 – емкости биофильтра (а – со статической загрузкой, б – с плавающей загрузкой), 4 – воздуходувка, 5 – диспергатор, 6 – циркуляционный насос, 7 – теплообменник, 8- насос денитрификатора, 9 – узел денитрификации и отстойник 10 (рис. 6а).

На интенсивность роста рыб оказывает влияние концентрация аммония, выделяемого рыбой (NH₃⁺). Существующая схема очистки оборотных вод рыбоводческой фермы (рис. 6а) обеспечивает снижение химического потребления кислорода (ХПК) на 50%, а биологического потребления кислорода (БПК₅) на 5% (табл. 1).

Таблица 1 - Усредненные выборочные показатели качества сточных вод на выходе из бассейна, после биофильтра и после денитрификации.

			рН	ХПК, мгО/л	О ₂ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	БПК ₅ , мгО ₂ /л	В.В., мг/л
1	Исходная	На выходе из бассейна	7,0	860,0	5,4	0,420	0,87	158,0	9,1	80,0	99,5
2		После биофильтра	7,3	430,0	5,6	0,050	0,15	142,0	8,7	76,0	58,5
3	-	после денитрификации	-	94,0	3,6	0,050	0,18	95,0	-	-	-

В ходе исследований, существующая схема очистки оборотных вод была дополнена процессом денитрификации, после чего ХПК снизилась по отношению к исходным концентрациям на 89%, нитраты - на 39,9%.

Для повышения эффективности биологической очистки, а также снижения затрат на денитрификацию, в биофильтр был интегрирован осветительно-аэрационный элемент (рис. 6а) и произведен расчет освещенности. Оптическая плотность сточных вод составляла - после бассейнов 0.02, а после биофильтра 0.011.

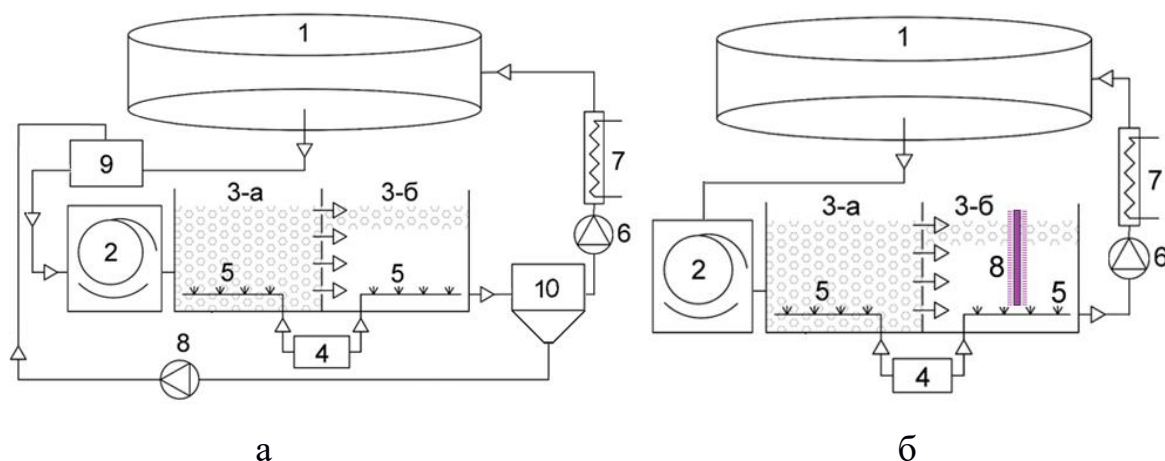


Рисунок 6 - Схема очистки оборотных сточных вод рыбоводческого предприятия: а - без; б - с осветительно-аэрационным элементом.

Осветительно-аэрационный элемент был установлен в центре емкости биологического фильтра, объемом 1,55 м³, заполненного плавающими носителями биомассы на 55%. Согласно разработанной методике было вычислено распределение светового излучения в биофильтре. Следует отметить, что нижняя часть осветительно-аэрационного элемента беспрепятственно излучала свет на придонный активный ил, а также нижний слой плавающих носителей биомассы.

После работы осветительно-аэрационного элемента в течение 30 суток выявлено, что на дне биофильтра происходит активный процесс развития микроорганизмов. В наиболее удаленных частях биофильтра от осветительно-аэрационного элемента, где освещенность составляла 0,65 кЛм, наблюдался менее интенсивный рост биомассы, обусловленный низкой в этих зонах подвижностью очищаемой среды, но скоплений и отложений биологических загрязнений, отмерших микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности не обнаружено, что свидетельствует о достаточной освещенности.

Полученные результаты (табл. 2) свидетельствуют об эффективности использования осветительно-аэрационного элемента в технологии очистки.

Таблица 2 - Эффективность очистки оборотных вод по основным вредным для рыб показателям.

			ХПК, мгО/л	Э,% (ХПК)	NO ₃ ⁻ , мг/л	Э,% (NO ₃ ⁻)	БПК ₅ , мгО ₂ /л	Э,% (БПК)	В.В., мг/л	Э,% (ВВ)
1	Исходная	На выходе из бассейна	860,0	-	158,0	-	80,0	-	99,5	-
2		После биофильтра	430,0	50	142,0	10,1	76,0	5	58,5	41,2
3	С аэрационно-осветительным элементом (через 10 дней)	Из бассейнов	530,0	-	218,0	-	80,0	-	86,3	-
4		После биофильтра	88,0	83,4	189,0	13,3	15,0	81,5	13,0	84,9
5		после механического фильтра	68,0	81,2	209,0	4,1	9,9	87,6	12,2	85,9
6		после денитрификации	94,0	82,2	95,0	56,4	12,6	84,5	36,4	61,2

Примечания: ХПК – химическая потребность в кислороде; NO₃⁻ - нитраты; БПК₅ – биологическая потребность в кислороде в течение пяти суток; в.в. – взвешенные вещества; Э – эффективность выделения загрязнения, %.

Для совместной оценки трех режимов по сумме процентов эффективности очистки применим методику эквипроцентирования: 1 - существующий; 2 - с осветительно-аэрационной установкой; 2а - с осветительно-аэрационной установкой + сетчатый фильтр; 3 - с денитрификацией.

Сумма процентов эффективности очистки по режимам равна: 1 - 126,5; 2 - 263,1; 2а - 258,8; 3 - 284,3. Можно видеть, что наилучшим (284,3%) является режим очистки вод с денитрификацией, на втором месте - режим с осветительно-аэрационной установкой.

При изучении проб под микроскопом, было обнаружено большое разнообразие организмов, таких как коловратка, раковинная амеба и зоопланктон. Существенным показателем повышения эффективности очистки вод с осветительно-аэрационным элементом является увеличение прироста массы выращиваемых рыб, за счет более полного использования кормов ввиду большей прозрачности воды в рыбоводном бассейне. Согласно контрольному ежемесячному взвешиванию прирост рыбы составляет 20-30% в месяц.

В пятой главе выполнено технико-экономическое обоснование использования осветительно-аэрационной установки и солнечной энергии.

Для используемых эрлифтных аэраторов выполнен расчет режима их работы в биофильтре при расходе воздуха 21 м³/час. Согласно определенному расходу, подобран поршневой компрессор Pondtech ACO-016, W=520 Вт., P=0.05 атм, Q=360 л/мин., стоимостью 12100 руб.

Проведена сравнительная характеристика источников освещения (таблица 3). Для определения экономических показателей, внедряемых в процесс биологической очистки элементов освещения, был произведен подсчет их стоимости для биофильтра в г.Шахты, объемом $1,55 \text{ м}^3$, в течение жизненного цикла 4 лет (1460 сут). В освещении использовались источники, имеющие суммарный световой поток 3440 Лм. Наименьшие приведённые затраты, включающие в себя капитальные и эксплуатационные затраты, определены у фитоламп, стоимость которых составила 5181 р. Но учитывая ряд преимуществ светодиодных элементов, в качестве рекомендуемых выбраны светодиодные матрицы, стоимость которых составила 4310 руб.

Таблица 3 - Характеристики рассматриваемых осветительных элементов

Элемент	Ед. измерения	Мощность, Вт	Световой поток, Лм	Угол рассеивания, °	Цветовая темп., К	Стоимость, руб.	Стоимость 1Лм, руб.	Изготовитель	Гарантия	Срок службы
Лента RGB	м.	14,4	800	120	2800-3400	100	0,13	Китай	нет	4 года
Лента RGB	м.	14.4	800	120	2800-3400	330	0,4	GAUSS	35000 ч.	4 года
Матрица	шт.	30	2700	120	4000-4500	424	0,16	Arlight	1 год	4 года
Светодиодный аналог люминесцентной лампы	шт.	36	2800	120	4000	1020	0,36	GAUSS	2 года	4 года
Фитолампа	шт.	36	3350	360	4000	400	0,03	OSRAM	полгода	1 год

Для оценки экономического стимула внедрения светодиодных осветительных элементов в процесс очистки, произведен расчет стоимости оборудования для процесса денитрификации. Установлено, что требуемый объем денитрификатора составит $62,64 \text{ м}^3$, и продолжительность обработки сточных вод в денитрификаторе составит 2 часа. Учитывая объем циркулирующих сточных вод 21 м^3 , есть возможность уменьшить объем денитрификатора до 21 м^3 . Таким образом, в течение суток требуется осуществлять процесс денитрификации не менее 3 раз в сутки, в емкости 21 м^3 , продолжительностью по 2 часа. Согласно данным производителя оборудования «Ейскполимер», предварительная стоимость емкостей денитрификатора и отстойника, а также насосного оборудования составит 250 тыс. руб.

Для питания подобранных светодиодных осветительных элементов стоимость небольшой системы солнечных батарей с суммарной мощностью 200

Вт составит 30000 р. Срок службы солнечных панелей около 20 лет, но каждые 3-5 лет требуется замена аккумуляторных батарей.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение светодиодных элементов имеет значительный экономический и практический эффект. Применение светодиодных элементов, встроенных в осветительно-аэрационную установку, в 50 раз дешевле доочистки сточных вод процессом денитрификации. К тому же электроснабжение от системы солнечных панелей в 2,5 раза превышает стоимость электропотребления от городских сетей, и имеет экономический эффект в случае отсутствия сетей электроснабжения.

Заключение

1. Сравнительным анализом конструктивных решений и технологических режимов работы установок биологической очистки оборотных вод показал, что использование культиваторов микроводорослей с источниками освещения имеет экономическое и экологическое преимущество светодиодных ламп со светоотдачей 60-110 Люмен/Вт и сроком службы до 30000-100000 часов.

2. Разработаны методики расчета и подбора искусственных источников света, установки биологической очистки оборотных вод, их количества, а также определения параметров осветительных элементов с учетом оптической плотности и коэффициента пропускания на расстоянии 15-25 см от поверхности культивируемой среды при световом потоке светодиодов в диапазоне 25-65 Лм.

Исследования показали повышение эффективности очистки по, %: ХПК - 90, БПК - 81, нитратов -39,9. Потребляемая мощность осветительно-аэрационной установкой составила 63 Вт/час, что не превышает эксплуатационные затраты денитрификации. Косвенным показателем эффективности очистки вод установкой с осветительно-аэрационным элементом является прирост массы выращиваемой рыбы на 20-30% в месяц при более полном использовании кормов ввиду повышения прозрачности воды. Установлено расчетом и подтверждено экспериментально расстояние между смежными осветительно-аэрационными устройствами в биореакторе должно быть не более 140 см, при расположении их на расстоянии 70 см от стенок.

3. Установлено, что при включении сине-красного освещения происходит повышение активности и прирост аэробных микроорганизмов, которые тем самым вытесняют анаэробные и аноксидные микроорганизмы. В очищенных водах наблюдается повышение эффективности очистки вод по ХПК на 80%, нитритам на 18%, фосфатам в 12 раз, что обусловлено увеличением видового разнообразия микроорганизмов на поверхности загрузки биофильтра, дополнительным насыщением вод кислородом, продуцируемым водорослями альгобактериального сообщества биомассы.

4. Разработаны рекомендации по внедрению установок биологической очистки оборотных вод с осветительно-аэрационным устройством для рыбопроизводческих предприятий и для очистки городских сточных вод.

Рекомендации производству

Полученные в ходе исследования положительные результаты использования искусственного освещения в процессе биологической очистки вод рекомендуются к использованию в проектной практике, а также малыми фермерскими рыбопроизводческими хозяйствами при очистке оборотных, а также сбросных сточных вод.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Определение влияния сине-красного освещения на продуктивность хлореллы как поставщика кислорода и источника питания, до и после ультрафиолетовой обработки сточных вод, в том числе оборотных и сбросных сточных вод предприятий рыбопроизводства.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования:

- в изданиях перечня ВАК:

1. Старовойтов С.В. Применение аэрационно-осветительной установки в биологическом фильтре/ А.С. Халил, С.В. Старовойтов // Инженерный вестник Дона [Электронный журнал]. – 2017. – № 4. URL:http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_252_Starovoytov_Khalil.pdf_a24fc33645.pdf

- публикации в международной реферативной базе SCOPUS:

2. Serpokrylov, N.S. . The rationale for the Fish Farms Circulating Water Biological Treatment Intensification / A.S. Khalil1, S.V. Starovoytov, N.S. Serpokrylov // IOP Conference Series: Materials and Technologies in Construction and Architecture . -2018. -Vol. 931. – 979-984 p. URL: <https://www.scientific.net/MSF.931.979>

- патенты РФ:

3. Патент 181325 РФ, МПК C02F 3/14 (2006.01), C02F 1/74 (2006.01), C02F 3/06 (2006.01), F21K 9/00 (2016.01) Осветительно-аэрационный элемент : №2018108121 : завл. 06.03.2018 : опубл. 21.02.2019 / Серпокрьлов Н.С., Старовойтов С.В., Халил А.С. - 4 с.

4. Патент 2680511 РФ. МПК C02F 3/14 (2006.01) C02F 1/74 (2006.01) C02F 3/06 (2006.01) F21K 9/00 (2016.01) Способ повышения эффективности работы фильтра биологической очистки сточных вод : №2018108144 : заявл. 06.03.2018 : опубл. 21.02.2019 / Серпокрьлов Н.С., Старовойтов С.В., Халил А.С. - 5 с.

СТАРОВОЙТОВ СЕРГЕЙ ВАДИМОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ
ОЧИСТКИ ВОД РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства
Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать 18.09.2019

Объем 1,25 усл. п.л. Офсет. Формат 60х84х16.

Бумага тип №3. Заказ № 18/09. Тираж 100 шт.

ООО «ДГТУ-ПРИНТ»

Адрес полиграфического предприятия:

344000, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.