

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

На правах рукописи



СТАРОВОЙТОВ СЕРГЕЙ ВАДИМОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ОЧИСТКИ ВОД
РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Серпокрылов Николай Сергеевич

Ростов-на-Дону
2019

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ОБОРОТНЫХ ВОД РЫБОРАЗВЕДЕНИЯ.....	9
1.1. Влияние водного фактора, биотических и абиотических факторов на рыборазведение	9
1.2. Взаимодействие аквакультуры с окружающей средой	16
1.3. Анализ технологий и технических решений установок очистки оборотных вод рыборазведения	31
1.4. Анализ разработки и исследований по очистке оборотных вод рыборазведения	34
1.5 Выводы по 1-й главе и уточнение задачи исследований	43
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОРАЗВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ. КУЛЬТИВИРОВАНИЕ БИОЦЕНОЗА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ.....	45
2.1. Особенности культивирования микроводорослей хлорелла для очистки вод.....	45
2.2. Методика и опыт культивирования хлореллы «in vivo».....	47
2.3 Описание установок культивирования хлореллы. Обоснование конструктивного решения осветительного элемента	56
2.4 Анализ источников освещения и установок аэрации	60
2.5 Осветительно-аэрационная установка	67
2.6 Выводы по 2-й главе	71
ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКУССТВЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ ХЛОРЕЛЛЫ ...	73
3.1 Постановка, цель и задачи исследований.....	73
3.2 Искусственное освещение с использованием солнечной энергии....	73
3.3 Методика измерения параметров культивирования хлореллы..	76

3.4 Исследование работы установки, проведение эксперимента, обработка и анализ результатов	77
3.5 Лабораторные исследования технологических параметров режима культивирования хлореллы на реальных сточных водах	94
3.6 Выводы по 3-ей главе	97
ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАНОВКИ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД	99
4.1 Рыборазводческая ферма в г.Шахты «ИП Насонов».....	99
4.1.1 Анализ эффективности очистки сточных вод по существующей технологии.....	101
4.1.2 Монтаж и исследование режима работы осветительно-аэрационной установки в биофильтре.....	103
4.1.3 Проведение эксперимента, обработка и анализ результатов.....	106
4.2 Очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод Логистического парка.....	110
4.2.1 Исследование исходного качества сточных вод и постановка задачи.....	110
4.2.2 Внедрение осветительных элементов в биофильтры барабанного типа.....	114
4.2.3 Обработка и анализ результатов.....	115
4.3 Выводы по 4-й главе	116
ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕШЕНИЙ В УСТАНОВКАХ ВОДООЧИСТКИ	118
5.1 Разработка рекомендаций по внедрению осветительно-аэрационных устройств на рыборазводческих предприятиях.....	118
5.2 Разработка рекомендаций по повышению эффективности очистки городских сточных вод с применением осветительно-аэрационных установок.....	119

5.3 Анализ стоимости использования светодиодных осветительных элементов и сокращения затрат на аэрацию	119
5.3.1 Сравнительный анализ затрат на внедрение и эксплуатацию светодиодных элементов освещения	119
5.3.2 Расчет расхода воздуха на аэрацию и стоимости воздухоподогрева.....	122
5.4 Расчет стоимости денитрификации	125
5.5 Расчет стоимости солнечного электроснабжения	129
5.6 Выводы по 5-ой главе	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	131
Список используемых источников.....	133
Приложения	147

ВВЕДЕНИЕ

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. Серпокрылов, 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 рыбопроизводственной 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.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ОБОРОТНЫХ ВОД РЫБОРАЗВЕДЕНИЯ

1.1 Влияние водного фактора, биотических и абиотических факторов на рыборазведение

Аквакультура – получение, обработка и реализация продукции, полученной из организмов, обитающих в водной среде.

Сельское хозяйство - наука и искусство возделывания почвы, получения урожая и выращивания скота, являющееся отраслью экономики, нацеленной на обеспечение населения продовольствием, и получение сырья для ряда отраслей промышленности.

Население земного шара ежегодно растет. В силу этого, в настоящее время работы в области сельского хозяйства с большей или меньшей интенсивностью проводятся почти на всех континентах, за исключением Антарктиды. Сельское хозяйство ориентировано на животноводство и выращивание агрокультур на суше. Однако около 71% поверхности Земли занято водой, и 29% поверхности – сушей. Требования рынка и спрос диктуют необходимость постоянного оборота продукции, с наращиванием объемов.

Начиная с 2006 г., аквакультура была включена в приоритетный национальный проект сельскохозяйственной деятельности России, с получением государственной поддержки и кредитов, что способствует активному развитию рыбоводческих хозяйств.

В России и странах дальнего зарубежья, ведение фермерского хозяйства по выращиванию аквакультуры подразделяется на три типа (рис. 1.1). Тип рыбоводного фермерского хозяйства зависит от выращиваемых видов рыб, типу водоемов и организационной форме. Используются следующие типы водоемов - классические пруды, лиманы и озера, садковые фермы, а также водоемы комплексного назначения - пастбищные фермы и т.д. [1].

Развитие аквакультуры определяется географическим положением, уровнем экономики и сложившимися традициями. Таиланд, Китай, страны северной Европы и Латинской Америки занимают лидирующее положение в мире в области тепловодной аквакультуры. Заинтересованность фермеров в результатах производства с получением максимальной прибыли, а также государственная поддержка, значительно увеличили за последнее десятилетие производство рыбной продукции во внутренних водоемах. Это позволяет постоянно получать прибыль и вести расширенное воспроизводство рыбы, а также других видов сопутствующей продукции [2].

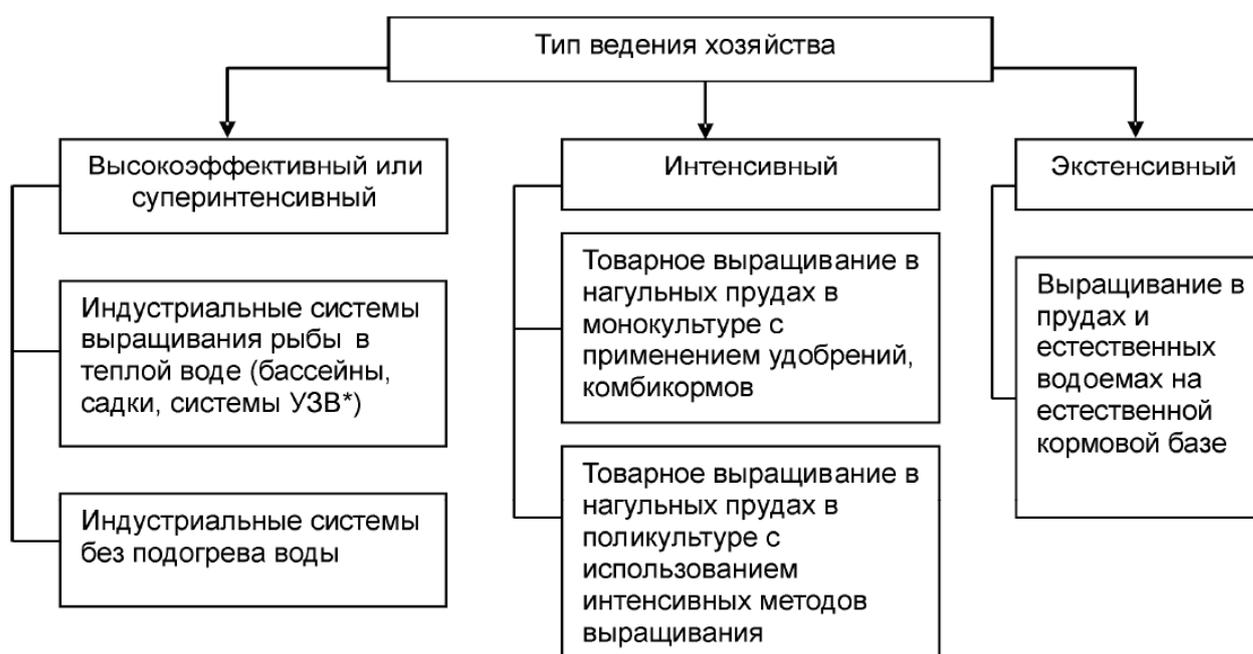


Рисунок 1.1 - Типы ведения хозяйства по выращиванию объектов фермерской аквакультуры

Большая доля рыбной продукции производится в фермерских хозяйствах и кооперативах. Так, в Китае большой опыт разведения аквакультуры и водоплавающей птицы, который приемлем и в России. Небольшими, либо начинающими фермами, используются малые озера, применение которых крупными предприятиями и рыбколхозами нерентабельно [3].

Во многих странах мира искусственные водохранилища, пруды и карьеры, накопители дренажных и промышленных сточных вод, а также

изолированные морские заливы и лиманы, воды которых с высокой минерализацией, используются для выращивания ракообразных и водорослевой массы для выращивания личинок рыб, а также получения белка для сельскохозяйственных нужд. Освоение вышеперечисленных водных ресурсов проводят при строгом соблюдении технологии рыборазведения, производя очистку вод от накопившихся органических веществ.

Практически во всех регионах на глубине 0,2-3 км есть подземные воды высокой солености. В большинстве случаев это геотермальные воды газо- и нефтеносных районов с соленостью вод от 8-10 до 200-300 ‰. Воду, соленостью более 100 ‰ называют рапой. Такие воды дают возможность использовать тепловую энергию на различные нужды. В случае если в водоемах соленость соответствует морской воде, и остальные важные показатели, то при соблюдении газового режима, температуры и т.д. можно разводить соленлюбивых или эвригалинных рыб и беспозвоночных.

Разбавляя же воду, возможно разводить морских эвригалинных организмов. Эвригалинные организмы (галофилты), выживают при солености 25-150 ‰ - водоросли: *Amphora*, *Nitzchia*, *Chlamidomonas*, *Oscillatoria*, *Spirulina* и *Lyngbya*; инфузории: *Pleuronema* и *Euplotes*; коловратки *Brachionus*; ракообразные: *Diaptomus*, *Cyclops*, и *Moina*; олигохеты: *Lumbricillus*; а также личинки *Chironomus halophilus* и *Ch-salinaris*). Галобиоты - организмы, которым соленость выше 150 ‰ является нормой, к которым относятся (водоросли *Dunaliella salina*; инфузории *Fabrea salina*; ракообразные *Diaptomus salinus* и *Artemia salina*; а также личинки: *Trichocladus halophilus* и *Ephydra*) [1].

Требования к качеству воды в рыбоводных водоемах

В зависимости от размера водоемы классифицируются на 3 категории [1]: малые до 50 га; средние до 300 га; крупные до 1000 га.

По способу накопления воды и ее сброса, водоемы классифицируются на 4 категории: запрудные (овражно-балочные); наливные (карьерно-котловинные); мелководные (пойменно-лагунные); проточные (русловые).

Запрудные (овражно-балочные) водоемы - водоемы, наполняемые дождевыми или талыми водами, имеют плотину, и площадь которых составляет около 50 га. Существует возможность сброса воды и вылова рыбы при перепаде уровней 2-9 м.

В связи с прекращением роста рыб осенью, запрудные водоемы заполняются в теплое время года для выращивания теплолюбивых рыб - толстолобика, амура, карпа и других рыб. Но возможно и круглогодичное использование водоема для холодноводных представителей аквакультуры.

Как правило, содержащийся кислород и температура распределяются вертикально от дна к поверхности. В горной местности наблюдается слабая кормовая база, а в равнинных – достаточная.

В зонах с недостаточным количеством сезонных осадков распространено ирригационное земледелие с искусственным орошением. В рядом расположенных водоемах наблюдается повышенная минерализация, где распространено разведение солоновато-водных рыб.

Наливные (карьерно-котловинные) водоемы наполняются грунтовыми водами, либо по каналам или водоводам. Создаются на местах горных выработок, образованных при добыче полезных ископаемых. Площадь составляет 50-3000 га, при глубине 8-15 м. Вылов рыбы осуществляется неводами, либо частичной откачкой воды. Средняя рыбопродуктивность составляет 2-3 ц/га.

При наличии грунтовых вод наблюдается активное перемешивание пластов воды. Температура нижних слоев воды варьируется в пределах 8-10°C. В кислой среде ($pH < 7$) наблюдается сдерживание нереста карповых видов. В каменисто-песчаных карьерах – щелочная среда ($pH > 7$), с недостаточной кормовой базой. В торфяных карьерах не интенсивное развитие фитопланктона. При низком содержании кислорода не пригодны для разведения сомов, а также осетровых и лососевых вид рыб. Щука, золотой карась, ротан и линь - преобладающие виды рыб.

Мелководные (пойменно-лагунные) водоемы – водоемы, площадью до 1000 га, располагающиеся на естественных низменностях, глубина которых до 2-3 м. Наполнение осуществляется морской или пресной водой, либо за счет ирригационных сбросных и артезианских вод. Естественный сток воды наблюдается в случае, когда водоем выше уровня моря. При малой глубине происходит равномерный прогрев воды, в связи с чем отсутствует вертикальное распределение по температуре и кислороду.

По содержанию соли подразделяются на водоемы с высоким содержанием соли, солоноватые и пресноводные. Зарыбление пойменно-лагунных водоемов происходит в весеннее время с расчетом на 50-70% площади. Возможно осеннее зарыбление при условии, что имеются участки водоема с глубиной 3-4 м.

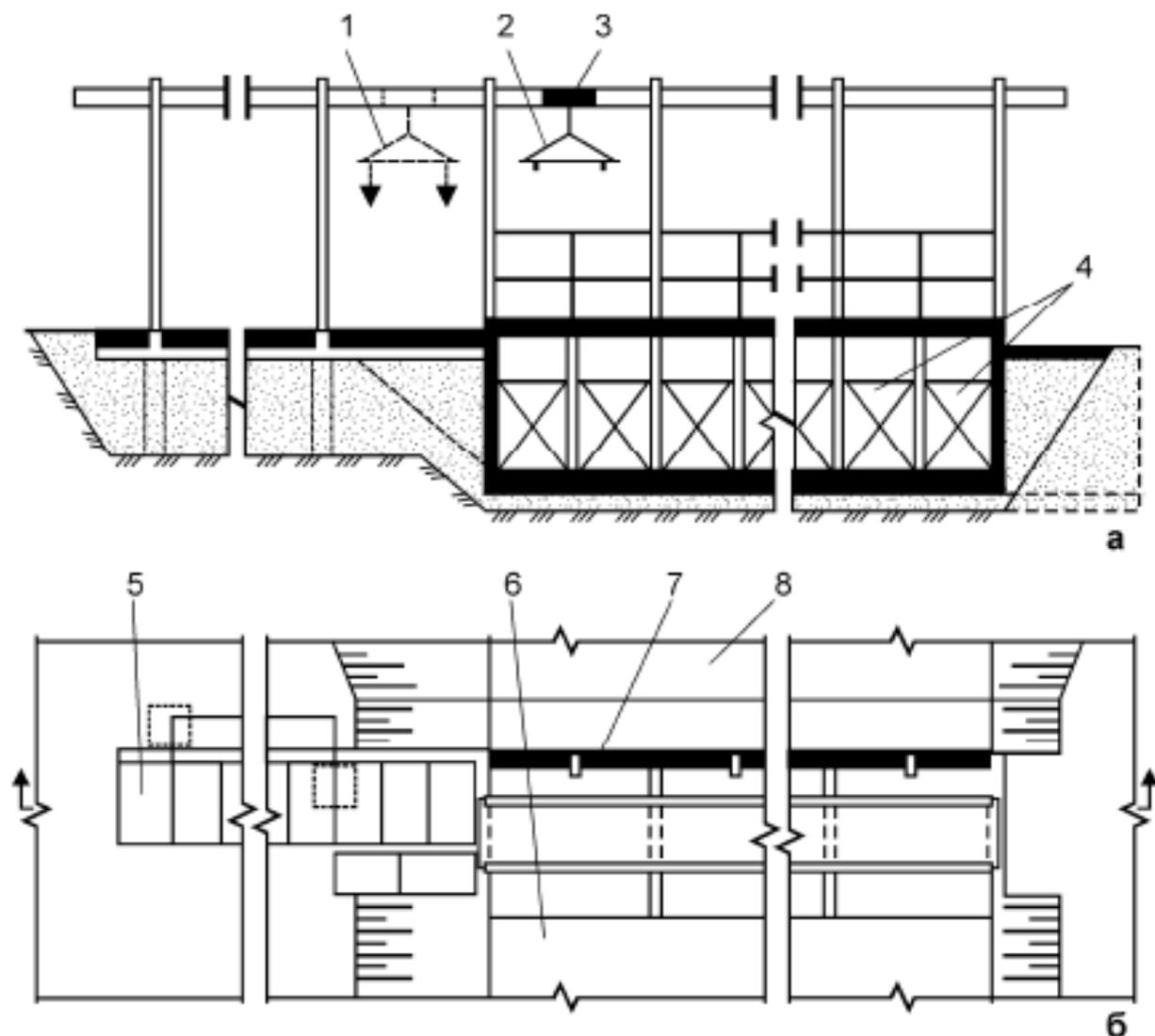
Кормовая база позволяет достичь прироста массы рыб до 10 ц/га. Помимо сезонного цветения водоемов, возможно и его зарастание. Помимо рыборазведения, пойменно-лагунные водоемы используются в сельскохозяйственной деятельности для полива.

Установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) подразумевают отсутствие необходимости размещения рыбоводных предприятий в районе водохранилищ. Данная технология основана на использовании фильтров механической и биологической очистки для повторного использования воды для целей производства. С экологической точки зрения использование УЗВ сокращает количество используемой воды, что востребовано в регионах с ограниченными водными ресурсами. В процессе эксплуатации УЗВ влияние внешних факторов сводится к минимуму, что обеспечивает стабильное и оптимальное условия производства аквакультуры.

Проточные (русловые) водоемы возводят на малых реках, путем установки плотины. Происходит постоянное наполнение водой, что характеризует высокое качество воды, но и полное отсутствие возможности ее сброса. На мелководье возможны более прогретые слои воды. Максимальный уровень воды в русловых водоемах, как правило, у плотины, особенно в

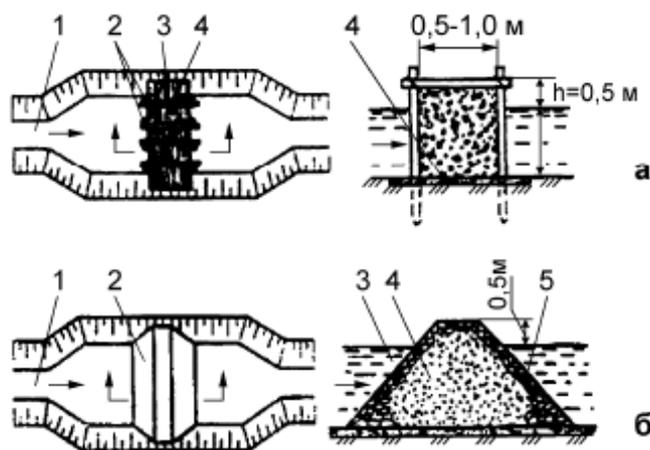
паводковый период. На водоподаче и сбросе требуются надежные рыбозащитные устройства (рис. 1.2, 1.3). При их отсутствии, зарыбление водоемов проводится после паводка.

Кормовая база богатая, но присутствие хищных рыб способствует возникновению пищевой конкуренции с разводимыми представителями аквакультуры. Зарыбление водоемов рекомендуется в осенний период, рыбопродуктивность которых составляет до 2-6 ц/га.



а — в разрезе; б — в плане: 1 — устройство для перемещения кассет;
2 — траверса для подъема кассет; 3 — таль на роликах; 4 — кассета со щебенкой; 5 — служебная площадка; 6 — берег дамбы; 7 — канал; 8 — откос дамбы

Рисунок 1.2 - Рыбозащитное сооружение с двухъярусной установкой кассет:



а — хворостяной: 1 — канал; 2 — кольца (10-12 см); 3 — хворост; 4 — прижимные жерди (5-6 см); 5 — крепление;

б — каменно-щебеночный: 1 — канал; 2 — фильтр; 3 — камень; 4 — щебень; 5 — крепления

Рисунок 1.3 - Фильтры:

Влажные кормовые компоненты, корма, пасты

Сухие комбинированные, гранулированные корма выпускаются предприятиями, и обладают высокими питательными свойствами. Цена их достаточно высока, и большая часть ферм изготавливают дешевые влажные корма самостоятельно.

Для лососевых рыб и форели, изготавливают пасты и гранулы с использованием отходов от переработки, боенских продуктов, сорной и малоценной рыбы, ракообразных, местного кормового сырья, а также сухих кормовых компонентов - растительного шрота, рыбной муки, жмыха, дрожжей, фосфатидов, масла, антибиотиков, витаминов и минеральных комплексов.

Использование влажных кормов, а также различных гранул и паст для кормления и выращивания объектов аквакультуры ведет к значительной экономии средств. Помимо экономии, кормосмеси удобны в применении – они легко смешиваются с жидкими веществами, например, с лекарственными. Но такие корма имеют ряд недостатков - плохо хранятся, имеют высокое содержание влаги, имеют меньшую концентрацию питательных веществ, недостаточно сбалансированы по содержанию незаменимых соединений.

Кроме того, из-за содержания влаги, могут являться источниками различной инфекции. Сырые гранулы изготавливают на заводах с мощными электромясорубками. В качестве связующего материала используют пшеничную муку и другие сухие компоненты. Так, например, в городе Волгограде на осетровом рыбноводном заводе изготавливают влажные корма для осетров в виде колбасных изделий, в состав которых включены отловленные кормовые организмы и пищевой загуститель. Для осетровых рыб рекомендованы корма на основе местного кормового сырья.

В состав пастообразных кормов включены следующие ингредиенты [1, 2, 3, 4, 5, 6]:

- для молоди:

первый вариант- мука рыбная и кровяная, рыбный фарш, дрожжи кормовые, гидролизат белка, витазар, обезжиренное молоко, премикс витаминный ПО-5, рыбий жир;

второй вариант — рыбный фарш, шрот подсолнечный, мука рыбная и кровяная, рыбий жир, витазар, премикс витаминный ПО-5;

- для товарной рыбы: мука рыбная, мясокостная, кровяная, рыбный фарш, шрот соевый и подсолнечный, рыбий жир, витазар, премикс витаминный ПО-5;

- для производителей: мука рыбная, рыбный фарш, рыбий жир, дрожжи кормовые, витазар, премикс витаминный ПО-5.

Сухие корма изготавливаются по действующим техническим условиям, с составом, на который имеются патенты ФГОУ ВПО АГТУ.

1.2 Взаимодействие аквакультуры с окружающей средой

Аквакультура оказывает влияние на окружающую среду, и можно выделить основные влияющие факторы, такие как [4]:

- потребление ресурсов;
- выделение различных химических веществ;
- влияние на экосистемы.

При изготовлении корма на производстве используются биоматериалы в виде производственных отходов, полученных из рыбы и ракообразных. Количество рыбы, перерабатываемой для корма, существенно превышает величину конечной продукции. Например, для получения 1 кг лосося потребуется около 3-5 кг биоматериала [5]. В 1985-1995 гг. для производства 7,2 млн.т. креветок, фермеры использовали 36 млн.т. сорной рыбы.

Химикаты, тяжелые металлы, добавки в виде стабилизаторов, антиоксидантов, пигментов, фунгицидов, ингибиторов горения и т.д., средства от обрастания, антисептики и т.д. токсичны для водных организмов. Но их низкая растворимость, замедленность выщелачивания и разбавления обеспечивает некоторую защиту.

Рассматривая экологические воздействия аквакультуры, можно выделить следующие природные компоненты:

- животный мир;
- атмосферный воздух;
- поверхностные воды;
- почвы;
- растительность.

Влияние абиотических и биотических факторов среды при индустриальных методах культивирования рыб

Живой органический мир представляет собой единство живых организмов и окружающей их внешней среды [4, 7]. Внешняя окружающая среда оказывает на организмы совокупность различных воздействующих факторов. Физико-химические свойства внешней среды определяют эффективность выращивания рассматриваемых организмов. Организм активно отбирает из окружающей среды все необходимое для его развития, и противодействует влиянию негативных условий. Несоответствие условий влияния внешней окружающей среды на организм может привести к его отмиранию, или к изменению его прежних свойств, а также приобретению новых. Организм приспосабливается к внешним факторам и таким образом

выживает. Если изменения внешней среды значительны, а условия внешней среды продолжают поддерживать их, новые приобретенные свойства устойчиво закрепляются в организме и передаются следующим поколениям по наследству [6, 7, 8, 9, 10].

Исходя из вышесказанного, нормы содержания вод для выращивания аквакультуры способствуют сохранности вида, его плодовитости, качеству потомства, росту и не создают условий развития различных заболеваний.

Комплекс факторов, оказываемых на организм внешней окружающей средой, подразделяется на две группы - биотические и абиотические, которые тесно связаны. Вследствие этого образуется единое целое между организмом и средой обитания – скопление групп рыб одного вида в стаи (косяки), временные группировки рыб и популяции [7].

Биотические факторы среды

Представители аквакультуры в естественных условиях оказываются под влиянием внешней окружающей среды. Проанализировав биотические факторы, и условия существования выращиваемых представителей аквакультуры, возможно управлять биологическими процессами, а также добиться прироста биомассы выращиваемых видов. Наиболее влияющими на эффективность развития аквакультуры можно выделить следующие биотические факторы:

- 1) монокультура и поликультура;
- 2) каннибализм и присутствие хищников – рыбы, животные, птицы и пр.;
- 3) болезни и паразитизм
- 4) конкуренция в питании и сфере обитания;
- 5) плотность посадки и распределение кормовой базы;
- 6) рацион питания, пищевые взаимоотношения, сортировка;
- 7) привлечение воздушного корма;
- 8) жизнестойкость;
- 9) размерно-весовая структура стада;

10) добавочные организмы (для сокращения количества сорной рыбы, либо выращивания добавочных видов)

Абиотические факторы среды

К абиотическим факторам среды относятся [4]:

- 1) связь с воздушной средой;
- 2) кислородный режим;
- 3) температурный режим;
- 4) освещенность;
- 5) водообмен;
- 6) прозрачность;
- 7) загрязнение.

Температура воды

Температура воды – один из определяющих экологических показателей. Рыбы – пойкилотермные организмы, и их активность прямо зависит от температуры окружающей среды. По отношению к температуре воды эти организмы могут быть эвритермные и stenотермные [11].

Температура воды является важным критерием для выращивания аквакультуры, поскольку от нее зависят сроки созревания, нереста и продолжительность жизни рыб.

Оптимальная температура для выращивания аквакультуры зависит от возраста рыб (таблица 1.1). Так, например, для икры оптимальна температура воды составляет 1-2,5°C; мальков 10-14°C; сеголетков 14-16°C; для товарной рыбы 14-18°C. Критическая температура воды варьируется около -0,1°C, а летальная около 26°C.

Для выращивания клариевого сома оптимальная температура – 25-30°C. При снижении до 17-18°C рыба перестает питаться. Гибнет при длительном пребывании в воде с температурой 14-15°C, но выдерживает кратковременное снижение до 5°C. Наиболее благоприятная температура для кормления – более 20°C.

Таблица 1.1 - Наиболее благоприятные температуры для активного роста представителей аквакультуры

Группа рыб	Температура активного роста. С	Рыбы
I	8-17	Чукучан, форель, белорыбица, храмуля, голец и паляя, хариус, угорь, лосось, нельма, щука и др.
II	17-26	Стерлядь, сом, белуга, усач, русский осетр и бестер, подуст, линь, ленский осетр, севанская форель, шемая, голавль, судак, серебряный карась, рыбец, вырезуб, лещ.
III	25-30	Пиленгас, сом, толстолобик, лобан, карп, сингиль, змееголов, форелеокунь, белый амур, тилипия, веслонос, сазан, черный амур, буффало, роху, колоссома и др.

Растворенный в воде кислород (O₂).

На количество растворенного кислорода в воде оказывает влияние температуры. У кислорода растворимость в воде в 28 раз ниже чем у углекислоты. С ростом солесодержания в воде снижается растворимость кислорода [5].

Наиболее благоприятное для выращивания аквакультуры содержание кислорода составляет 7–11 мг/л., но зависит от возраста и разновидности рыб. Например, малькам форели необходимо 500–600 мг O₂*кг/ч, а взрослым особям 400–500 мг O₂*кг/ч. Клариевые сомы, имея наджаберный орган дыхания, способны усваивать кислород из воздуха, и не требуют высокой концентрации растворенного в воде кислорода.

В процессе фотосинтеза водоросли выделяют кислород, и от его содержания зависит скорость эмбрионального развития. Но не следуют превышать допустимый уровень кислорода. Перенасыщение воды сопутствующим азотом способствует возникновению у рыб газопузырькового заболевания [10]. Для личинок и мальков лосевых представителей аквакультуры летальным является уровень насыщения воды 103%; для сеголетков - 105–113%, для взрослых особей - 118%.

Концентрация кислорода оказывает влияние на потребление корма клариевыми сомами – при низкой концентрации кислорода (0,5 мг/л) потребление корма возрастает на 5-10%. Максимальное потребление кислорода – спустя два часа после кормления, а через три часа – снижение в 1,8-2 раза. В связи с высокой скоростью переваривания корма, требуется кормление каждые 3-4 часа.

Перенасыщение воды возможно при использовании сточных вод ГРЭС, ТЭС и АЭС, а также при подсосе воздуха в закрытом трубопроводе.

Озон (O_3).

Озон - голубо-фиолетовый газ, в жидком состоянии – темно-синего цвета, в твердом – черного, являющийся аллотропическим видоизменением кислорода с высокой растворимостью в воде. Бактерицидные свойства озона нашли широкое применение при обеззараживании воды – с легкостью проникает через клеточные оболочки микробов, и обладает высоким окислительным потенциалом.

Для обеззараживания одного литра воды достаточно 0,5–4 мг озона. Расход озона напрямую зависит от мутности воды - водоросли гибнут при концентрации озона 0,5–1,0 мг/л, а моллюски – при 3,0 мг/л. Для полной гибели циклопов, коловраток, дафний и олигохет достаточно 2 мг/л. А при концентрации 15 мг/л бактерии и вирусы полностью уничтожаются, окисляется ряд органических веществ и снижается концентрация железа.

Озон улучшает привкус воды, осветляет ее, а также уничтожает запах. Подавая озон после фильтра биологической очистки, происходит окисление нитритов и аммония.

Углекислота, двуокись углерода, свободный диоксид (CO_2).

CO_2 - основной источник углерода при фотосинтезе. рН воды зависит от присутствия углекислоты [5]. Наличие двуокиси углерода влияет на процесс роста рыб в водоеме. Норма содержания CO_2 – до 10 мг/л. Увеличение содержания углекислоты является индикатором органического загрязнения водной среды. Содержание углекислоты в концентрации 30 мг/л вызывает

аритмию, 50–80 мг/л - потеря равновесия, 107 мг/л – плавание на боку. Гемоглобин в крови рыб связывает CO_2 , снижая концентрацию O_2 . Рыбе не хватает O_2 даже в насыщенной кислородом воде.

В естественных водоемах углекислота содержится в трех формах:

- газ, растворенный в воде (двуокись углерода);
- ионы HCO_3^- (гидрокарбонат ионов);
- ионы CO_3^{2-} (карбонат-ионов).

При высокой концентрации углекислоты и достаточном количестве кислорода рыба погибает с прижатыми жаберными крышками. При недостаточном количестве кислорода – с оттопыренными (табл. 1.2). Повышение концентрации углекислоты возможно во время паводков или дождей. При помощи аэрации, внесения известковых удобрений и протоке достигается снижение концентрации углекислоты.

Таблица 1.2 - Влияние углекислоты на жизнедеятельность рыб

Виды рыб	Концентрация CO_2 , мг/л		
	Учащенное дыхание	Нарушенное равновесие	Боковое или спинное плавание
Радужная форель	36	50	100-147
Кари	50-73	202	257
Линь	110-123	385	440

Соленость и содержание минеральных солей.

Соленость - общее количество минеральных веществ, растворенных в 1 кг морской воды (‰, промиля). Соленость определяют через весовую концентрацию хлора в воде: $S\text{‰} = 1,80655 (\text{Cl})$. Пресные воды содержат не более 1 г/л, солоноватые – 1–15 г/л, соленые – 15–40 г/л минеральных солей.

Например, для форели лучше жесткая вода, чем мягкая. Для молоди форели оптимальная соленость 3–6 ‰, высокая 9 ‰. Для двухлетней форели оптимальная соленость 12–15 ‰. При массе 100 г. и более оптимальная соленость - 30–35 ‰. Из минеральных солей важное значение имеют соли угольной кислоты, а также соляной, фосфорной, серной и азотной (табл. 1.3).

Таблица 1.3 - Границы солености для товарного выращивания некоторых рыб

Группы	Соленость воды, г/л	Рыбы
1	до 4-6	Караси, линь, карпы, толстолобики, амуры, османы, другие жилловые карповые рыбы, а также щука, змееголов, хариусы, налим, стерлядь, веслонос и др.
2	до 10-12	Лещ, сазан, кутум, шемая и другие, полупроходные ленский осетр, карповые рыбы, судак, и др.
3	до 16-18	Пелядь и другие сиговые, форели, клариевый сом, осетры, белуга, калуга, некоторые тилапии и др.
4	до 30-36	Дальневосточные и другие лососи, угорь и др.
5	18-36	Морские рыбы: кефатш, камбалы и др.
6	18-36	Эвригалинные осетровые, лососевые, угорь, тилапии. полосатый окунь, бычки и др.

pH среды.

Величина pH является индикатором токсичности. При помощи активной реакции среды – водородного показателя, возможно определить кислотно-щелочной баланс: кислая $pH < 7$, нейтральная $pH = 7$ или щелочная $pH > 7$.

Благоприятные условия жизнедеятельности основной массы рыб при pH 6,5–8. Для карпа оптимальные значения pH - 4,5–10,8, а для форели критическое значение $pH = 9,2$, для сома pH 6-8. Весной с талой водой, и летом при дождях, в связи жизнедеятельностью растений, возможно повышение pH, при $pH > 9$ (щелочная среда) возможна гибель рыбы. Жесткая вода стабилизирует pH. При высокой кислотности известь, соль меди и гербициды повышают pH. Уровень pH зависит и от содержания кальция в воде [5].

Жесткость

Жесткость воды –совокупность физических и химических свойств воды, зависящих от количества растворенных солей щелочноземельных металлов – кальция и магния (табл. 1.4). Жесткость бывает магниевой или кальциевой, а суммарная – общей жесткостью.

Таблица 1.4 - Характеристика воды в зависимости от жесткости

Жесткость общая, мг-экв./л	Градус жесткости, °Н	Характеристика воды
До 1,4	До 4	Очень мягкая
1,5-3,0	4-8	Мягкая
3,1-4,3	8-12	Средняя жесткость
4,4-6,4	12-18	Довольно жесткая
6,5-10,7	18-20	Жесткая
10,8	30	Очень жесткая

Течение и водообмен

Русловые проточные водоемы, постоянно наполняемые водой путем установки плотины в удобном месте на ландшафте - водоемы с высоким качеством воды. С поступающей водой водоем насыщается кислородом, а уходящая вода уносит продукты жизнедеятельности и остатки корма. При кормлении в проточных водоемах, происходит равномерное распределение корма. Оптимальная скорость течения в таких водоемах не выше 100 м/час. Форель, в естественных условиях обитает в горных реках с быстрым течением до 20 км/ч. При соблюдении оптимальной скорости течения, объемы рыбопродукции увеличиваются. При большой скорости течения повышается водообмен, часть корма уносится по течению, и как результат ухудшаются экономические показатели.

Цветность, мутность, и взвешенные вещества

Различают высокомутные и высокоцветные воды. Норма мутности водоема для рыборазведения, т.е. количество взвешенных веществ составляет не более 25 мг/л [1, 5]. Критический уровень мутности воды составляет 400 мг/л. Превышение нормы мутности воды пагубно влияет на процесс выращивания аквакультуры – замедленное развитие, снижение иммунитета и аппетита, гибель рыб. Для снижения мутности, т.е. осаждения взвешенных веществ иногда применяют коагулянты. Для обесцвечивания воды используются высокие дозы коагулянта. Высокая прозрачность карповых водоемов, является признаком малой продуктивности. Предельно допустимая концентрация взвешенных веществ в воде для сома – до 30 мг/л.

Органические вещества

Органические вещества — одна из самых сложных группа соединений, содержащихся в водоемах [1, 5]. Их концентрация в водоеме определяется биохимическим потреблением кислорода (БПК), т.е. количеством кислорода, израсходованном на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений.

Для карпа норма БПК составляет 1-4 мг/л. ПДК составляет около 5 мг/л., а при превышении ПДК возможен замор рыбы в связи с недостатком кислорода или отравлением продуктами анаэробного разложения органических веществ. Особо опасны азотистые соединения в виде остатков корма и продуктах жизнедеятельности.

Аммиак

Свободный аммиак NH_3 , образующийся из аминокислот при распаде других азотсодержащих соединений, является токсичным. Оптимальная его концентрация составляет 0,01-0,07 мг/л, для выращивания мальков – 0,006 мг/л, допустимая концентрация – 0,1 мг/л. При концентрации 0,3 мг/л рыба гибнет. Сом обладает высокой толерантностью к повышенному содержанию в воде соединений азота, и ПДК составляет – 6,5 мг/л. [12]. Для распада NH_3 очищаемую воду пропускают через известковые и гравийные фильтры. При $\text{pH} > 9$ отходы NH_3 не распадается, т.е. с ростом pH токсичность NH_3 усиливается. При $\text{pH} < 9$ отходы от рыб переходят из NH_3 в аммоний NH_4^+ .

Разработаны следующие пути снижения концентрации аммиака:

- ограничение кормления рыб;
- исключение применения азотсодержащих удобрений;
- установка фильтров биологической очистки;
- внесение хлорной извести.

Аммонийный азот

Аммоний NH_4^+ – является наиболее токсичной для рыб формой азота. При азотсодержащих удобрениях норма для прудов - до 1,0 мг/л при $\text{pH} < 8,0$. Его образование происходит в результате минерализации органических

веществ гетеротрофными бактериями, а также связыванием аммиака NH_3 водородом в кислой среде. Регулируется в водоеме путем внесения удобрений. Аммиак NH_3 и аммоний NH_4^+ могут проникать в ткани. Путем окисления аэрацией и микроорганизмами в фильтре биологической очистки аммоний NH_4^+ переходит в газообразный нитрит NO_2^- . Предельно допустимая концентрация в воде для сома – до 10 мг/л [12].

Нитриты и нитраты

Нитриты (NO_2^-) накапливаются при повышенном уровне аммиака и могут привести к смертности рыб [4, 7]. Наличие в водоеме нитритов свидетельствует о свежем загрязнении - норма NO_2^- не более 0,2 мг, ПДК колеблется до 1 мг. При хорошей аэрации нитриты окисляются до нитратов. В морских и солоноватых водах нитриты не опасны для рыб. Предельно допустимая концентрация в воде для клариевого сома – до 0.2 мг/л [12].

Нитраты (NO_3^-) – продукты окисления нитритов и являются конечными продуктами окисления азота, и более стойкими соединениями. Норма NO_3^- в водоемах – 0,2-2 мг/л. В умеренных количествах не оказывают вредного воздействия. ПДК – 3 мг/л., но при концентрации более 100 мг/л нитраты токсичны и способствуют развитию водорослей и паразитарных циклов. В солоноватой воде нитраты более токсичны. Предельно допустимая концентрация в воде для клариевого сома – до 50 мг/л [12].

На интенсивность роста рыб оказывает влияние концентрации аммонийного азота, выделяемого рыбой. Обобщенно удаление азота происходит в последовательности: $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$.

Фосфаты

Обычно количество фосфатов мало. Норма составляет около 0,2 мг/л, а ПДК – 3 мг/л. Наличие их способствует развитию водорослей.

Железо

Негативное воздействие железа, содержащегося в водоеме, зависит от его формы и состояния. Содержание не должно превышать 2 мг/л. В подземных источниках, т.е. в анаэробной среде, преобладает закисное железо. Закисное

железо способствует развитию железобактерий, засоряющих отстойники воды и трубы, а также жабры мальков. Для закисного железа ПДК составляет 0,2 мг/л. Снижение содержания железа в водоеме возможно при аэрации, вследствие чего образуются хлопья железа, и дальнейшая фильтрация воды.

Хлор

Содержание хлора в водоеме в количестве 0,15 мг/л при температуре 10–14°C смертельно для рыб. В замкнутых установках водоснабжения ПДК содержания хлора 0,01 мг/л. Карп относительно устойчив к воздействию хлора, чего не сказать о форели.

Сероводород

Содержание сероводорода H_2S недопустимо в водоеме и в поступающей воде. Присутствие сероводорода в воде губительно для рыб. Появление сероводорода даже в придонных слоях, служит признаком острого дефицита кислорода и развития заморных явлений. Главным источником сульфидов и сероводорода являются бактериальное разложение и биологическое окисление органических веществ. Как правило, сероводорода в водоеме нет, а при его возникновении он быстро окисляется кислородом. Наличие его в воде свидетельствует о сильном загрязнении, сбросе сточных вод.

Токсические вещества и нефтепродукты

Содержание нефтепродуктов и токсичных веществ в рыбоводных водоемах недопустимы. Низкое содержание нефтепродуктов не оказывает прямого воздействия на аквакультуру. ПДК нефтепродуктов и токсичных веществ составляет 0,01–0,02 мг/л, при которой мясо рыб приобретает неприятный запах и вкус.

Нефтепродукты образуют на поверхности водоема пленку, которая со временем оседает на дно. Нефтепродукты забивают жабры, и затрудняют потребление кислорода. Разрушение нефтепродуктов и токсичных веществ бактериями происходит очень медленно.

Освещенность

В некоторых случаях слой воды может сыграть роль линзы, и прямые солнечные лучи могут оставить ожоги на теле мальков. Приветствуется выращивание аквакультуры при рассеянном, ослабленном свете. Свет и фиолетовые лучи губительны для икры лососевых, а желтые и оранжевые лучи безвредны. Например, сроки полового созревания форели зависят от длительности светового дня.

В искусственных бассейнах должна быть достаточно прозрачная вода, так как представители аквакультуры при питании ориентируется в основном с помощью зрения. Прозрачность воды обусловлена цветом и мутностью. При выращивании карпа прозрачная вода – признак малопродуктивности пруда.

Влияние освещенности на аквакультуру

Зрение - является ведущей сенсорной системой для большинства организмов. Исследования ученых показывают, что реакция организмов на свет в процессе развития онтогенеза проявляется одной из первых. В зависимости от интенсивности освещения и его спектрального состава, у представителей аквакультуры различная реакция на свет. Помимо этого, на реакцию и развитие рыб, влияют возраст и видовая принадлежность [13, 14, 15, 16, 17, 18].

Есть как светлюбивые представители аквакультуры, так и особи, на которых свет не оказывает большого влияния. При несвойственных световых условиях, у некоторых видов рыб возможен сбой в развитии и обмене веществ. При переменной освещенности в течение суток, наблюдается наибольший рост рыб [19].

В естественных условиях обитания карпа, при круглосуточном освещении, наиболее интенсивное кормление наблюдается рано утром и во второй половине дня, что составляет 65 % суточного рациона. В ночное время минимальное количество потребляемого корма. При выращивании в искусственных условиях, режим питания такой же, сформированный в процессе эволюции [20, 21, 22].

При непродолжительном выключении освещения в дневное и ночное время наблюдается незначительное снижение активности питания. Но, после

включения освещения, корм, который был не съеден, частично подбирается рыбой. Как следствие, объем съеденного корма снизился на 5%, что впоследствии повлияет на прирост рыб.

Сомы, выращиваемые при освещенности до 30 Лк менее подвижны. При внесении корма происходит активизация особей, более выраженная чем сверстники, выращиваемые при 300 Лк [23, 24].

При выключении освещения с 20 до 24 часов, активность питания карпов снизилась, они очень слабо реагировали на корм. Потребив всего около 6% суточной нормы корма. Максимальная активность потребления корма была отмечена с 24 до 6 часов – съедено 43% суточного рациона.

При однократном непродолжительном режиме освещения был замечен резкий прирост карпа, и более активное поедание корма. Сравнивая с режимом постоянного освещения, суточная норма корма снизилась на 14 %. В режиме темноты, карпы менее подвижны, затрачивая меньшее количество энергии на поддержание жизненных функций. Первые 6 часов после затемнения наблюдалась высокая пищевая активность.

По данным исследований и данным литературных источников, освещенность является мощным стимулом роста [25]. При круглосуточном отсутствии освещения, представители аквакультуры практически не питаются, и темп их роста снижается. В темноте процесс рост карпа протекает в 1,7 раза медленнее, чем при естественном освещении. А повышая освещенность, наблюдается рост интенсивности дыхания карпа, что говорит о большей активности обменных процессов (рис. 1.4).

Согласно графику (рис. 1.5), прирост карпа значительно зависит от уровня освещенности. С возрастом, а также с ростом массы особей, наблюдается изменение оптимального режима освещенности [26].

Оптимальная освещенность для молоди, массой 0,5–2,5 г., оптимальная освещенность - 3500-4000 Лк. При освещенности свыше 5000 Лк скорость роста снижается. При освещенности свыше 8500 Лк прирост массы у рыб хуже, чем при низкой освещенности [27, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

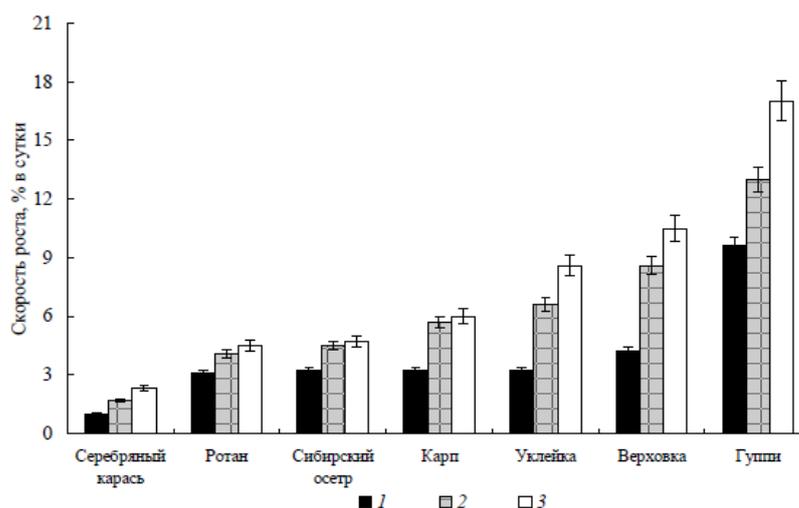


Рисунок 1.4 - Скорость роста молоди рыб при различном соотношении светлого (С) и темного (Т) времени суток. 1 – 0С/24Т; 2 – 12С/12Т; 3 – 24С/0Т.

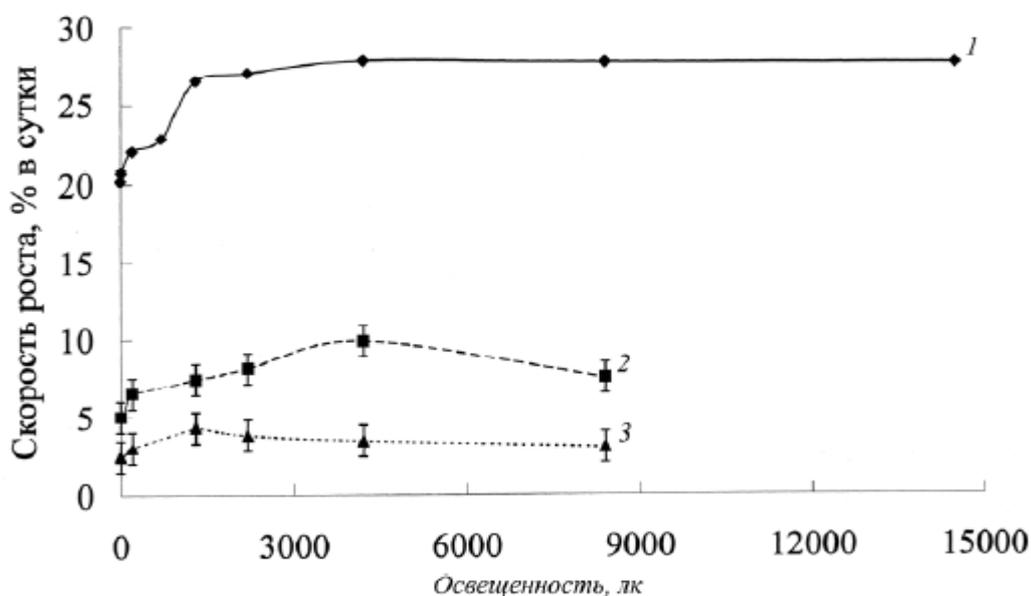


Рисунок 1.5 - Скорость роста карпа при постоянной освещенности:

1 – личинки массой 8–12 мг., 2 – сеголетки массой 0.5–2.58 г., 3 – сеголетки массой

У сеголеток массой 3.8–4.1 г. рост происходит в другом темпе – пик роста замечен при освещенности 1300 Лк. Это связано с постепенным переходом к придонному образу жизни. Наихудший темп роста личинок и молоди происходит при выключенном освещении, т.е. в темноте.

Таким образом, можно выделить, что для различных видов рыб характерен определенный уровень освещенности на разных стадиях роста. Для

взрослого карпа и других придонных представителей аквакультуры, оптимальный диапазон освещенности смещен в сторону низких значений. Для обитателей поверхностных слоев, например, личинок карпа, оптимален более высокий уровень освещенности. Т.е. чем взрослее рыба, тем на большей глубине она обитает, и меньшая освещенность ей требуется.

1.3 Анализ технологий и технических решений установок очистки оборотных вод рыборазведения

Проанализируем методы очистки сточных вод рыбоводческих предприятий, расположенных вневодных акваторий (пруды и бассейны рыборазведения) [34]. 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). В основном, технологические схемы представляют сочетание механических (различные варианты микросеток) и биологических методов (преимущественно, биофильтры и аэротенки). В основе технологии биологической очистки лежит использование активного ила или биопленки, представляющих сообщество аэробных и анаэробных микроорганизмов, а также микроводорослей.

При построении системы водооборота рыбоводческих предприятий, исходя из состава воды, необходимо рассматривать совокупность всех одновременно протекающих процессов трансформации загрязнений в блоках очистки, изъятия их в виде осадков, прирастающей биомассы, выделения вторичных загрязнений [35].

Для очистки продувочных вод технологическая схема дополняется узлом доочистки, чаще всего, с применением адсорбции.

Методы водоочистки подразделяются в зависимости от состава загрязняющих веществ на физико-механические, физические, химические и биологические. Выбор системы очистки, состав сооружений строятся на основе использования комплекса методов, состав которых определяется видами загрязнений, расходами и неравномерностью притока вод, климатическими условиями и т. п.

Загрязнения вод подразделяются на органические, минеральные, биологические. В список эпидемиологических требований по составу воды входит ряд показателей, в том числе тяжелые металлы, растворенный кислород, нефтепродукты, микробное число, бактерии группы кишечной палочки, яйца гельминтов. По этим же показателям оценивается качество воды рыбоводных водоемов.

Важно, что одним из источников растворенного кислорода в воде (около 100%) является процесс фотосинтеза мелких одноклеточных водорослей, фитопланктона. Но следует учитывать кислород из атмосферы.

Эффективно работать очистные сооружения могут в определенном диапазоне концентраций загрязняющих веществ и расхода сточной воды. В ходе производственных процессов могут возникать колебания данных величин. Для их усреднения в начале очистных сооружений, бывает и на последующих этапах очистки, предусматривают проектирование усреднителей. Что позволяет не только усреднять поток по концентрации, но и смешивать потоки с разных линий технологического процесса.

Таким образом можно составить следующий перечень методов очистки сточных вод [17, 18, 36]:

- 1) механическая очистка (решетки, песколовки, отстойники);
- 2) биологическая очистка (от органических веществ);
- 3) физико-химическая очистка (в ее основе лежат процессы, подчиняющиеся физико-химическим законам).

Для более эффективного удаления загрязняющих веществ может в систему включают предочистку [17, 18, 36]. Ее применение, как самостоятельный метод, так и в совокупности с другими этапами очистки.

Очистные сооружения для удаления взвешенных веществ, растворенных примесей в виде отдельных ионов, молекул или комплексов молекул более детально имеют следующую последовательность [17, 18, 36]:

- 1) усреднение сточных вод;
- 2) решётки, песколовки, отстойники, флотация для очистки от грубодисперсных веществ, гидроциклоны, центрифуги;
- 3) коагуляция, флокуляция, электрокоагуляция для удаления коллоидно-дисперсных примесей;
- 5) обработка на фильтрах с различной загрузкой (песчано-гравийной, антрацитовой и т.д.);
- 6) дегазация, адсорбция, экстракция удаляют молекулярных примесей путём;
- 7) ионный обмен, дистилляция, ультрафильтрация, электродиализ, мембранные методы применяются для очистки вод от ионных загрязнений;
- 8) биологическая очистка сточных вод методами аэрации и биофильтрации;
- 9) глубокая очистка, проводимая на фильтрах различной конструкции через слой загрузочного материала;
- 10) обеззараживание сточных вод.

Для предотвращения гибели экосистемы водоёма из-за уменьшения содержания кислорода за счёт минерализации органических примесей, сточную воду насыщают кислородом искусственно. Так происходит интенсификация процессов очистки сточной воды.

1.4 Анализ разработки и исследований по очистке оборотных вод рыборазведения

Одной из основных стадий очистки сточных вод является биологическая обработка. В процессе биологической очистки удаляются растворённые и коллоидные органические загрязнения, а также осуществляется сорбция многих бионеразлагаемых загрязнений техногенного происхождения. Соединения азота удаляются из сточных вод достаточно сложно, от концентрации и вида которых, зависит состав очистных сооружений и длительность обработки.

Для осуществления глубокой биологической очистки сточных с полным окислением проектируются биофильтры и аэротенки полного окисления органических загрязнений без процессов нитри-денитрификации. Важно отметить, что после применения в схеме очистки сточных вод биофильтров сложно модернизировать очистные сооружения для глубокого удаления соединений азота (процессов нитри-денитрификации). Что не относится к аэротенкам полного окисления: в них могут быть организованы анаэробно-аэробные зоны для осуществления процессов нитри-денитрификации [17, 18, 36].

Поддержание в биологической системе определённого возраста активного ила необходимо для того, чтобы проводить более эффективно очистку сточных вод с процессами нитри-денитрификации.

Активный ил - это «живой организм», состоящий из микроорганизмов и микроводорослей, которые за счет окисления органических веществ из сточной воды, таким образом, осуществляют биологическую очистку.

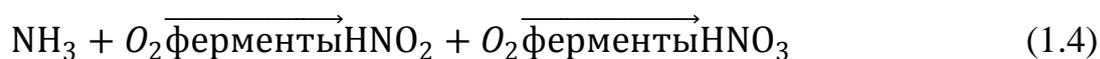
Поскольку активный ил-это живая система, то ее жители распределены в ней по трофическим уровням. I трофический уровень образуют гетеротрофные бактерии, водоросли, сапрофитные грибы и сапрофитные простейшие; II уровень - голозойные простейшие; III трофический уровень - это отдельные виды нематод, хищные коловратки, инфузории, тихоходки, хищные грибы. Могут наблюдаться кольчатые черви. Практика эксплуатации сооружений

биологической очистки сточных вод показывала, что количество трофических уровней как правило равно двум.

Экосистему активного ила образуют микроорганизмы с различными пищевыми потребностями. Их видовое разнообразие зависит от степени окисления органических загрязняющих веществ.

На эффективность очистки оказывает влияние наличие многокомпонентных ферментных систем. Ферменты находятся в цитоплазме и околоцитоплазменных структурах клетки. Могут быть так же на ее поверхности и выделяться в окружающую среду. Активный ил по сравнению с природными биоценозами значительно подвержен внешнему влиянию, в том числе антропогенному, нежели внутреннему. В нем важно присутствие организмов, которые могут одновременно окислять большие количества разнообразных субстратов. В этом выражается еще одно преимущество активного ила с большим видовым разнообразием перед более обедненными экосистемами [37, 38].

Суммарные реакции биохимического окисления органических веществ в аэробных условиях схематично можно представить в следующем виде:



где, $C_xH_yO_zN$ – все органические вещества сточных вод, $C_5H_7NO_2$ – среднее соотношение основных элементов в клеточном веществе бактерий.

Реакции 1.1-1.4 описывают процесс окисления вещества на энергетические потребности клетки, синтез клеточного вещества, и так называемое «дыхание клетки». Затраты кислорода на эти реакции составляют $BPK_{\text{полн}}$.

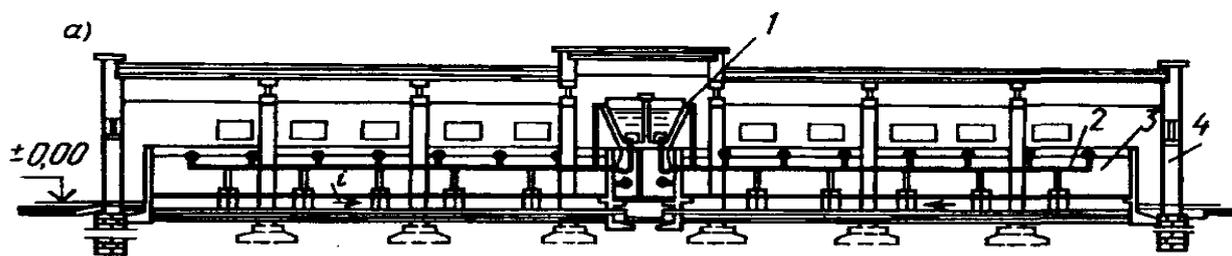
Практически неосуществимо поддерживать заданный возраст ила в сооружениях с иммобилизованной микрофлорой. В таких сооружениях

глубокая степень очистки от соединений азота возможна при работе их в режиме (по времени пребывания сточных вод) продленной аэрации. Недостатком таких сооружений по сравнению с сооружениями полного окисления является их объем, увеличенный в 1,5-2 раза. Что сказывается и на стоимости как капитальных затрат на строительство больших конструкций и энергетических затрат на аэрацию, и на стоимость увеличенного загрузочного материала. Таким образом, применение сооружений с прикрепленной микрофлорой (биофильтры, биореакторы) должно быть оценено с нескольких позиций для выбора наиболее выгодного варианта и с точки зрения эффективности очистки, и с экономической точки зрения.

В основном, биофильтры применяются на очистных сооружениях небольшой производительности. Желательно, чтобы после прохождения через сооружения механической очистки, на дальнейшие этапы очистки сточные воды поступали самотеком. Поэтому на выбор типа сооружений биологической очистки еще влияет рельеф местности.

Биофильтры могут работать в режиме полной и неполной биологической очистки, различаются между собой по загрузочному материалу (его форма, состав) [17, 18, 36].

Впервые капельные биофильтры для расхода сточных вод около $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ были показаны миру в далеком 1893 г. в Великобритании (рис. 1.6).



1 — дозирующие баки сточной воды; 2 — спринклеры; 3 — загрузочный материал; 4 — стены биофильтра.

Рисунок 1.6 - Устройство капельного биофильтра:

Таблица 1.5 - Биофильтры с плоскостной загрузкой

№ п/п	Тип загрузки	Материал элементов	Плотность загрузки, кг/м ³	Пористость, %	Высота слоя, м
1	Жесткая засыпная загрузка	Керамические, пластмассовые, металлические засыпные элементы	100-600	70-90	1-6
2	Жесткая блочная загрузка	гофрированные или плоские листы, объемные элементы из пластмассы и асбестоцемента	40-100	90-97	2-16
3	Мягкая или рулонная загрузка в виде каркасов или рулонов	Металлические сетки, пластмассовые плени, синтетические ткани (нейлон, капрон)	5-60	94-99	3-8

Сточная вода, пройдя очистку в первичных отстойниках, подавалась в распределительные устройства в виде капель или струй. Через дренаж или открытую поверхность биофильтра осуществлялась естественная вентиляция. Сооружения имели нагрузку, составляющую 0,5—2 м³/сутки на 1 м³ объема загрузочного материала.

Таблица 1.6 Биофильтры с объемной загрузкой

№ п/п	Тип фильтра	Крупность фракций, мм	Высота слоя, м	Плотность материала, кг/м ³	Пористость, %
1	Капельные	20-30	1-2	500-1500	40-50
2	Высоконагружаемые	40-60	2-4		
3	Башенные	60-80	8-16		

Для отделения воды от выносимой биопленки, устанавливают вторичные отстойники. Одним из важных условий эффективной работы сооружений является нагрузка на биомассу - при превышении допустимой нагрузки,

происходит ускоренное заиливание поверхности капельных биофильтров, что резко снижает их эффективность.

Возможны одно- и двухступенчатая схемы установки биофильтров, а также режимы работы с рециркуляцией и без нее (рис. 1.7).

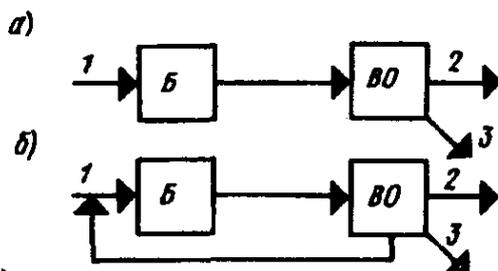


Рисунок 1.7 - Схемы работы биофильтров:

а — одноступенчатая; б — одноступенчатая с рециркуляцией; 1 — подача сточных вод после сооружений механической очистки; 2 — биологически очищенные сточные воды; 3 — избыточная (отмершая) биопленка.

По конструкции капельные биофильтры могут быть круглыми или прямоугольными в плане, со сплошными стенками и двойным дном, верхним в виде колосниковой решетки и нижним — сплошным.

В качестве загрузочного материалами биофильтров используют щебень, гравий и гальку. Загрузка биофильтров по высоте выбирается одинаковой крупности, но для нижнего поддерживающего слоя должен применяться материал более крупной фракции.

Известны так называемые аэрофильтры, высоконагружаемые биофильтры, в которых окислительная мощность превышает мощность капельных биофильтров (рис. 1.8.). Вследствие чего — меньшее заиливание и лучший обмен воздуха в сооружении [34].

Очень важна в работе биофильтров форма, размер и высота загрузочного материала. От этого зависит продолжительность фильтроцикла, и последующая продувка материала. В высоконагружаемых биофильтрах осуществляется искусственная продувка еще и благодаря особенностям конструкции днища и дренажа [5, 6, 7].

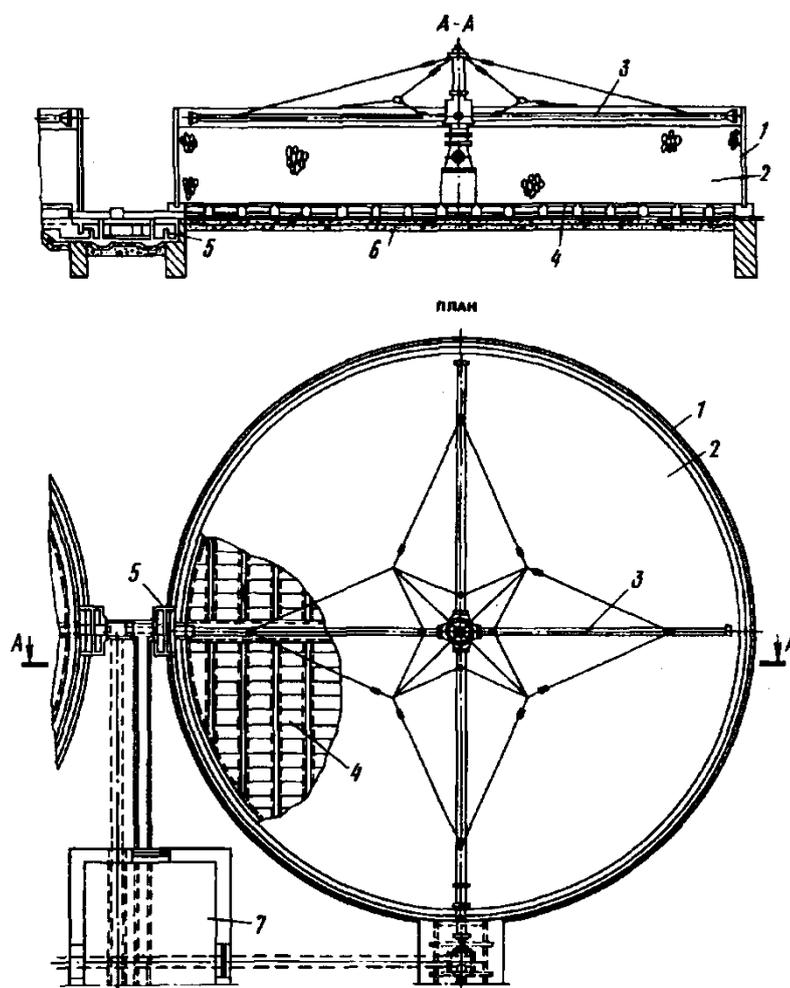
Зачастую вода из рыбоводных бассейнов имеет относительно невысокие концентрации загрязняющих веществ. В технологические схемы очистки воды от приведенного состава загрязнений в системах оборотной водоподготовки включают блоки механической и биологической очистки. Чаще всего, применяют такие сооружения, как фильтры и флотаторы.

Для биологической очистки используют биофильтры, очистка в которых в большей мере отвечает требованиям качества воды в рыборазведении. Их преимущества:

- интенсификация процессов очистки проходит, в основном, за счет создания в биологическом блоке высоких концентраций биомассы;
- обеспечение условий для жизнедеятельности микроорганизмов с учетом их происхождения (гетеротрофы и автотрофы) и распределения по трофическим уровням;
- уменьшение затрат на аэрацию воды.

Эффективной работе биофильтров способствует также повышенный водообмен, потому что облегчается распределение жидкости на входе в сооружение, улучшаются его гидродинамические характеристики, увеличивается коэффициент полезного использования поверхности грузочного материала [35].

Как уже отмечалось, большое распространение для выращивания рыб получила технология с повторным использованием воды, так называемые установки замкнутого водоснабжения (УЗВ). Рециркуляция подходит для выращивания рыб, креветок, двустворчатых моллюсков и т.д. Она не только облегчает процесс рыборазведения, но и позволяет снизить его негативное воздействие на окружающую среду. Для эффективной работы такой технологии с повторным использованием воды требуется грамотное проведение процесса, внедрение автоматизированных систем.



1 — корпус; 2 — загрузка; 3 — реактивный ороситель; 4 — дренажная решетка; 5 — гидравлический затвор; 6 — сплошное днище; 7 — вентиляционная камера.

Рисунок 1.8 - Высоконагружаемый биофильтр:

Влияние внешних факторов на микроорганизмы в процессах биологической очистки вод

Эффективность процессов биологической очистки вод зависит от многих факторов, большинство из которых поддается изменению и регулированию в широких диапазонах. К основным факторам, определяющим эффективность рабочих режимов и степень очистки сточных вод, помимо гидродинамических, относятся [19, 23, 36]: температура, активная реакция среды, биогенные элементы, уровень питания, кислородный режим, токсические вещества, освещение.

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. Однако данный метод с учетом влияния на выращивание рыб не рассматривался применительно к процессу очистки вод рыбоводческих хозяйств. Поэтому актуальным является исследовать совокупные поведенческие реакции симбиотического сообщества в среде выращивания аквакультуры при освещении, рассмотрев дополнительное насыщение кислородом от микроводорослей, снижение при этом интенсивности аэрации, а также влияние на аквакультуру.

Влияние лучистой энергии. Воздействию света постоянно подвергаются все организмы, населяющие земную поверхность. Для фототрофных организмов, содержащих в клетках пигмент типа хлорофилла, свет является необходимым условием питания и жизни. Используя энергию солнечных лучей в процессе ассимиляции, фототрофные микроорганизмы строят из пищи вещества собственной природы. Ненормально развиваются в темноте плесени: они дают хорошо развитый мицелий, но совершенно не образуют спор.

Исследованиями установлено, что некоторые виды излучений оказывают на микроорганизмы стерилизующее действие. Этими формами лучистой энергии являются: солнечный свет, ультрафиолетовые лучи, лучи Рентгена, радиоактивные излучения, ультракороткие радиоволны. Эффективность воздействия различных лучей зависит от дозы облучения. Кроме того, весьма существенную роль играет при этом и длина волны, проницаемость среды, интенсивность и продолжительность облучения. Малые дозы облучения могут даже активировать отдельные жизненные функции микробных клеток (например, рост клетки, обмен веществ). Высокие же дозы облучения, как правило, действуют летально.

Бесцветные сапрофиты в энергии солнечных лучей не нуждаются, наоборот, свет оказывает на них вредное влияние, подавляющее их развитие [39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

Наглядно демонстрирует летальное действие солнечных лучей на микробах опыт В. И. Палладина [50, 51]. Питательную среду в чашках Петри он засеивал сибиреязвенными бактериями, затем некоторое время подвергал чашки воздействию прямого солнечного света с последующим помещением их в термостат для выращивания. В тех чашках, которые подвергались лишь кратковременному воздействию солнца, наблюдался обильный рост колоний. Но чем дольше находились чашки Петри под воздействием солнечных лучей, тем все более ослабевал рост микробов. Основная масса их погибла за 10-20 мин облучения. После 70-минутной выдержки на солнечном свете в чашках не выросло ни одной колонии.

С другой стороны, свет является главным фактором роста и развития растений, энергией, которая необходима для развития водорослей. Растение из света и углерода производит новые клетки, вещества типа хлорофилла. Под его воздействием проходит фотосинтез – процесс разложения воды и углекислого газа с последующим построением из водорода, углерода и кислорода всевозможных видов органических соединений.

Большое значение имеет солнечный свет для самоочищения рек. В прозрачную воду солнечные лучи проникают на глубину до 2 м, их проникающая способность резко снижается при наличии взвесей в воде. В сильно загрязненную воду световые лучи могут проникнуть лишь на глубину до 0,5 м. В почве действие света также сказывается только в поверхностном слое - на глубине 2-3 мм.

Таким образом, важным направлением исследований является выбор энергосберегающих источников освещения и разработка технических решений по освещению биомассы в условиях повышенных концентраций биомассы: в аэротенках с плавающей и прикрепленной биомассой, а также в биофильтрах. Поскольку биомасса в аэробных реакторах представляет собой альгобактериальное симбиотическое сообщество микроорганизмов и водорослей, то актуальным является проанализировать поведенческие реакции водорослей применительно к процессу очистки вод рыбоводческих хозяйств.

1.5 Выводы по 1-й главе и уточнение задачи исследований

1. Аквакультура – одно из важнейших направлений сельского хозяйства, и с 2006 г. входит в приоритетный национальный проект сельскохозяйственной деятельности России. Тип рыбоводного хозяйства формируется в зависимости от использования для рыборазведения классических прудов, озер, лиманов и других водоемов. Соблюдение норм содержания вод для выращивания аквакультуры способствует сохранности вида, его плодовитости, качеству потомства и его росту, а также не создают условий развития различных заболеваний.

2. Разнообразие хозяйств по выращиванию объектов аквакультуры определяется географическим положением, уровнем экономики, сложившимися традициями, наличием, состоянием и мощностью водных источников т. д. Это позволяет создавать и оптимизировать технологические схемы очистки вод, которые зависят в свою очередь от вида разводимой аквакультуры.

3. Аквакультура имеет значимое воздействие на окружающую среду, потребляя ресурсы и выделяя химические вещества, что определяет ее специфическое влияние на экосистемы. Регулируя технологические факторы аквакультуры, влияющие на окружающую среду, возможно оптимизировать условия выращивания рыб.

4. Комплексное изучение воздействия биотических и абиотических факторов позволило установить требуемые показатели состава вод для рыборазведения, мг/л: O_2 - (7–11); O_3 - (0,5–4); CO_2 - (до 10); мутность - (< 25); БПК_п – (1–4); NH_3 - (0,01–0,07); NH_4^+ (< 1,0); NO_2^- - (<0,2); PO_4^{3-} - (0,8); Fe – (< 2); токсичные вещества и нефтепродукты - (< 0,01); pH 6,5–8; H_2S – недопустимо.

5. Анализ показал, что для каждого представителя аквакультуры имеется свой фотопериод и спектр освещенности, при которых улучшаются условия роста и развития рыб, которые определяются экспериментально и которые определяют требования к составу среды обитания, т. е. используемой воды.

6. Выявлены основные параметры биологической очистки сточных вод применительно к предприятиям рыборазведения. В основе технологии биологической очистки лежит использование активного ила или биопленки, которые являются действующим началом, первопричиной деструктивных биохимических процессов.

7. 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. Однако данный метод с учетом влияния на выращивание рыб не рассматривался применительно к процессу очистки вод рыбоводческих хозяйств.

Уточнение задач исследований:

На основании проведенного анализа литературных источников конкретизируются отдельные пункты общих задач исследований по диссертационной работе:

- проанализировать по литературным источникам особенности биологической очистки сточных вод рыбоводческих предприятий;
- исследовать возможность прироста массы аквакультуры, а также повышение эффективности биологической очистки за счет внедрения искусственного освещения;
- рассмотреть возможность применения микроводорослей хлореллы в процессе водоочистки, и дальнейшее ее использование в качестве кормовой базы.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОРАЗВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ. КУЛЬТИВИРОВАНИЕ БИОЦЕНОЗА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ

2.1 Особенности культивирования микроводорослей хлорелла для очистки вод

Хлорелла является микроскопическим представителем зеленых водорослей. Стоит отметить ее уникальность по сравнению с другими похожими растениями- это обладание большим количеством полезных свойств. Из-за чего хлореллу применяют в различных областях деятельности человека: медицине, в пищевой промышленности, сельском хозяйстве, водоочистке, энергетической промышленности и другое [52].

Использование суспензии хлореллы в рыбоводных прудах дает увеличение кормовых водных организмов, улучшается гидрохимический состав водоемов, особенно растет содержание кислорода. Следствием «хлорелловой процедуры» является увеличение продуктивности рыбных водоемов в среднем на 30-40%.

Хлорелла (*Chlorella*) относится к виду зеленых водных растений (*Chlorophyta*), порядка хлорококковых (*Chlorococcales*) и семейству хлорелловых (*Chlorellaceae*). Род хлорелла содержит в себе ряд признаков одноклеточных водных растений с хроматофорами зеленоватого цвета и размером клеток от 1,5 до 10 микрон. Клеточная оболочка состоит из полисахарида, спорополленины и природной целлюлозы. После оболочки расположены цитоплазма, ядро, хлоропласт, вакуоль, крахмальные зерна [53, 54].

В основном, рыбоводные водоемы заселены сине-зелеными водорослями трех родов: *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena variabilis*, *Aphanizomenon flos-aquae* [13, 14, 15]. Если в пруду развивается такой представитель, как

Planktothrix agardhii, то в воде появляются неприятные запахи. Эвтрофикация воды - это сложная проблема в рыбоводстве, из-за нее ухудшается кислородный режим. Так же с гибелью сине-зеленых водорослей в воду выделяются токсины, которые отрицательно влияют на жизнедеятельность рыб, даже приводят к их летальному исходу. Поэтому в настоящее время распространена альголизация водоемов рыбного промысла штаммами хлореллы. Наибольшее распространение получил штамм *Chlorella vulgaris* [25, 50, 51].

Химический состав клетки *Chlorella vulgaris* представлен белками, аминокислотами, витаминами и многим другим, что дает преимущества по сравнению с остальными водными и почвенными растениями. Данные представители рода хлореллы имеют высокий коэффициент полезного действия фотосинтетической активной радиации, около 3,6%.

Для нормальной жизнедеятельности культуры хлореллы необходимо контролировать содержание углекислого газа. Насыщение им идет биологическим путем, а не искусственным - использование баллонной углекислоты. Так как хлорелла ведет себя как планктон, может свободно парить и равномерно распределяться в водной толще, то существует возможность обходиться без механического перемешивания суспензии. Разработана современная технология культивирования хлореллы, основанная на морфологических особенностях вида [43].

Процедура биоочистки представляет собой ежегодное занесение базисных и минеральных удобрений в пруд для того, чтобы сформировать подходящие среды для внесения штамма и последующего размножения микроводорослей. Оказываясь в водоеме, водоросли не оседают на дно, а располагаются в пласте воды в 40-120 см от поверхности, где они приступают энергично плодиться, потребляя минеральные удобрения, тем самым обогащая воду кислородом. Благодаря выделению кислорода уменьшается содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в воде [55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65].

Создание искусственного освещения по глубине пруда увеличит количество хлореллы и дальнейших трофических организмов, что в итоге повысит прирост массы аквакультуры, что требует анализа и экспериментальной проверки существующего опыта ее культивирования.

Хлорелла является фототрофом и, в отличие от гетеротрофных микроорганизмов, нуждающихся в органическом питании, может синтезировать биомассу из углекислого газа и минеральных элементов за счет фотосинтеза. Поэтому важно решить задачу культивирования микроводорослей в зависимости от области применения.

2.2 Методика и опыт культивирования хлореллы «in vivo»

История по выращиванию микроводорослей, особенно *Chlorella*, на твердых средах начинается с работ О.Варбургом в Берлине [66, 67, 68, 69, 70, 71]. В Институте Океанографии ученые Вудс Хоулв США Б.Кетчум и А.Редфилд разработали методику поддержания в больших объемах непрерывных культур морских диатомовых водорослей для химических анализов. Заключается она в следующем: периодический сбор урожая в подобранной пропорции сухого вещества в критический момент кривой роста, пока оставшаяся популяция развивается и растет до сбора нового урожая. Таким образом Б.Кетчум дополнительно добился роста оптимального урожая клеток и других представителей одноклеточных водорослей. Этим непрерывающимся методом культивирования пользуются до сих пор в сельском хозяйстве, поскольку он позволяет получить необходимое количество фитопланктона для корма морских животных за короткий срок [70, 71].

В Техасском Университете в Остине Д.Майерсом и Л.Кларком был разработан похожий метод для культивирования *Chlorella* в непрерывных условиях. Установка была выполнена в виде вертикальной камеры в форме рукава, освещенной вертикальной трубчатой лампой так, чтобы эффективное освещение не зависело от общего объема раствора. Клетки собирались вручную

через определенные интервалы, при этом оставляли небольшой объем раствора для препарата с живыми культурами. Микроводоросли *Chlorella* была объектом для получения продовольствия.

В Институте Карнеги Стенфордского Университета в Калифорнии Х.Споер и Х.Милнер продолжили исследования по применению лабораторных методов для непрерывного промышленного культивирования хлореллы. Этими исследованиями занимался П.Кук в Стенфордском Исследовательском Институте, который один из первых построил небольшой пилотный завод [72, 73].

В другом немецком городе - Геттингеме ученые Р.Хардер и Х.Уич вели эксперименты по массовому культивированию диатомовых для определения возможности получения жиров из этих культур [68, 69, 70, 71, 72, 73, 74].

В ходе проведенных исследований было установлено, что для повышения урожайности хлореллы (замеры были проведены) по сухому весу необходимо улучшить технологию культивирования и осуществлять ее в более подходящих климатических зонах [75].

Позже, в конце 1940-х - в начале 1950-х годов так же в Германии, проводились работы по промышленному производству хлореллы Х.Витшем, Ф. Гуммертом [68]. Хлореллу выращивали в оранжереях и на открытом воздухе в Эссене. Примерно в это же время в Японии под руководством Х.Тамия в Токийском институте была запущена серия лабораторий и заводов по культивированию хлореллы [76]. Научный коллектив из Японии достиг успехов в интродукции- культивировании хлореллы в новых природных условиях, а также методике координации индивидуальных жизненных циклов в популяции клеток, так называемая синхронизация. Что являлось большим прогрессом для экспериментальной работы в физиологии водорослей и использовалось для модификации других методик [77].

В России большой вклад в исследования по культивированию микроводорослей внесли А.А. Ничипорович в созданной им лаборатории при

Институте физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР, а также его ученики В.Е. Семенко, М.Г. Владимирова, Г.Л. Клячко-Гурвич, Б.В. Габель.

В основном, методики культивирования хлореллы основаны на фотосинтезе микроводорослей, осуществляемом в фотобиореакторе с использованием искусственного освещения [78].

Фотобиореактор – это устройство, в зависимости от целей выращивания хлореллы (научных исследований, для нужд различных областей промышленности), ее объемов, может иметь различные конструкции и работать в автоматическом или полуавтоматическом режимах. В этом устройстве можно создать необходимый диапазон температуры культивирования около 22-45 °С.

Источником света в фотобиореакторах служат лампы накаливания, кварцевые галогенные с отражателями, зеркальные лампы, люминесцентные. Но перечисленные лампы со временем стали уступать светодиодам, которые обладают такими преимуществами, как долговечность, использование при высокой влажности и другие [40, 78, 79].

Для своей жизнедеятельности хлорелла не требовательна к питанию, поэтому может работать со сточными водами различных составов. Но она имеет ряд «особенностей»:

- устойчива к засоленной воде, особенно с содержанием с высоким содержанием хлористого натрия;

- обладает антагонистическими свойствами к альгофлоре, бактериям, грибам, дрожжам и инфузориям;

- отсутствует половое размножение, рост хлореллы происходит за счет питания разнообразными веществами.

Сама клетка *Chlorella* содержат три уровня защиты клеточного ядра от воздействий внешних неблагоприятных факторов. Целлюлоза формирует среднюю часть оболочки, полимерный каротиноид - наружную, он абсорбирует токсические элементы и способствует их удалению из организма [80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87].

Одноклеточная зеленая водоросль *Chlorella*, не смотря на свои маленькие размеры, содержит уникальный набор витаминов, который можно использовать в качестве кормовой добавки [51]. В зависимости от питательных сред, на которых культивируется водоросль, в среднем в ее биомассе содержится около 10% минеральных веществ, 5—10% липидов, 35% углеводов и до 40—55% белка.

Как уже ранее отмечалось, что в настоящее время распространен методики культивирования хлореллы с применением освещения. Особенно, что касается вопросов использования хлореллы в водоочистке. Но стоит признать, что зачастую для выращивания микроводоросли используются неэффективные источники излучения, которые не учитывают спектр поглощения и фазы роста микроводоросли [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94].

На начальных этапах работ культивирования микроводорослей проводили исследования по воздействию светового потока на хлореллу. Известны научные работы по изучению влияния освещения на жизнедеятельность альгобактериального сообщества активного ила. В результате математической обработки полученных данных, как в лабораторных, так и промышленных условиях, были установлены параметры, влияющие на окислительные процессы экосистемы активного ила, одним из которых была длина волны используемого освещения [38]. Но следует еще учитывать такое понятие, как эффект дозы при освещении, т.е. чем больше ее величина, следовательно, тем выше уровень культивации [45]. Поэтому при проектировании установок для рекультивации хлореллы важно, чтобы объект получал достаточную для развития дозу освещённости.

На промышленное производство хлореллы существенное влияние оказывают климатические условия, вследствие чего культивирование осуществляется в искусственных водоемах и в установках закрытого типа. Искусственные водоемы приемлемы при колебаниях температуры в пределах 20–35°C. Россия - это страна четырёх времён года, и для культивирования хлореллы востребованы установки закрытого типа [95, 96].

В отечественной науке наиболее полные исследования по созданию и использованию установок закрытого типа были проведены Богдановым Н.И. В Ярославской сельскохозяйственной академии при химико-аналитическом отделе лаборатории генетического маркирования был собран прототип наиболее используемой установки культиватора [97].

Аппараты для культивирования хлореллы по конструкции выполнены зачастую в виде рабочих ёмкостей из прозрачных материалов с расположением снаружи по периметру требуемого количества источников освещения. Параллельно происходит перемешивание и аэрация культуры традиционными методами [98, 99].

Известны установки серии КМК (установка культивации маточной культуры) - КМК-150 (рис 2.1.), производительностью 50 литров суспензии в сутки.

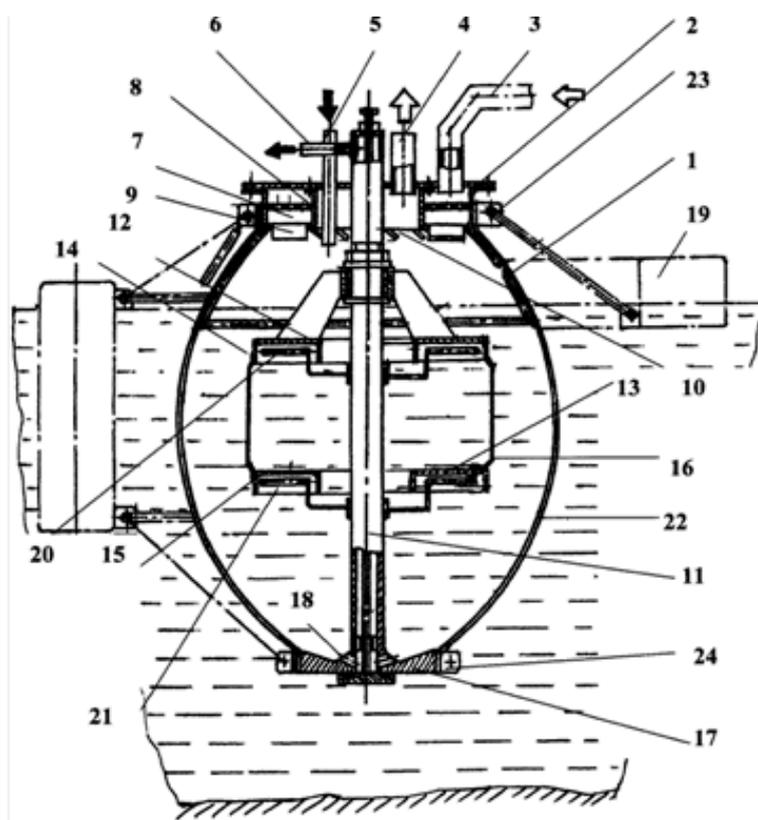


Рисунок 2.1 - ФБР типа КМК-150

Освещение в представленной конструкции располагается вплотную к прозрачным стенкам, с двух сторон. При этом может происходить нагревание культивируемой среды.

В начале XXI века проводились исследования и получены результаты по культивированию фотосинтезирующих микроорганизмов в биореакторе, погруженном и поддерживаемом в плавучем состоянии в природном или искусственном водоеме при температуре воды, благоприятной для роста фотосинтезирующих микроорганизмов в указанном водоеме. Как уже

отмечалось о популяризации водооборотного водоснабжения, то в представленном способе в качестве питательной среды использовали отфильтрованную воду водоема, в котором расположен биореактор. Разработанные решения позволяют повысить продуктивность фотосинтезирующих микроорганизмов при одновременном сокращении энергозатрат и упрощении обслуживания (рисунок 2.2) [100].



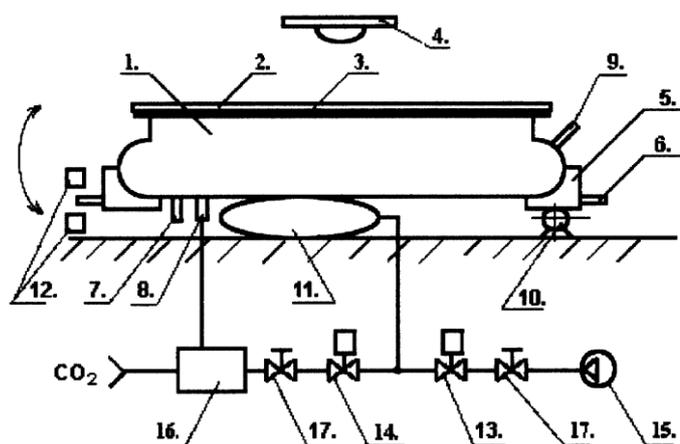
1 – емкость; 2-крышка; 3, 4-патрубки; 5, 6-патрубки подачи сырья и отвода готового продукта; 7-кольцевая полость; 8-цилиндрическая перегородка; 9-радиальные пластины; 10-тангенциальные щели; 11-вертикальная полая ось; 12, 13-кольцевые перегородки; 14, 15-поплавки; 16-вертикальные стойки; 17-дно ёмкости; 18-канал; 19-средство для удержания реактора на плаву; 20, 21-источники освещения; 22-съёмная оболочка; 23, 24-крепления установки.

Рисунок 2.2 - Биореактор для культивирования автотрофных микроорганизмов:

Предшественником описанной выше конструкции биореактора была установка, состоящая из емкости с теплообменником, системы подвода

питательных веществ и слива готового продукта, водоохлаждаемый источник света помещен в полость между двумя соосными дисками, соединенными по периферии лопастями. Нижний диск снабжен глухим перевернутым стаканом, в полости которого размещена нижняя опора перемешивающего устройства. Оно создает центробежную силу, из-за которой жидкая культура, поднимаясь по стенкам биореактора, образует гидравлическую воронку с расположенным в ней источником света. При этом температура охлаждающей воды ниже температуры жидкой культуры, что дает конденсацию паров влаги и их стекание вниз, исключая обрастание источника света микроорганизмами.

Также в отечественной практике культивирования хлореллы существует так называемая культивационная ванна [101]. Она имеет светопропускающую крышку, технологические штуцеры, устройство перемешивания суспензий, источник освещения и термостат. Ванна установлена на основании при помощи шарнирной опоры. Устройство перемешивания суспензии выполнено в виде пневмокамеры, размещенной под дном ванны по одну сторону с ее центром тяжести относительно шарнирной опоры. Пневмокамера подключена к компрессору и снабжена клапанами для подачи и отвода воздуха из нее (рисунок 2.3).



1-культивационная ванна; 2 –светопропускающая крышка; 3-уплотнение; 4-источник освещения; 5-термостат; 6, 7, 8-штуцеры; 9-датчик контроля; 10-шарнирная опора; 11-пневмокамера; 12-датчики положения ванны; 13, 14-электромагнитные клапаны; 15-компрессор; 16-ресивер; 17-вентили.

Рисунок 2.3 - Устройство для выращивания автотрофных микроорганизмов:

Расход углекислого газа и воздуха определяется по формуле 2.1 [102]:

$$P = \frac{p}{2} \left(\frac{V}{0.785d^2} \right)^2. \quad (2.1)$$

где, P – давление газов;

d – внутренний диаметр трубопровода, по которому осуществляется подвод газов к ФБР, м;

p – плотность газов, кг/м³;

V – расход газов, м³/с.

Расход воздуха определяется по формуле 2.2:

$$V = 1.11d^2 \sqrt{\frac{P}{p}}. \quad (2.2)$$

Давление воздуха определяется по уравнению Менделеева-Клапейрона 2.3:

$$pV = nRT, \quad (2.3)$$

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

Расход воздуха и углекислоты зависят от уровня освещенности и определяют жизнедеятельность хлореллы.

В свою очередь источником света могут служить как солнечный свет, так и искусственные источники освещения, среди которых наиболее приоритетными являются светодиодные элементы [103].

В общем случае освещенность может быть определена по известным зависимостям [103].

Данные показатели требуют экспериментального определения в лабораторных и опытно-промышленных условиях.

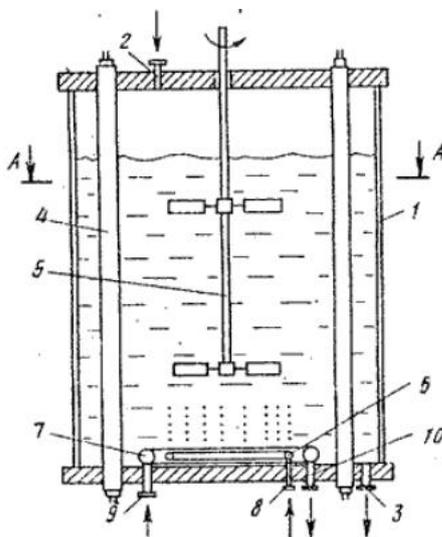
Такое устройство позволяет более полно перемешивать культивируемую среду, тем самым позволяя проникать освещению в весь объем сооружения.

В настоящее время появились конструкции аппаратов с источниками света внутри рабочих ёмкостей (рис. 2.4), при этом источники служат отражательными перегородками [40, 41, 42, 79].

На российском промышленном и научно-исследовательском поприще фотобиореакторы классифицируются по таким критериям: конструкция резервуара в виде куба или трубы, открытый или закрытый, тип освещения естественный или искусственный [78].

Но имеется ряд недостатков в существующих конструкциях:

- низкий уровень применения автоматизации в управлении процессом культивирования хлореллы;
- в качестве источника света использование в закрытых установках люминесцентных и лам накаливания;
- поиск новых решений по улучшению форм фотобиореакторов [78].



1-емкость; 2- патрубок для подвода питательной среды; 3 -патрубок для отвода питательной среды; 4 -источник искусственного света; 5 –лопастная мешалка; 6 - барботер; 7- теплообменник; 8- патрубок для подвода газа; 9- патрубок для подвода хладагентов; 10- патрубок для отвода хладагентов.

Рисунок 2.4. Конструкция аппарат с источником света внутри ёмкости:

Для внедрения элементов искусственного освещения в установки культивирования микроводорослей хлореллы и в установках водоочистки и бассейнах с аквакультурой, а также анализа влияния биотических и абиотических факторов, требуется проведение систематизированных исследований применительно к условиям рыборазведения:

- эксперименты по выявлению внешних факторов и степени их влияния на процесс культивирования микроводорослей хлореллы;
- анализ искусственных источников освещения и эксперименты по их влиянию на процесс культивирования микроводорослей, разработка методики подбора источников освещения от условий требуемой освещенности;
- анализ существующих установок по культивированию микроводорослей и разработка опытной установки;
- выполнить полупромышленные и промышленные испытания, оценить экономическую эффективность применения осветительных элементов.

2.3 Описание установок культивирования хлореллы. Обоснование конструктивного решения осветительного элемента

Примером культиватора хлореллы может служить патент 631119 СССР (рисунок 2.5): на металлическом каркасе 1 установлены тарелки 2 одна над другой, выполненные из прозрачного материала, с загрузочными патрубками 3, прозрачными колпаками 4, переливными перегородками 5 и сливными патрубками 6. Питательный раствор и суспензию хлореллы заливают в сборную емкость 7. С помощью насоса 8 с всасывающим 9 и напорным 10 патрубками, суспензия подается на верхнюю тарелку 2, заполняет ее по уровню переливной перегородки 5, и через сливной патрубок сливается на нижерасположенную тарелку. К колпакам 4 подведены трубопроводы 11, идущие от аэрирующего устройства. По ним подается аэрирующий газ, представляющий собой 3-5% смесь углекислого газа с воздухом. Под каждой тарелкой 2 установлены светильники 12. При сравнении с аналогами, данная конструкция выгодно отличается от аналогов, обеспечивая высокую эффективность питания углекислотой путем диффузии, и снижая ее расход.

Известны и другие конструкции культиваторов хлореллы - примерами могут служить установки закрытого типа, защищенные авторскими свидетельствами SU 1083979 A1 (1984) и SU 1570678 A1 (1990). В установках

открытого типа развивающаяся культура микроорганизмов насыщается углекислотой, а избыток проходит через толщу жидкости, поднимаясь к поверхности, и уходит в окружающую среду. Установки закрытого типа не позволяют углекислоте покинуть пределы культиватора и позволяют полностью контролировать концентрацию CO₂.

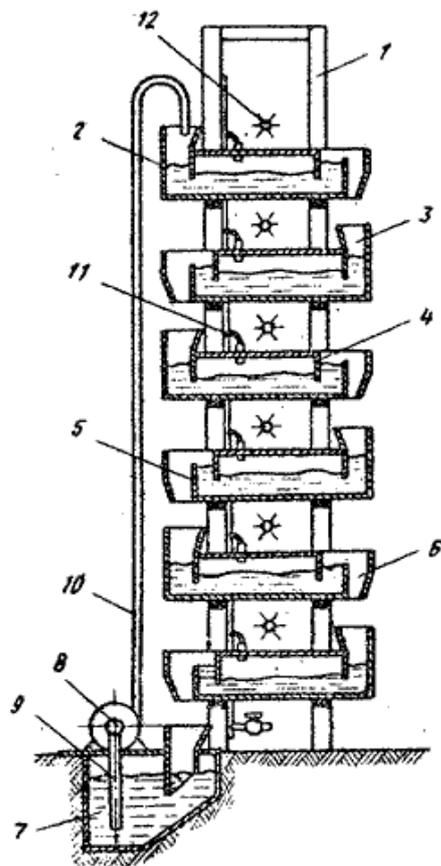


Рисунок 2.5 - Культиватор для выращивания хлореллы (патент 631119 СССР)

На рисунке 2.6 изображена модель культиватора для выращивания хлореллы, предложенная Адаменко А.И. и Шаповаловым Л.В., патент SU 1083979 A1 (1984). Ранее была предложена подобная модель культиватора закрытого типа с источниками освещения на вращающейся рамке, но требовала герметичных токосъемных устройств. Данный культиватор представляет собой емкость 1 в форме цилиндра из светопропускающего прозрачного материала, в которую по оси цилиндра заключен неподвижный источник освещения 3, заключенный в трубку 2, и снабженный системой очистки в виде рамной

мешалка 9 с эластичными очистителями 10. Приводится в действие механизм электродвигателем 11 через шестерни 12 и 13. Благодаря упрощенной конструкции культиватор достаточно надежен и позволяет повысить производительность культивирования.

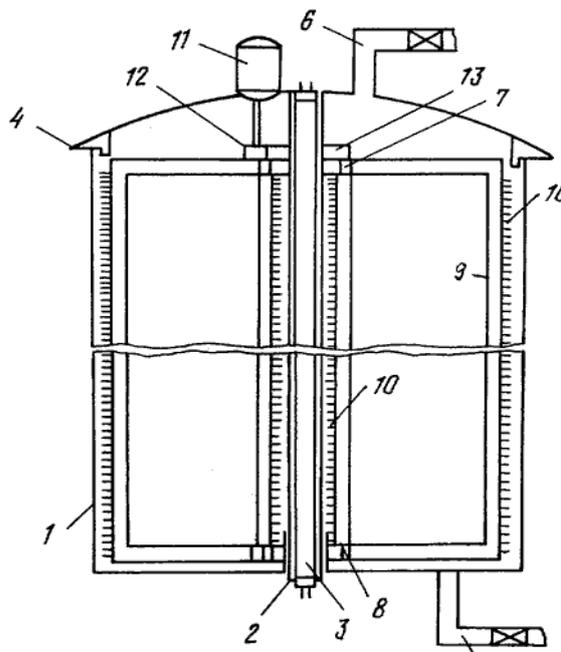


Рисунок 2.6 - Модель культиватора для выращивания хлореллы, предложенная Адаменко А.И. и Шаповаловым Л.В. (патент SU 1083979 A1)

На рисунке 2.7 изображена модель культиватора для выращивания хлореллы, предложенная Жаворонковым В.А., Зыковым Д.К., Воротниковым А.А., Махоткиным Т.А. и Казениным Д.А. (патент SU 1570678 A1, 1990). Авторы изобретения предлагают повышение производительности за счет увеличения степени турбулизации среды. Лопастные мешалки обеспечивают высокую степень перемешивания, что повышает кратность обновления открытого поверхностного слоя суспензии, на которую падают лучи освещения. Установка представляет собой емкость 1 с подающим патрубком питательной среды 2 и патрубком для отвода культивируемой суспензии 3. Перемешивание культивируемой среды осуществляется лопастными мешалками 5, а освещение вертикальными трубчатыми источниками 4. Углекислота поступает по патрубкам 8 на барботер 6, а температура

регулируется теплообменником 7 с патрубками для подвода хладагента 9 и 10. Преимуществом предложенной конструкции являются теплообменник и емкость закрытого типа, что позволяет поддерживать постоянную температуру среды и сокращает расход углекислоты. Недостатком является сложность очистки источников освещения.

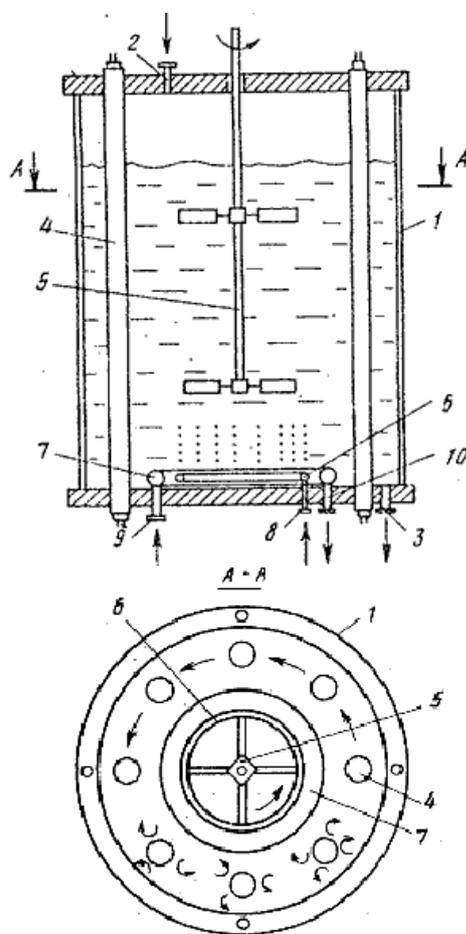


Рисунок 2.7. Модель культиватора для выращивания хлореллы, предложенная Жаворонковым В.А., Зыковым Д.К., Воротниковым А.А., Махоткиным Т.А. и Казениным Д.А. (патент SU 1570678 A1, 1990).

Таким образом, можно констатировать, что общими принципиальными элементами культиватора хлореллы являются емкость, в которой протекает процесс культивирования хлореллы, источник освещения, а также элементы подвода кислорода и механические мешалки, что следует учитывать при разработке новых конструкций.

2.4 Анализ источников освещения и установок аэрации

В качестве воздуходувок применяют устройства, сжимающие воздух. Основными параметрами, характеризующими воздуходувки, являются производительность и создаваемое избыточное давление. Требуемая производительность воздуходувок зависит от объема аэрируемой среды. Современное оборудование имеет высокий КПД, подача абсолютно безмасляного воздуха, имеет высокую долговечность и проста в обслуживании. Регулирование количества подаваемого кислорода осуществляется дроссельным клапаном, а управление производительностью воздуходувной станции происходит по сигналам датчика давления перед дроссельным клапаном.

В качестве элементов освещения в установке культивации микроводорослей применяются различные источники света – от бытовых ламп накаливания до светодиодных элементов.

Основными электрическими характеристиками источников света являются:

1. Номинальное напряжение – расчетное номинальное напряжение питающей электрической сети, при котором обеспечивается работа источника освещения в наиболее экономичном режиме, (В);
2. Номинальная мощность – потребляемая источником освещения мощность при включении на номинальное напряжение (Вт);
3. Номинальный ток – потребляемый ток при номинальном напряжении и номинальной мощности (А);
4. Тип тока – переменный или постоянный;

Основными световыми характеристиками источников света являются:

1. Световой поток – величина, характеризующая количество световой мощности в соответствующем потоке излучения, (Лм);
2. Сила света – средняя сферическая сила света (Кд) или яркость тела накала (Кд/м^2);

3. Цветовая температура – характеристика хода интенсивности излучения источника света как функции длины волны в оптическом диапазоне, (К);
4. Световая отдача – отношение светового потока к мощности, (Лм/Вт);
5. Стабильность светового потока – отношение величины снижения светового потока в конце и начале эксплуатации;
6. Полный срок службы – продолжительность работы источника света, (ч);
7. Полезный срок службы – продолжительность работы источника света при номинальных условиях, (ч);
8. Средний срок службы – срок службы источника света до выхода из строя, (ч);
9. Динамическая долговечность – срок службы источника освещения в условиях вибрации и тряски, (ч).

Излучаемый свет – является одновременно потоком частиц и волной. Спектр электромагнитных полей чрезвычайно широк – от сверхдлинных радиоволн (от 105 м) до гамма-частиц (10-16 м). Оптическое излучение находится в пределах трёх областей – ультрафиолетовая область (1-380 нм), видимая область (380-780 нм.) и инфракрасная область (IR-A=780 нм.-1400 нм.; IR-B=1400 нм.-3000 нм.; IR-C=3000 нм.-1 мм.) [104].

Традиционно видимую человеком область электромагнитных излучений называют – свет, и делят на 7 цветов (табл. №2.1) [105]

Таблица 2.1 - Характеристики цветов электромагнитных излучений

Цвет	Диапазон длин волн, нм.	Диапазон энергий фотонов, эВ	Диапазон частот, ТГц
Красный	780-625	1,59-1,98	385-480
Оранжевый	625-590	1,98-2,10	480-510
Жёлтый	590-565	2,10-2,19	510-530
Зелёный	565-500	2,19-2,48	530-600
Голубой	500-485	2,48-2,56	600-620
Синий	485-440	2,56-2,82	620-680
Фиолетовый	440-380	2,82-3,26	680-790

Мощность потока излучения (Лм), определяется отношением излучаемой энергии ко времени переноса, которое превышает период электромагнитных колебаний [106, 107]:

$$\Phi_e = W/t, \quad (2.4)$$

где, W_e – энергия, переносимая излучением, (Дж.);

t – время переноса, (сек.)

Излучение распространяется в определенном направлении, и характеризуется величиной телесного угла Ω (ср.), максимальные значения которого 4π :

$$\Omega = A/r^2, \quad (2.5)$$

где, A – площадь участка сферы радиусом r , ограниченной окружностью.

Сила излучения – физическая величина, равная отношению излучаемого потока к величине телесного угла:

$$I = \Phi/\Omega, \quad (2.6)$$

Сила светового потока определяется отношением силы излучения к величине телесного угла:

$$\Phi = I * \Omega = E_v * A, \quad (2.7)$$

Уровень освещенности поверхности, на которую падает излучение от светоизлучающего элемента [108], определяется по формуле:

$$E_v = \Phi / A, \quad (2.8)$$

где, E_v – освещенность (Лк),

Φ – величина светового потока (Лм),

A – освещаемая площадь, (m^2).

В случае, когда освещаемая поверхность находится не перпендикулярно к источнику освещения, а под углом α , то необходимо учитывать, что тот же самый световой поток распределяется на большую площадь $A_2 = A/\cos\alpha$, а, значит, освещённость будет зависеть от угла падения света α , (рис. 2.8).

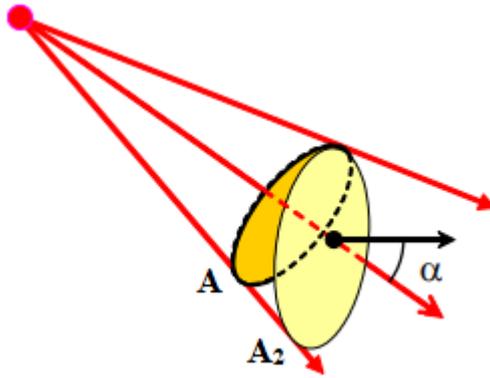


Рисунок 2.8 - Освещенность поверхности, находящейся под углом к источнику освещения

Используемые светодиоды, в отличие от традиционных источников освещения, имеют угол излучения Ω в пределах 15-180 град. В силу этого, освещаемая поверхность представляет собой окружность. Площадь окружности $S = \pi * r^2$. Т.е., зная угол излучения светодиодного элемента и расстояние от светодиода до освещаемой поверхности, можно вычислить освещаемую поверхность.

$$S = \pi * r^2 = \pi * b^2 * \text{tg}^2(\Omega / 2), \quad (2.9)$$

где, b – расстояние от светодиода до освещаемой поверхности,

Ω – угол излучения светодиодного элемента

Формула определения освещенности от источника освещения будет иметь следующий вид:

$$Ev = \frac{\Phi}{\pi * b^2 * \text{tg}^2(\Omega / 2)}. \quad (2.10)$$

Падающий на освещаемое тело световой поток, частично отражается от поверхности (Φ_r), поглощается средой (Φ_a) и проходит насквозь (Φ_t). Таким образом:

$$\Phi_0 = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t \quad (2.11)$$

т.е.:

$$r + a + \tau = 100\% \quad (2.12)$$

Тепловое излучение возникает в результате изменения энергии атомов и молекул, уровень возбуждения которых зависит от температуры нагретого тела.

Поэтому тепловое излучение называют температурным. При росте температуры происходит увеличение энергетической светимости, а соответственно и изменение спектрального состава. Согласно закону смещения Вина, длина волны обратно пропорциональна абсолютной температуре:

$$\lambda_{\max} = b / T, \quad (2.13)$$

где, $b = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вильгельма Вина

Традиционные лампы – лампы накаливания, включающие галогенные, высокотемпературные и кварцевые галогенные лампы. Достоинствами таких ламп являются низкая стоимость, небольшие размеры, отсутствие гудения и мерцания, высокий индекс цветопередачи и непрерывный спектр излучения, отсутствие токсичных компонентов. Большая часть потребляемой энергии преобразуется в тепло. Около 2-3% потребляемой энергии преобразуется в свет. Недостатками являются низкое КПД 5-35% (12-19 Люмен/Ватт), короткий срок службы до 1000 часов и хрупкость [109].

К достоинствам люминесцентных ламп можно отнести большую светоотдачу и высокий КПД (45-100 Люмен/Ватт), приближенный к естественному свету спектр излучения с большим разнообразием оттенков света, длительный срок службы до 2000-20000 часов. Недостатками являются содержание ртути, мерцание лампы и ограничения по числу включений и выключений. Мерцание лампы устраняется путем установки электромагнитного пускорегулирующего аппарата достаточной ёмкости, что повышает стоимость освещения [110].

Дуговые лампы – ксеноновые, газоразрядные и ртутные лампы со светоотдачей до 50-55 Люмен/Ватт. Температура колбы возрастает до 500 градусов, что значительно усложнит и удорожит конструкцию культиватора хлореллы.

Газоразрядные лампы высокого и низкого давления работают в парах натрия и имеют высокий КПД 150 Люмен/Вт. К недостаткам таких ламп относятся высокая стоимость, необходимость пускорегулирующей

аппаратуры, большие размеры, долгий выход на рабочий режим, прерывистый спектр излучения, мерцание и гудение [111].

К самым совершенным источникам света относятся светодиодные лампы различного типоразмера, (рис. 2.9) К несомненным достоинствам таких ламп относятся высокая светоотдача 60-110 Люмен/Вт, малая инерционность, независимость от количества циклов включения-выключения, безопасность, экологичность, возможность выбора спектра излучения, прочностью, длительный срок службы до 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).



Рисунок 2.9 - Разновидности светодиодных элементов

Видимый спектр излучения становится заметным при нагреве тела до 800К. Цветовая температура (рисунок 2.10) светодиодных и источников света и фитолампы находится в диапазоне от 3800К (теплый свет) до 4500К (холодный свет), и зависит от спектра излучаемого света и длины волны.

В процессе эксплуатации, светодиоды нуждаются в отводе тепла. При высоких температурах происходит быстрая деградация светодиодных элементов, и в дальнейшем - их выход из строя.

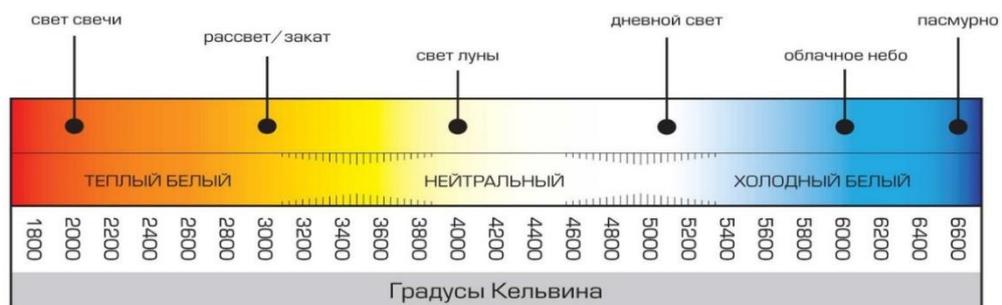


Рисунок 2.10 - Цветовая температура (Тс) осветительных элементов

Экспериментально проверим эффективность различных комбинаций систем охлаждения светодиодного элемента мощностью 40 Вт. В качестве систем охлаждения рассмотрим элемент Пельтье, ватерблок, внешний водо-воздушный теплообменник с 4-мя вентиляторами и алюминиевый пластинчато-ребристый теплообменник с кулером, (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 - Элемент Пельтье - 1, ватерблок - 2, внешний водо-воздушный теплообменник с 4-мя вентиляторами – 3, и алюминиевый пластинчато-ребристый теплообменник с кулером - 4

Эксперимент проводился путем комбинирования систем охлаждения с последующим замером температуры светодиода и потребления электроэнергии:

- 1 – алюминиевый пластинчато-ребристый теплообменник (ал.р.тепл-к);
- 2 – ал.р.тепл-к + кулер;
- 3 – ватерблок;
- 4 - ватерблок + ал.п-р.тепл-к;
- 5 - ватерблок + ал.п-р.тепл-к + кулер;
- 6 - ватерблок + внешний водо-воздушный теплообменник (в.в-в.т-ник);
- 7 - ватерблок + в.в-в.т-ник + 4 вент.;
- 8 - ватерблок + ал.п-р.тепл-к + в.в-в.т-ник;
- 9 - ал.п-р.тепл-к + кулер + ватерблок + в.в-в.т-ник;
- 10 - ал.п-р.тепл-к + кулер + ватерблок + в.в-в.т-ник + 4 вент.;
- 11 – элемент Пельтье + ал.п-р.тепл-к + кулер;

12 – э.Пельтье + ватерблок;

13- э.Пельтье + ватерблок + ал.п-р.тепл-к;

14- э.Пельтье + ватерблок + ал.п-р.тепл-к+ кулер;

15- э.Пельтье + ватерблок + ал.п-р.тепл-к+ кулер +в.в-в.Т-ник;

16- э.Пельтье + ватерблок + ал.п-р.тепл-к+ кулер +в.в-в.Т-ник + 4 вент.

Эффективность систем охлаждения светодиода приведена на графике (рис. 2.12), с указанием температуры и потребляемой мощности системой охлаждения в течение экспериментов по 10 минут каждый.

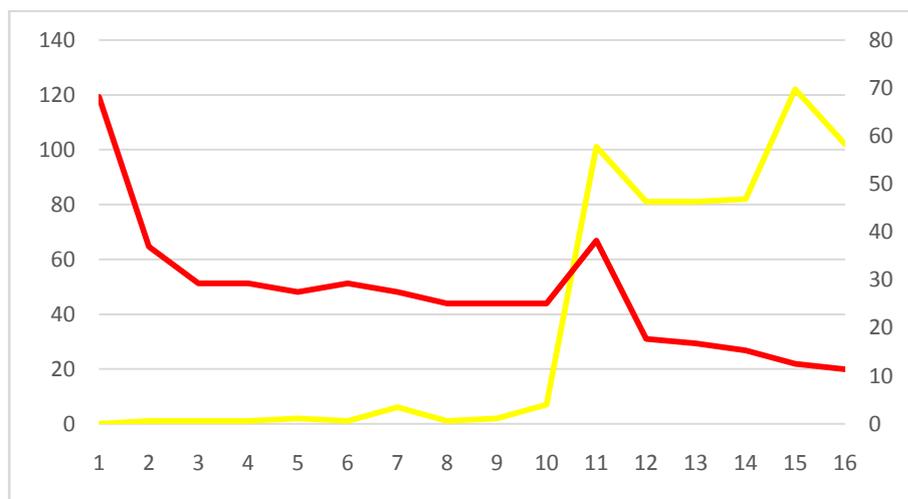


Рисунок 2.12 - Эффективность систем охлаждения светодиодный элементов, где а – энергопотребление, б – температура.

Из графика следует, что наиболее эффективны системы охлаждения светодиодного элемента мощностью 40 Вт с алюминиевым пластинчато-ребристым теплообменником, кулером, ватерблоком и внешним водовоздушным теплообменником с вентиляторами, а также система с элементом пельтье, алюминиевым пластинчато-ребристым теплообменником и кулером (11 -16).

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что при разработке новой модели осветительно-аэрационной установки в качестве источника света рационально применять светодиодные лампы, с последующей интеграцией системы охлаждения. Выбор системы охлаждения для каждого случая индивидуален. Помимо эффективности работы и энерго-эффективности

необходимо учитывать конструктивные решения используемой установки, ее габаритные размеры, особенности эксплуатации и другие технические характеристики.

2.5 Осветительно-аэрационная установка

Учитывая достоинства и недостатки существующих моделей установок культивирования хлореллы, а также, проведя анализ источников освещения, был спроектирован, а в дальнейшем сконструирована и изготовлена осветительно-аэрационная установка (рис. 2.13).

Полученное устройство включает вертикальный герметичный корпус с прозрачными стенками, содержащий источник освещения, представляющий собой светодиодную ленту с элементами, излучающими синий и красный спектр света. Электроэнергия может быть подана от источников переменного или постоянного тока. Предусмотрены трубки подвода воздуха в рабочую среду, вентиляции установки от скапливаемого конденсата и охлаждения светодиодов.

Осветительно-аэрационная установка включает следующие элементы: 1 – трубка вентиляции установки, 2 – трубка аэрации, 3 – лента светодиодная, 4 – герметичный корпус из прозрачного пластика, 5 – аэрационный диспергатор, 6 – дно корпуса установки. Конструктив осветительно-аэрационной установки объединяет в себе ряд технических решений для достижения поставленных задач. Из-за разности температур между водами и элементами установки, возможно скопление конденсата внутри. В силу этого, трубка 1 предназначена для вентиляции корпуса установки 4. Вторая трубка 2 - предназначена непосредственно для аэрации культивируемой среды. Нижний торец трубки 2 выходит из дна корпуса установки 6, на который устанавливается аэрационная насадка-распылитель 5. На аэрационные трубки путем намотки помещена светодиодная лента 3 с элементами, излучающими синий и красный спектр излучения лучей. Напряжение в сети, требуемое для светодиодов, составляет 12

В, что безопасно для эксплуатации, и, в случае возможной протечки или при повреждении корпуса 4, не представляет опасности для человека и оборудования. Корпус установки вертикальной цилиндрической формы с дном, выполненный из прозрачного полимерного материала.

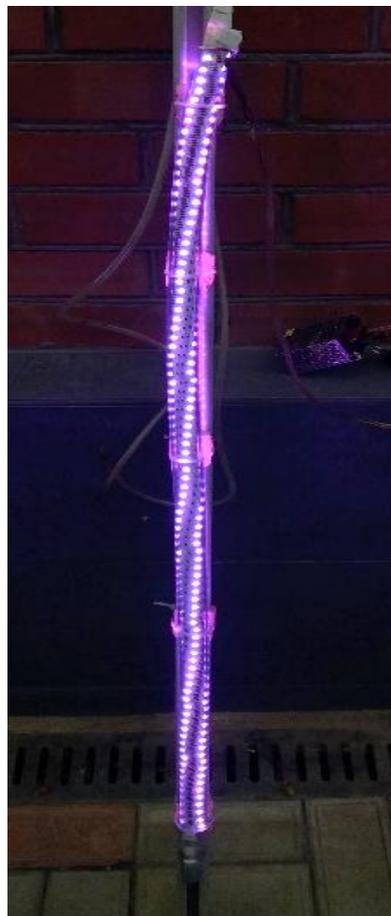
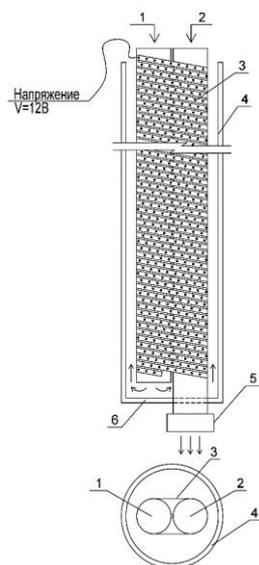


Рисунок 2.13 - Осветительно-аэрационная установка.

Осветительно-аэрационная установка работает следующим образом: корпус установки 4 помещается в культиватор хлореллы. К осветительно-аэрационной установке подводится воздух при помощи компрессора и напряжение 12 вольт. По аэрационной трубке 2 через аэрационный распылитель-диспергатор 5 воздух распространяется по культиватору хлореллы, тем самым окисляя органику и барботируя среду. Воздух поднимается к поверхности, тем самым предотвращая ее от обрастания пленкой фотосинтезирующих микроорганизмов, и уходит в окружающую среду.

Для культивирования хлореллы также необходим свет, синего и красного спектра, который излучает, заключенная в корпус из светопропускаемого материала 4, светодиодная лента 3. В процессе работы, из-за перепада температур, между светодиодной лентой 3 и культивируемой средой, на корпусе 4 образуется конденсат, который скапливается на дне устройства 6.

Скапливаемый конденсат приведет к короткому замыканию и выходу из строя элементов светодиодной ленты 3. Для предотвращения скапливания конденсата на дне корпуса установки 6, в корпус 4 встроена вторая трубка для вентиляции установки 1, по которой воздух при помощи компрессора "Barbus" мощностью 2,5 Ватта и производительностью 3 л/мин, подается в нижнюю часть корпуса.

Только 25-30% потребляемой светодиодными элементами электрической энергии преобразуется в свет, остальная энергия идет на ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, т.е. трансформируется в тепловую энергию. Количество выделяемой тепловой энергии:

$$Q = W \times \eta = 60 \times 0,75 = 45(\text{Вт}) \quad (2.14)$$

Для оценки работы вентиляции осветительно-аэрационной установки выполнен расчет:

$$L = \frac{Q_{\text{изб}}}{\rho \times C_{\text{пр}} \times (T_{\text{выт}} - T_{\text{пр}})} \quad (2.15)$$

где, L – расход воздуха, ($\text{м}^3/\text{час}$);

$C_{\text{пр}}$ – теплоемкость, (кДж/кг);

ρ – плотность, (кг/м^3);

$T_{\text{выт}}$ – темп. вытяжного воздуха, ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{пр}}$ – темп. приточного воздуха, ($^{\circ}\text{C}$).

$$\begin{aligned} Q &= L \times \rho \times C_{\text{пр}} \times (T_{\text{выт}} - T_{\text{пр}}) = \\ &= 0,18 \times 1,005 \times 1,165 \times (40 - 25) = \\ &= 3,16 \text{ кДж/час} = 0,9 \text{ Вт}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Таким образом, при работе осветительно-аэрационного элемента в окружающую его среду поступает 44,1 Вт тепловой энергии.

Уровень освещенности осветительно-аэрационной установкой зависит от типа применяемых светодиодных элементов, и условий их эксплуатации. Практически все светодиодные элементы выпускаются в Китае. Только крупные производители мировых брендов светодиодов гарантируют характеристики производимой продукции. У большей части производителей светодиоды невысокого качества - характеристики светодиодов одной выпускаемой партии могут отличаться от характеристик элементов следующей партии.

Во избежание снижения точности наших исследований, требуется проверка паспортных характеристик используемых светодиодных элементов, а также определение мощности излучения осветительно-аэрационной установки при различных условиях эксплуатации.

Паспортные характеристики светодиодной ленты – 60 светодиодных элементов/1 метр длины, 12-14,4 Вт/м., 800 Лм/м, угол рассеивания светодиодом 120°. Длина светодиодной ленты, используемой в качестве источника освещения, составляет 4,3 м, т.е. лента включает в себя 260 светодиодных элементов, ее мощность 54,6-61,42 Вт., 3440 Лм.

Для проверки паспортных характеристик, было отобрано 4 светодиода и проведен ряд экспериментов.

2.6 Выводы по 2-й главе

1. Биомасса в аэробных реакторах представляет собой альгобактериальное симбиотическое сообщество микроорганизмов и водорослей, поэтому актуальным является проанализировать поведенческие реакции водорослей применительно к процессу очистки вод рыбоводческих хозяйств. Создание искусственного освещения по глубине пруда увеличит количество хлореллы и дальнейших трофических организмов, что в итоге повысит прирост массы аквакультуры, что требует анализа.

2. Поскольку для разведения хлореллы требуется лучистая энергия, то представляет научный и практический интерес определить оптимальные условия ее культивирования на модельной жидкости и реальных оборотных водах рыборазведения, эффективную форму осветительно-аэрационной установки, а также резервуара для проведения водоочистки на рыбоводческой ферме.

3. Общими принципиальными элементами конструкции культиватора хлореллы являются емкость, в которой протекает процесс культивирования, источники углекислоты и освещения, элементы "подвода - отвода вод", мешалки и охлаждающий контур.

4. Сравнительным анализом конструктивных решений и технологических режимов работы культиваторов микроводорослей с источниками освещения показано экономическое и экологическое преимущество светодиодных ламп со светоотдачей 60-110 Люмен/Вт и сроком службы до 30000-100000 часов.

5. При эксплуатации, наблюдается перегрев светодиодных осветительных элементов, что потребовало разработки способа их охлаждения применительно к культивированию при очистке вод. Экспериментально установлено, что наиболее эффективны системы охлаждения светодиодного элемента мощностью 40Вт с алюминиевым пластинчато-ребристым теплообменником, кулером, ватерблоком и внешним водо-воздушным теплообменником с вентиляторами, а также система с элементом Пельтье, алюминиевым пластинчато-ребристым теплообменником и кулером

ГЛАВА 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСКУССТВЕННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА НА ПРИМЕРЕ ХЛОРЕЛЛЫ

3.1 Постановка, цель и задачи исследований

Целью исследований является разработка энергосберегающих технологий и технических решений по повышению эффективности и экологической безопасности очистки сточных вод рыбоводческих предприятий, а также разработка методики расчета и подбора элементов установки, на модельной среде жидкости и реальной сточной жидкости с использованием микроводорослей хлореллы.

3.2 Искусственное освещение с использованием солнечной энергии

Фотосинтез – процесс образования органических веществ из воды и углекислоты, под действием солнечных лучей. Для фотосинтеза хлореллы, культивируемой в водной среде необходимы минералы и диоксид углерода.

Освещенность – внешний фактор, оказывающий наибольшее влияние на фотосинтез хлореллы. В естественных условиях микроводоросли развиваются открытым способом – в водоемах под действием солнечного света. В средних широтах, около половины года отсутствует солнечный свет, что влияет на окислительные свойства микроводорослей. Одним из наиболее перспективных направлений является использование культиваторов закрытого типа с использованием искусственного освещения.

В автономных системах, находящихся в удалении от централизованного электроснабжения, востребовано использование солнечной энергии как в качестве основного источников электрической энергии, так и резервного. Фотоэлектротехника реализует способ преобразования солнечной энергии в

электрическую с помощью фотоэлектрических модулей - небольших полупроводниковых устройств. Они имеют широкое распространение в мире, и используются главным образом в Японии, Германии и США.

Солнечная панель - это набор солнечных модулей, соединенных друг с другом [112, 113, 114, 115]. Правильное использование солнечных панелей для получения электроэнергии имеет ряд преимуществ:

- отсутствие топлива;
- непрерывная работа;
- бесшумность;
- длительный срок безаварийной службы;
- надежность;
- общедоступность;
- возможность произвольного изменения мощности системы.

Достаточно высокая стоимость солнечных панелей, и как следствие более длительная окупаемость, предъявляет требования к энергопотреблению - использование техники с высоким классом энергосбережения, светодиодных элементов освещения, автоматики и пр. [116, 117, 118, 119].

Эффективность работы солнечных батарей зависит от количества солнечного света, т.е. установка в затененных местах не имеет смысла. В регионах с высокой сезонной облачностью или туманами следует исследовать интенсивность солнечного света и произвести расчет вырабатываемого количества энергии солнечными панелями для оценки рентабельности и конкурентоспособности.

Монокристаллический кремний

Наиболее эффективными являются монокристаллические кремниевые элементы (рисунок 3.1). В изготовлении модулей применяется очищенный кремний, который плавится, кристаллизуется и нарезается на тонкие пластины, сквозь которые проходит сетка из металлических электродов. Панели с модулями из монокристаллического кремния являются самыми надежными источниками электроэнергии от солнца, эффективность которых при прямом

солнечном свете составляет 16-19% при температуре окружающего воздуха +25°C.



Рисунок 3.1 - Солнечная батарея с модулями из монокристаллического кремния.

Как правило, срок службы солнечных панелей составляет 20-25 лет, в течение которого ежегодно падает вырабатываемая мощность на 0,5% в год. Дорогостоящие солнечные панели имеют более продолжительный срок службы – до 50 лет. На сегодняшний день, панелей, срок службы которых составляет более 50 лет нет, и поэтому их максимальный срок службы практически не установлен.

Поликристаллический кремний

Технология производства модулей из поликристаллического кремния отличается от монокристаллических элементов в использовании менее чистого и как следствие менее дорогого кремния. Внешний вид поликристаллического кремния отличается узорами из множества кристаллов (рисунок 3.2). Эффективность модулей составляет от 14 до 15%. Стоимость панелей пропорционально меньше стоимости аналогов с монокристаллическими модулями.

В России перспективнее все же использовать монокристаллические панели, поскольку при неразвитости собственного производства и больших расстояниях целесообразнее ввозить и транспортировать более эффективные панели.

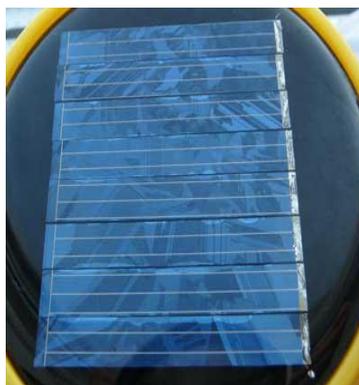


Рисунок 3.2 - Поликристаллический кремний

3.3 Методика измерения параметров культивирования хлореллы

Исследование процесса культивирования микроводорослей хлорелла требует учета влияния внешних факторов (температура окружающей среды, освещение и т.д.) и изменения в работе культиватора.

Для определения степени их влияния, требуется провести ряд замеров:

- степень освещенности культивируемой среды;
- окислительно-восстановительный потенциал (Rx контроллер);
- содержание растворенного кислорода и температуры среды (портативный анализатор растворенного кислорода MAPK-302Э);
- общей минерализации (TDS-метр TDS-3);
- оптической плотности исследуемой среды (HACHCOMPANYBOX389 DR/2400 Portable Spectrometer).

Была изготовлена и выведена на рабочий режим модель культиватора хлореллы с осветительно-аэрационной установкой (рис. 3.3). В качестве емкости культиватора, была использована труба, выполненная из прозрачного полимера, с заглушкой снизу. В резервуарах цилиндрической формы наблюдается наиболее равномерное распределение излучения света. Например, в резервуарах прямоугольной формы, в местах стыков граней резервуара появляются потери излучения и возможно скапливание и налипание суспензии хлореллы, ее продуктов жизнедеятельности и т.д.

Для получения углекислоты на нужды питания хлореллы, в культивируемую среду вводится необходимое количество питательного органического вещества - сахарозы (сахара). Полученный в процессе фотосинтеза кислород расходуется на окисление глюкозы до конечных продуктов (вода + углекислота). Таким образом в культиваторе возможно создаются требуемые условия для жизнедеятельности хлореллы.



Рисунок 3.3 - Лабораторная модель культиватора хлореллы с осветительно-аэрационной установкой.

3.4 Исследование работы установки, проведение эксперимента, обработка и анализ результатов

Целью данного этапа исследования являлось определение технологических параметров культивирования хлореллы в условиях искусственного освещения на модельной жидкости.

Исследование освещенности осветительно-аэрационной установкой

Эксперимент 1.

Согласно паспортным данным 1 метр светодиодной ленты (60 элементов) имеет излучение 800 Лм, т.е. 1 светодиод излучает 13,3 Лм. Определим

освещенность поверхности на расстоянии от светодиода на расстоянии 10, 15 и 25 см, какие планируется использовать в промышленных условиях эксплуатации.

$$\text{При } h=10\text{см.}, \quad E = \frac{13,3}{3,14159 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 141,47\text{Лк.}$$

$$\text{При } h=15\text{см.}, \quad E = \frac{13,3}{3,14159 * 0,15^2 * tg^2(120/2)} = 62,72\text{Лк.}$$

$$\text{При } h=25\text{см.}, \quad E = \frac{13,3}{3,14159 * 0,25^2 * tg^2(120/2)} = 22,58\text{Лк.}$$

Для проверки методики расчета, были проведены замеры освещенности цифровым люксметром AR813A (рис. 3.4), прошедшего поверку измерений.

Результаты замеров люксметром:

при $h=10$ см., $E=100$ Лк;

при $h=15$ см., $E=51$ Лк;

при $h=25$ см., $E=20$ Лк.



Рисунок 3.4 - Цифровой люксметр AR813A.

Эксперимент 2.

Для 2 светодиодов:

$$\text{При } h=10\text{см.}, \quad E = \frac{26,6}{3,14159 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 282,2\text{Лк};$$

$$\text{При } h=15\text{см.}, \quad E = \frac{26,6}{3,14159 * 0,15^2 * tg^2(120/2)} = 125,4\text{Лк};$$

$$\text{При } h=25\text{см.}, \quad E = \frac{26,6}{3,14159 * 0,25^2 * tg^2(120/2)} = 45,2\text{Лк.}$$

Результаты замеров люксметром:

при $h=10$ см., $E=200$ Лк;

при $h=15$ см., $E=100$ Лк;

при $h=25$ см., $E=42$ Лк.

Эксперимент 3.

Для 3 светодиодов:

$$\text{При } h=10\text{см.}, \quad E = \frac{39,9}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 423,4\text{Лк};$$

$$\text{При } h=15\text{см.}, \quad E = \frac{39,9}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 188,16\text{Лк};$$

$$\text{При } h=25\text{см.}, \quad E = \frac{39,9}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 67,74\text{Лк}.$$

Результаты замеров люксметром:

при $h=10$ см., $E=330$ Лк;

при $h=15$ см., $E=162$ Лк;

при $h=25$ см., $E=62$ Лк.

Эксперимент 4.

Для 4 светодиодов:

$$\text{При } h=10\text{см.}, \quad E = \frac{53,2}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 564,5\text{Лк};$$

$$\text{При } h=15\text{см.}, \quad E = \frac{53,2}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 250,9\text{Лк};$$

$$\text{При } h=25\text{см.}, \quad E = \frac{53,2}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 90,3\text{Лк}.$$

Результаты замеров люксметром:

при $h=10$ см., $E=450$ Лк;

при $h=15$ см., $E=220$ Лк;

при $h=25$ см., $E=83$ Лк.

Эксперимент 5.

Для 8 светодиодов:

80

При $h=10\text{см.}$,
$$E = \frac{106,4}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 1128,9\text{Лк};$$

При $h=15\text{см.}$,
$$E = \frac{106,4}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 501,8\text{Лк};$$

При $h=25\text{см.}$,
$$E = \frac{106,4}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 180,6\text{Лк}.$$

Результаты замеров люксметром:

при $h=10\text{ см.}$, $E=648\text{ Лк}$; при $h=15\text{ см.}$, $E=360\text{ Лк}$; при $h=25\text{ см.}$, $E=150\text{ Лк}$.

На основании проведенных опытов построены графики погрешностей измерения, рисунки 3.5-3.7.

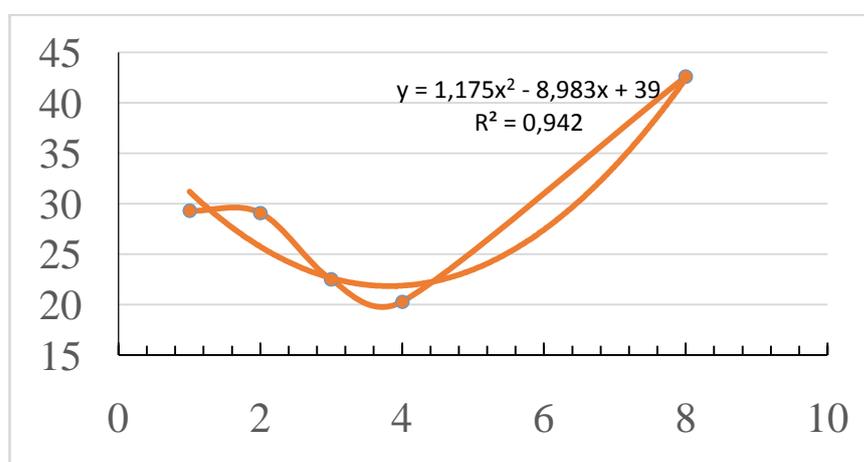


Рисунок 3.5 - Погрешность измерения освещенности (%) в зависимости от количества светодиодных элементов(шт.), при $h=10\text{см.}$

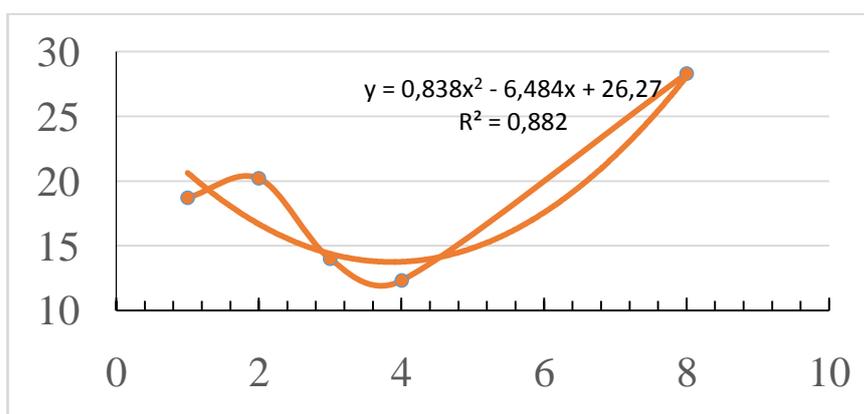


Рисунок 3.6 - Погрешность измерения освещенности (%) в зависимости от количества светодиодных элементов (шт.), при $h=15\text{ см.}$

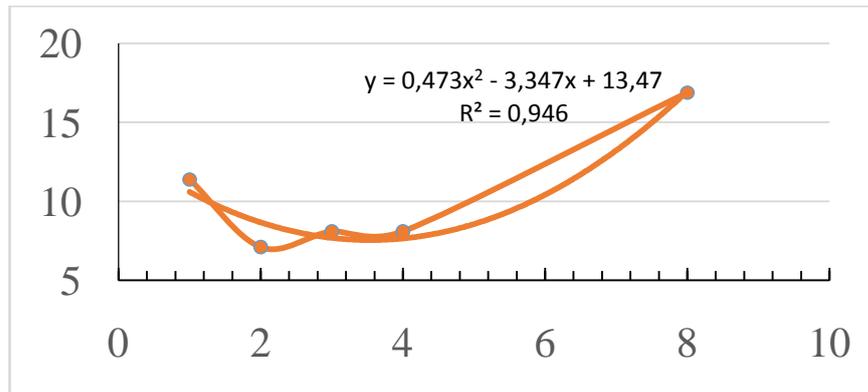


Рисунок 3.7 - Погрешность измерения освещенности (%) в зависимости от количества светодиодных элементов(шт.), при $h=25$ см.

На основании полученных результатов погрешности измерений излучения светодиодных элементов, при помощи люксметра AR813A, можно сделать вывод, что замеры светового излучения в пределах погрешности прибора соответствуют измерениям на расстоянии 15-25 см от источников освещения, с суммарным световым потоком 25-65 Лм.

Для определения интенсивности излучения осветительно-аэрационной установки в исследуемой среде следует учитывать мутность среды. Связь коэффициента пропускания среды с ее оптической плотностью определена формулой (рис. 3.8):

$$\tau = 10^{-D}, \quad (3.1)$$

где D – оптическая плотность исследуемой среды, т.е. концентрация, определяемая опытным путем, которая измеряется в белах (Б);

τ – коэффициент пропускания

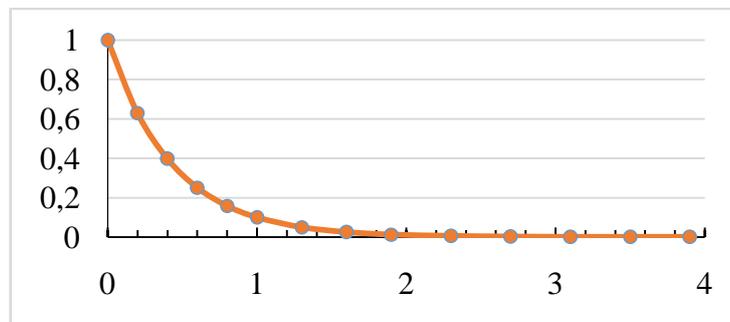


Рисунок 3.8 - Связь коэффициента пропускания исследуемой среды с ее оптической плотностью.

Таким образом, зная характеристики светодиодных элементов, а также учитывая оптическую плотность и коэффициент пропускания культивируемой среды, возможно определить интенсивность освещенности на различной удаленности от источника освещения, и, соответственно, подобрать необходимое количество осветительно-аэрационных устройств. Если характеристики светодиодных элементов неизвестны, то интенсивность освещенности возможно определить прибором люксметром, с учетом погрешности его измерений, на расстоянии 15-25 см., при световом потоке светодиодов в диапазоне 25-65 Лм.

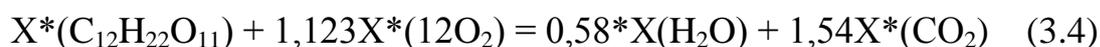
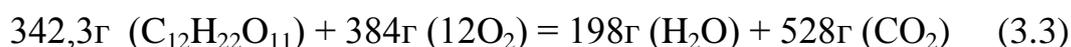
Исследование работы осветительно-аэрационной установки

В 11 ч. 40 мин. 20.07.2017 г. в культиватор была залита водопроводная вода в объеме 10 л., суспензия хлореллы *Chlorella vulgaris* в объеме 0,015 л, а также 10 г сахара. Далее, в емкость была погружена осветительно-аэрационная установка, подключенная к источнику питания 12В и двум воздушным компрессорам "Barbus" мощностью 2,5 Ватта и производительностью 3 л/мин каждый, для нужд аэрации культиватора и охлаждения светодиодов.

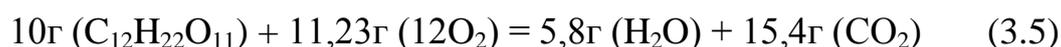
Процесс реакции окисления сахарозы с выделением углекислоты можно описать уравнением:



Молярная масса Мм: сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11} = 342,3$ г, кислорода $O_2 = 32$ г, воды $H_2O = 18$ г, углекислого газа $CO_2 = 44$ г/моль.



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



Проверку теоретических кинетических соотношений (3.6 - 3.8) проводили на модельной жидкости при культивировании хлореллы в условиях освещения осветительно-аэрационной установкой. Контрольным являлся культиватор с одинаковыми начальными условиями эксперимента, но с естественной освещенностью.

Посев суспензии водоросли хлорелла в культиватор производили с начальной оптической плотностью $0,010 \pm 0,002$, рисунок 3.9. Для этого в $100 \pm 5 \text{ см}^3$ 50 % питательной среды вносили $5 \pm 0,5 \text{ см}^3$ суспензия водоросли с оптической плотностью $0,200 \pm 0,010$, профильтрованной через 3-4 слоя марли или вату. График (рис. 3.9) соответствует кривой роста периодической культуры микроорганизмов (рис. 3.10) – лаг-фаза, фазы экспоненциального роста и отмирания. Из-за недостатка питания или накопления продуктов жизнедеятельности, наблюдается изменение физиологического состояния клеток, возрастает концентрация микроорганизмов и замедляется их рост.

При оптической плотности суспензии хлореллы 0.200, ее концентрация составляет 0,2 г/л. Нами взято 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.

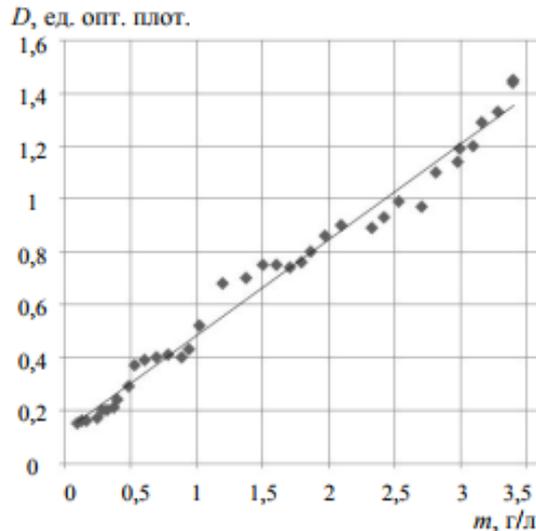


Рисунок 3.9 - Зависимость оптической плотности D культивируемой хлореллы от ее массовой доли

Исследования работы культиватора хлореллы проводились в период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г. Культивируемая среда имела следующие исходные параметры:

- окислительно-восстановительный потенциал, $R_x = 350$ мВ;
- содержание кислорода, $O_2 = 1,935$ мг/дм³;
- температура среды, $temp = 24,2$ С°;
- общая минерализация, $TDS = 640$ мг/л;
- оптическая плотность = 0,002.

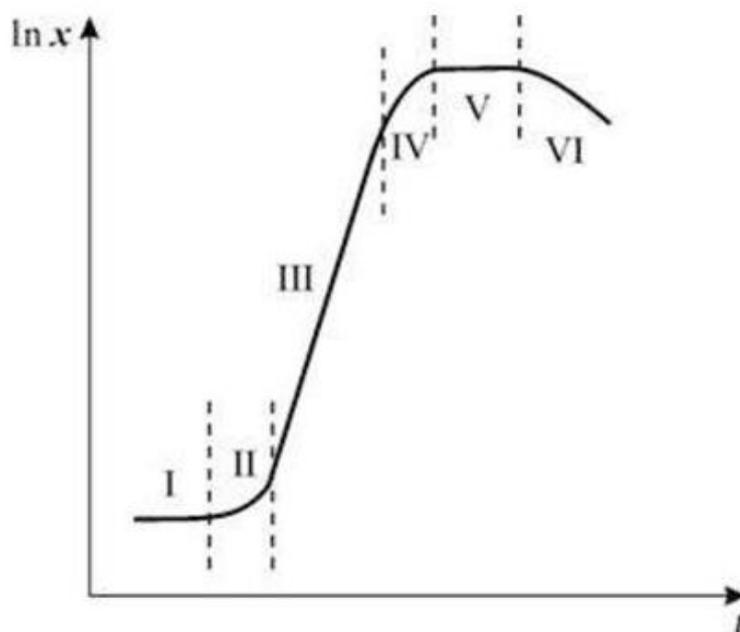


Рисунок 3.10 - Кривая роста микроорганизмов при периодическом культивировании, где I – лаг-фаза; II – фаза ускоренного роста; III – фаза экспоненциального роста; IV – фаза замедленного роста; V – фаза стационарная; VI – фаза отмирания культуры.

Во время исследования аэрация культивируемой среды была постоянной с производительностью 3л/мин. На культивируемую среду оказывали влияние внешние факторы – естественный солнечный свет через оконные проемы помещения и температура окружающей среды. Освещение осветительно-аэрационной установкой периодически нами выключалось или менялся спектр света для определения его влияния на культивируемую среду – синий, красный, сине-красный. Ниже представлена таблица 3.1 с результатами исследования в период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г., на основании которых построены графики (рис. 3.11 - 3.24) [120].

Таблица 3.1 - Параметры режимов культивирования хлореллы в период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г..

Дата	Время	Освещение	Rx, мВ	O ₂ , Мг/дм ³	Temp, C°	TDS, ppm	Опт.плотность D				Коэф. пропускания среды, τ	Освещенность, кЛк
							1	2	3	Ср. знач		
20.07.2017	11:40	Без светодиодов (с аэрацией)	370	2,05	24,0	640	0,002	0,002	0,002	0,002	0,995	210,7
	12:00		365	2,01	24,0	638	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	211,7
	12:30		360	1,98	24,1	639	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	211,7
	13:00		350	1,94	24,2	641	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	211,7
	13:30		320	1,85	24,3	640	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	211,7
	14:00		305	1,92	24,4	642	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	211,2
	14:30		297	1,97	24,4	640	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	211,2
	15:00		280	2,06	24,5	645	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	211,2
	15:30		270	2,19	24,6	641	0,001	0,001	0,000	0,000	1,002	212,2
	16:00	(аэрация)	270	2,27	24,7	647	0,001	0,000	0,000	0,000	0,999	211,5
	16:30		250	2,33	25,0	642	0,000	0,001	0,000	0,000	0,999	211,5
	17:00		240	2,39	25,3	640	0,025	0,025	0,025	0,025	0,944	199,8
	17:30		230	2,42	25,6	638	0,049	0,050	0,050	0,050	0,892	188,8
	18:00		240	2,48	25,7	644	0,010	0,011	0,011	0,011	0,976	206,5
	18:30		240	2,53	25,9	642	0,027	0,026	0,026	0,026	0,941	199,2
		Ср.знач за день	292	2,159	24,7	638	0,008	0,008	0,008	0,008	0,982	207,9
21.07.2017	12:30	(аэрация)	280	1,98	24,2	632	0,021	0,021	0,021	0,021	0,953	201,7
	13:00		250	2,05	24,5	638	0,037	0,032	0,032	0,034	0,925	195,9
	13:30		240	2,17	24,8	640	0,020	0,019	0,018	0,019	0,957	202,6
	14:00		230	2,29	25,2	641	0,040	0,039	0,039	0,039	0,913	193,3
	14:30	(аэрация)	210	2,39	2,6	657	0,078	0,078	0,078	0,078	0,836	176,9
	15:00		190	2,52	26,0	626	0,063	0,063	0,063	0,063	0,865	183,1
	15:30		180	2,56	26,2	635	0,057	0,058	0,058	0,058	0,876	185,3
	16:00		170	2,63	26,5	635	0,045	0,044	0,044	0,045	0,903	191,1
	Ср.знач за день	219	2,320	22,5	638	0,045	0,044	0,044	0,045	0,903	191,1	
22.07.2017	11:00	Без светодиодов (с аэрацией)	270	2,00	24,2	623	0,050	0,050	0,050	0,050	0,891	188,7
	11:30		250	2,12	24,3	625	0,021	0,021	0,022	0,021	0,952	201,5
	12:00		240	2,28	24,5	635	0,045	0,047	0,048	0,047	0,898	190,1
	12:30	(аэрация)	200	2,35	24,8	647	0,096	0,096	0,097	0,096	0,801	169,6
	13:00		190	2,42	25,2	627	0,064	0,063	0,064	0,064	0,864	182,8
	13:30		180	2,26	25,9	630	0,075	0,074	0,078	0,076	0,840	177,8
	14:00		180	2,60	26,0	635	0,056	0,051	0,045	0,051	0,890	188,4
			Ср.знач за день	216	2,320	22,5	638	0,058	0,057	0,058	0,058	0,875
24.07.2017	12:30	(аэрация)	180	1,79	28,9	626	0,063	0,063	0,062	0,063	0,866	183,2
	15:30		180	2,05	28,9	685	0,041	0,042	0,040	0,041	0,910	192,6
	16:00		140	2,18	28,9	690	0,045	0,045	0,046	0,045	0,901	190,7
		Ср.знач за день	167	2,320	22,5	638	0,050	0,050	0,049	0,050	0,892	188,8

		14:00 аммоний 0,542мг/л										
25.07.2017	10:30	(аэрация)	100	1,97	28,4	690	0,024	0,025	0,025	0,025	0,945	200,0
	12:30	(аэрация)	90	2,04	28,7	685	0,061	0,061	0,060	0,061	0,870	184,1
	Ср.знач за день			119	2,320	22,5	638	0,043	0,043	0,043	0,043	0,906
		11:00 аммоний 7,9мг/л										
30.07.2017	-	(аэрация)	210	1,58	28,7	677	0,028	0,355	0,352	0,245	0,569	120,5
31.07.2017	-	(аэрация)	210	1,58	28,7	677	0,275	0,355	0,352	0,327	0,471	99,6
01.08.2017	-	((аэрация)	210	1,55	28,6	668	0,089	0,092	0,075	0,085	0,822	173,9
02.08.2017	-	(аэрация)	200	1,58	28,9	696	0,088	0,095	0,111	0,098	0,798	168,9
03.08.2017	-	(аэрация)	180	1,59	29,0	675	0,519	0,576	0,550	0,548	0,283	59,9
04.08.2017	-	(аэрация)	190	1,58	29,0	680	0,137	0,140	0,141	0,139	0,726	153,6
07.08.2017	-	(аэрация)	210	1,58	29,3	629	0,048	0,049	0,050	0,049	0,893	189,1
			Добавили глюкозы 100мл									
08.08.2017	-	(аэрация)	230	1,61	29,2	615	0,040	0,041	0,040	0,040	0,911	192,9
09.08.2017	-	(аэрация)	70	1,70	29,5	666	0,109	0,128	0,120	0,119	0,760	160,9
11.08.2017	-	(аэрация)	60	1,59	29,4	672	0,490	0,490	0,490	0,490	0,324	68,5
13.08.2017	-	(аэрация)	150	1,64	35,1	1160	0,300	0,320	0,320	0,313	0,486	102,9

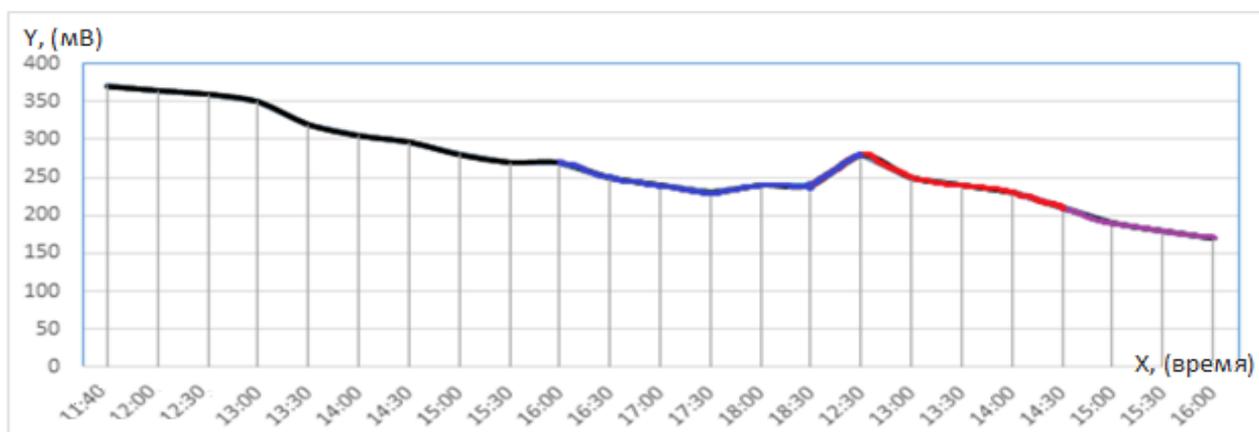


Рисунок 3.11 - Зависимость окислительно-восстановительного потенциала (Rx) от времени культивирования хлореллы (20-21 июля 2017 г.)

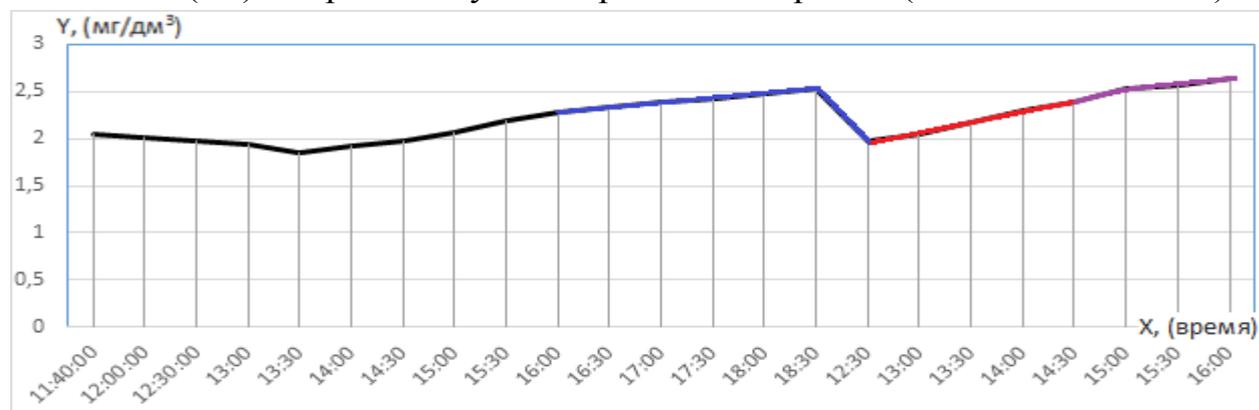


Рисунок 3.12. Зависимость содержания кислорода O₂ от времени культивирования хлореллы (20-21 июля 2017 г.)

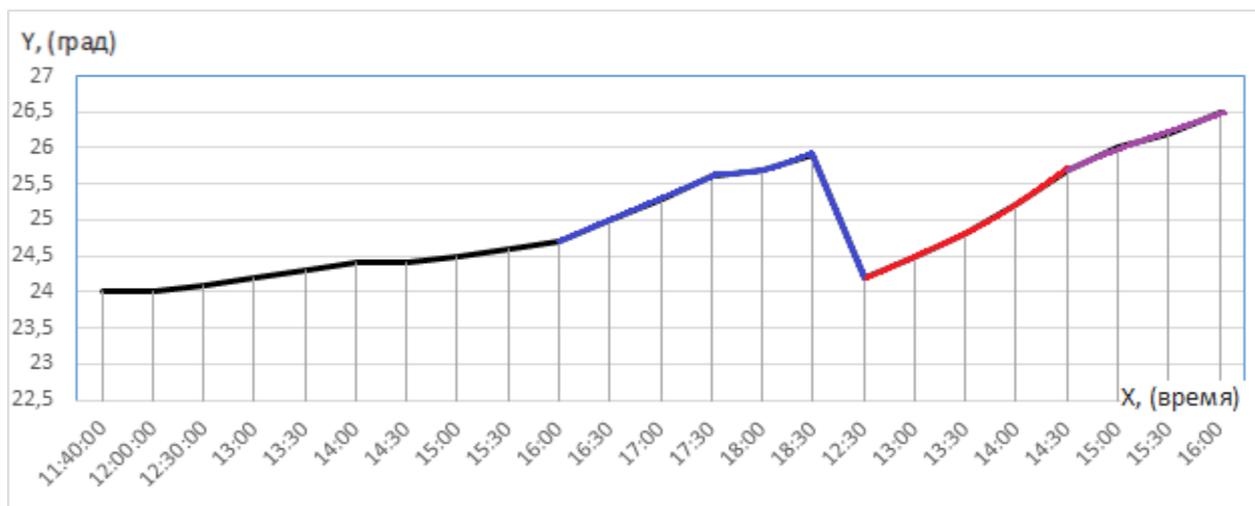


Рисунок 3.13 - Зависимость температуры среды от времени культивирования хлореллы (20-21 июля 2017 г.)

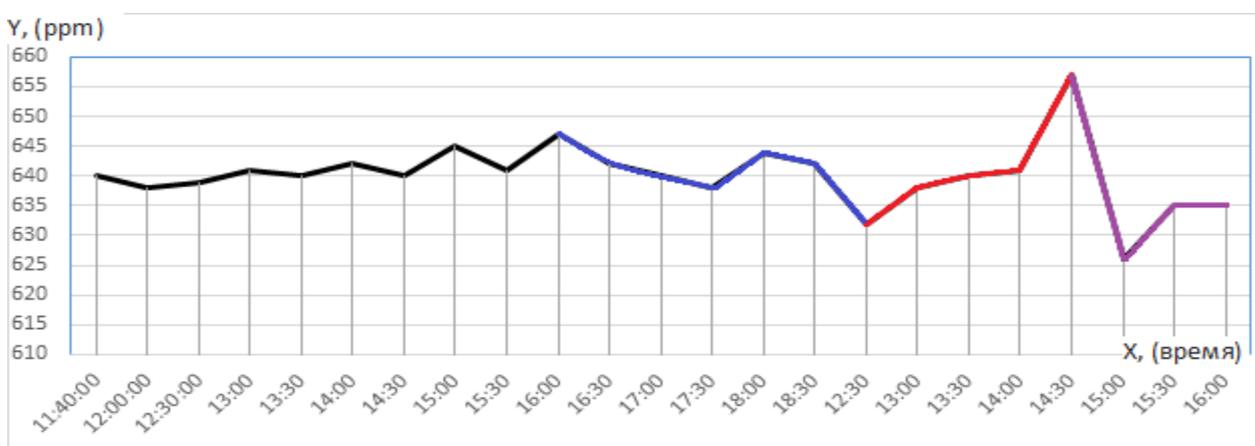


Рисунок 3.14 - Зависимость солесодержания (TDS) от времени культивирования хлореллы (20-21 июля 2017 г.)

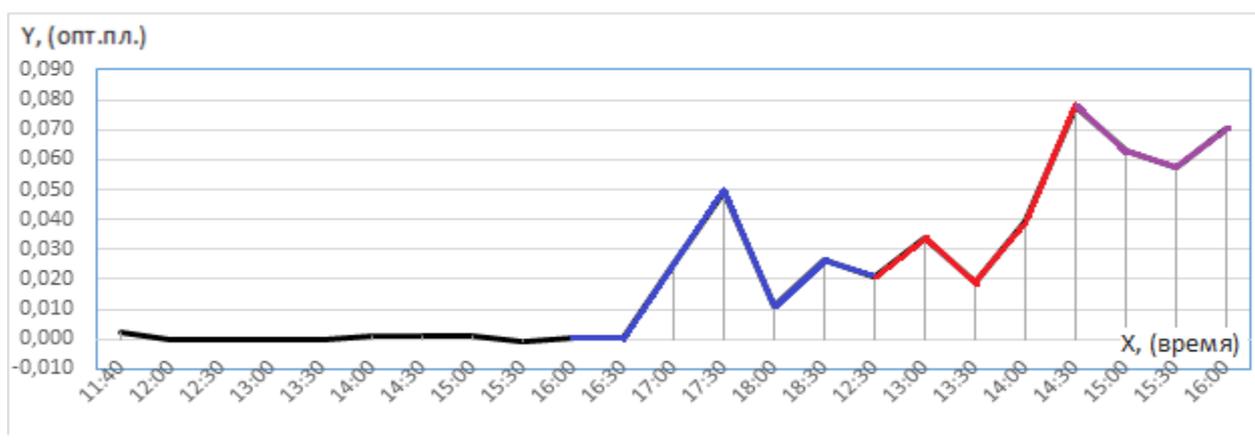


Рисунок 3.15 - Зависимость (оптической плотности) содержания хлореллы от времени культивирования (20-21 июля 2017 г.)

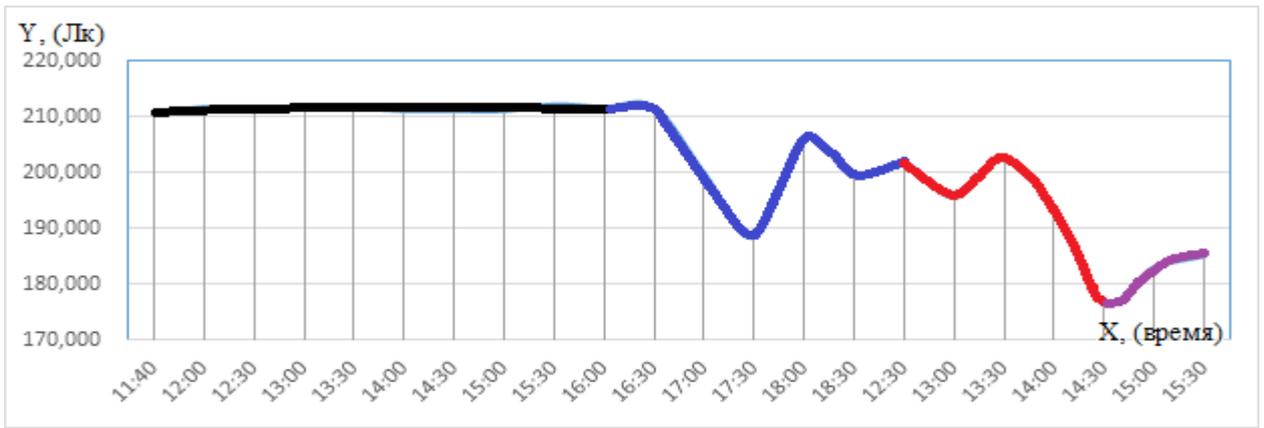


Рисунок 3.16 - Зависимость освещенности культиватора от времени культивирования хлореллы (20-21 июля 2017 г.)

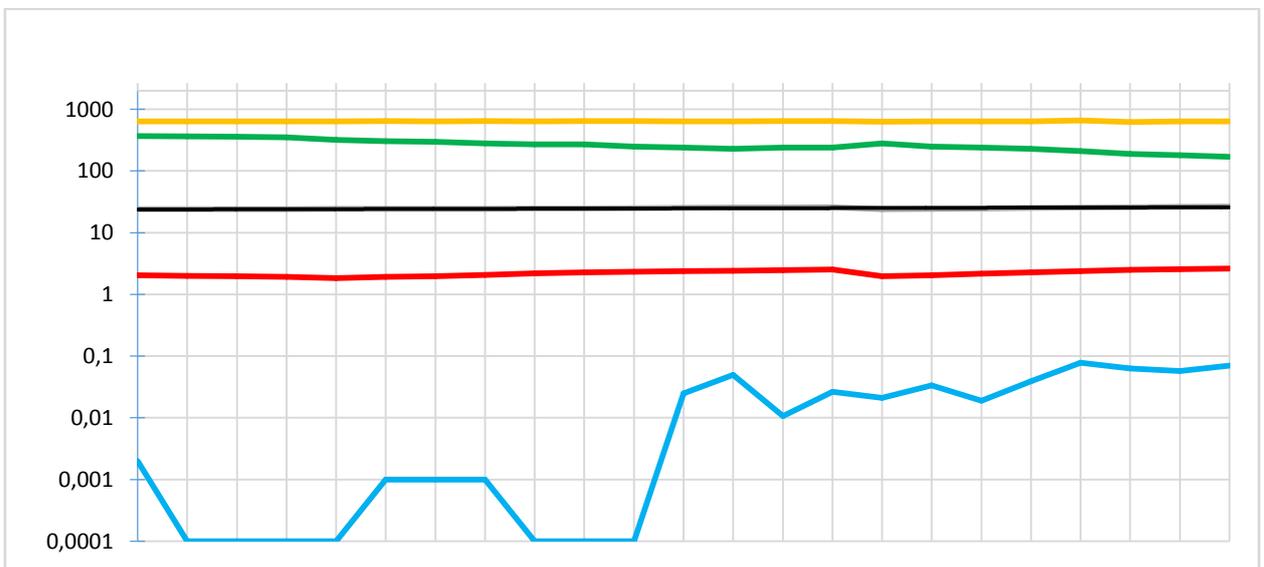


Рисунок 3.17 - График результатов исследования культивирования хлореллы за период с 20.07.2017 г. по 21.07.2017 г.

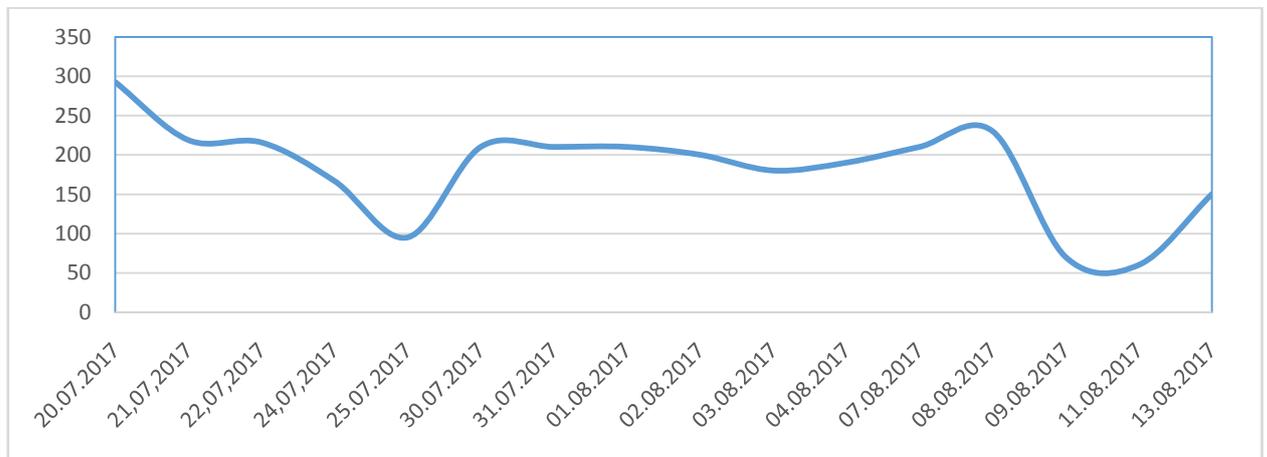


Рисунок 3.18 - Зависимость окислительно-восстановительного потенциала (Rx) от времени культивирования хлореллы (20.07-13.08 2017 г.)

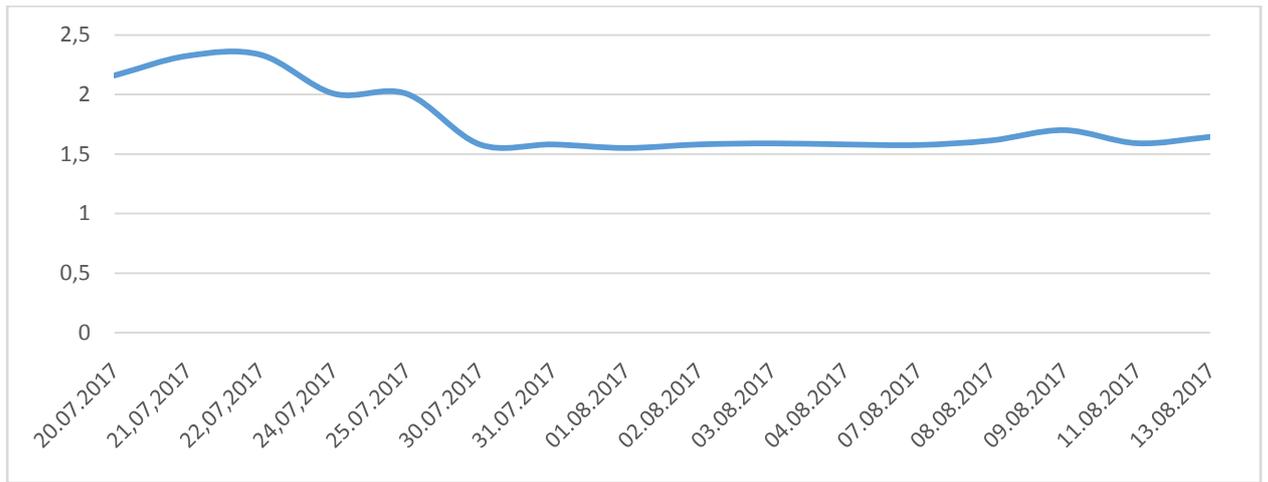


Рисунок 3.19 - Зависимость содержания кислорода O₂ от времени культивирования хлореллы (20.07-13.08 2017 г.)

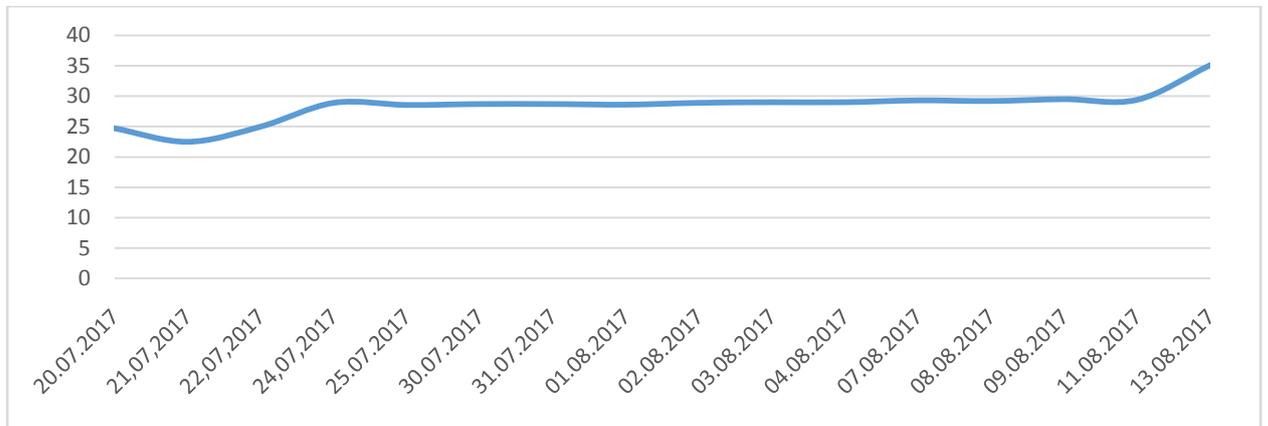


Рисунок 3.20 - Зависимость температуры среды от времени культивирования хлореллы (20.07-13.08 2017 г.)

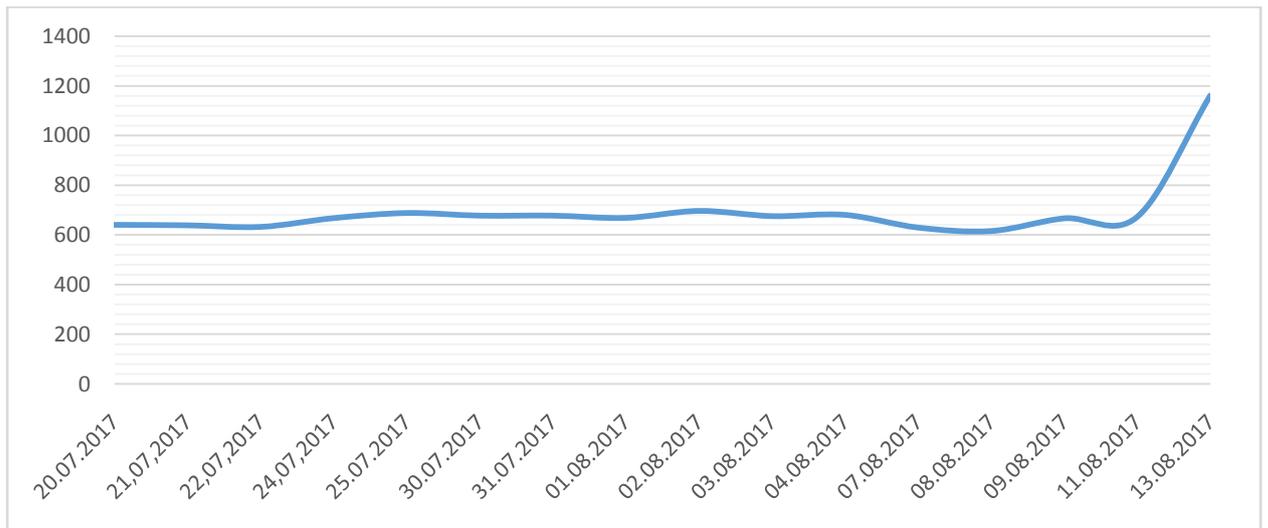


Рисунок 3.21 - Зависимость солесодержания (TDS) от времени культивирования хлореллы (20.07-13.08 2017 г.)

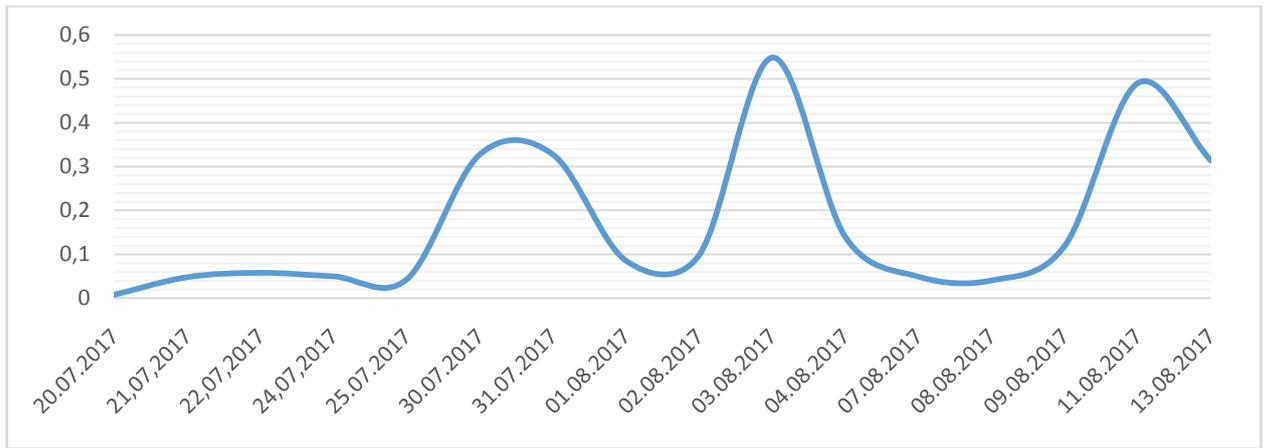


Рисунок 3.22 - Зависимость оптической плотности от времени культивирования хлореллы (20.07-13.08 2017 г.)

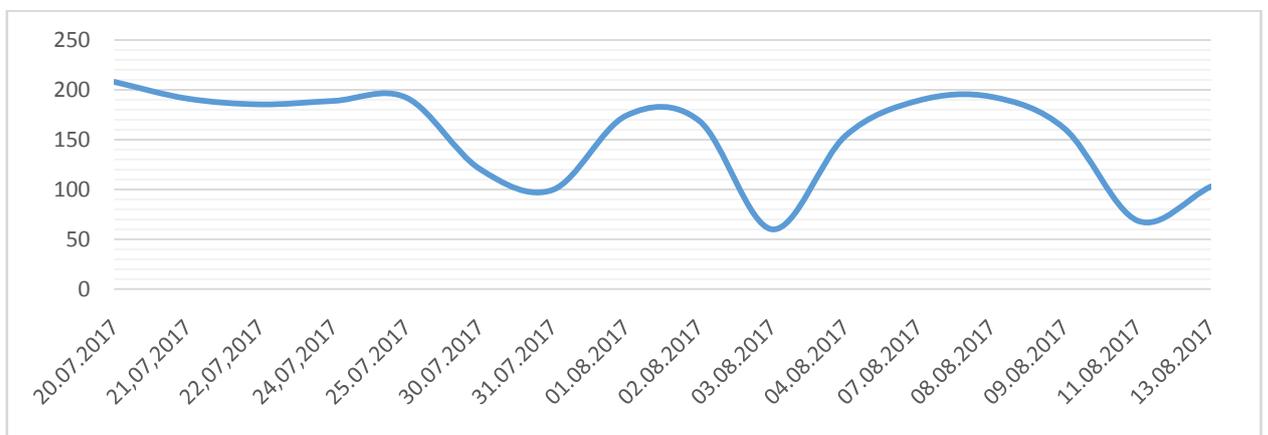


Рисунок 3.23 - Зависимость освещенности культиватора от времени культивирования хлореллы (20.07-13.08 2017 г.)

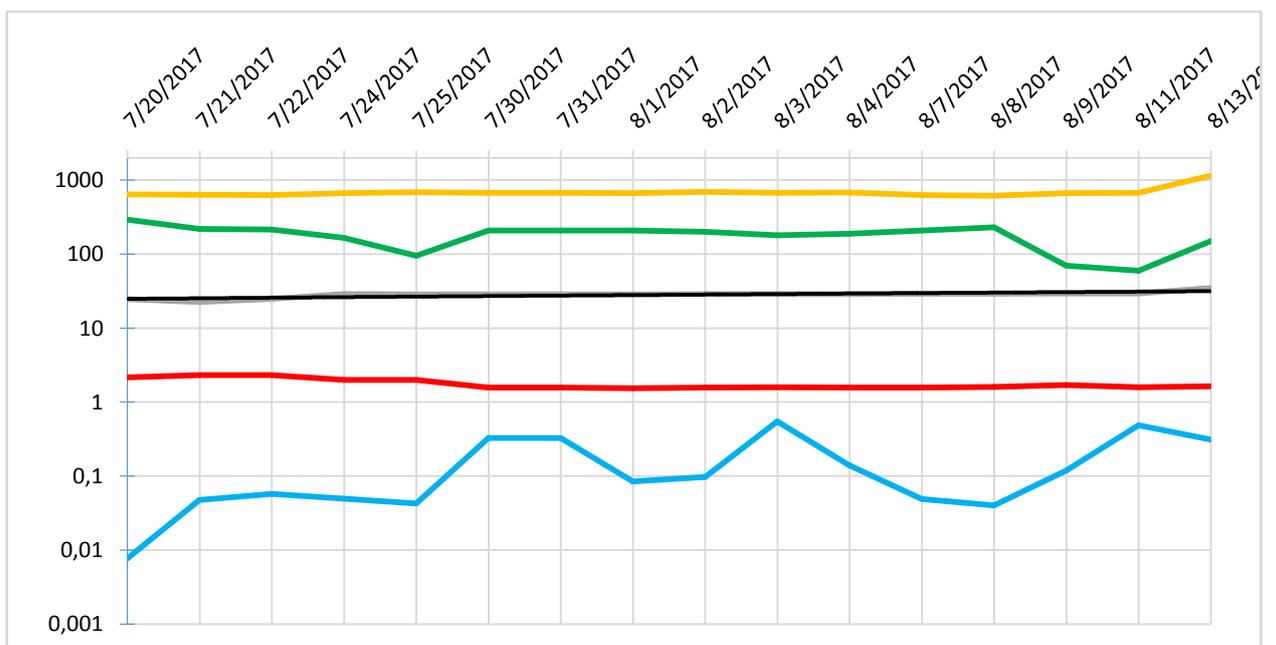


Рисунок 3.24. График результатов исследования культивирования хлореллы за период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г.

На основании анализа графиков (рис. 3.11 - 3.24) следует, что показатель роста микроводорослей хлорелла за период с 20.07.2017 г. по 13.08.2017 г. по графику оптической плотности вырос в 391 раз. Рост оптической плотности наблюдался 30.07.2017 г, 03.08.2017, а также в последний день исследований 13.08.2017 г.

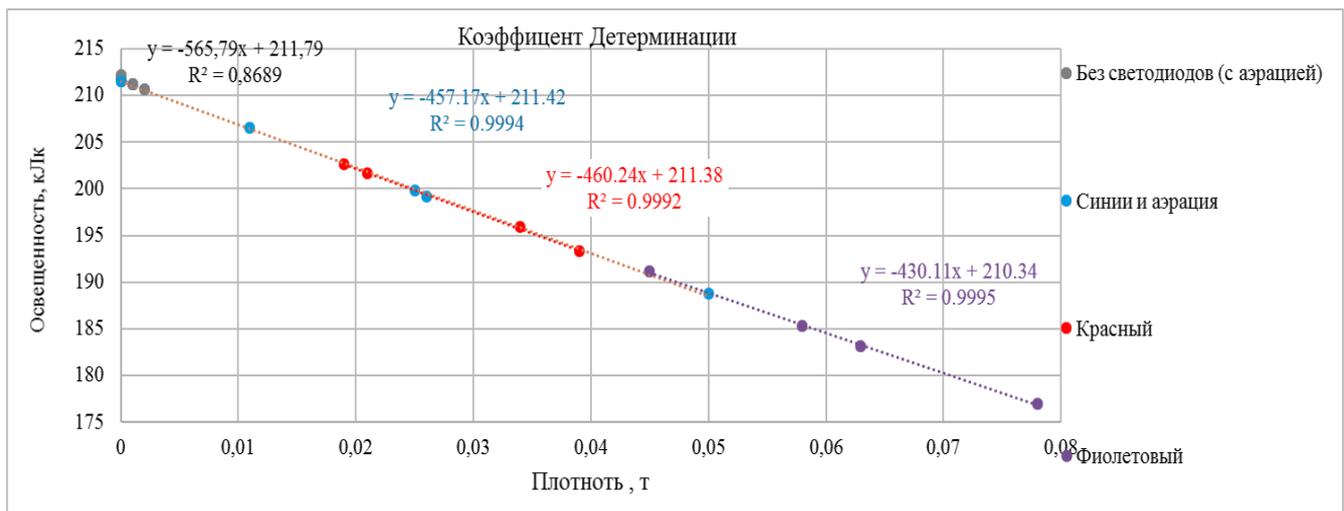
Проведя ряд замеров, был вычислен коэффициент детерминации (R) зависимости результатов оптической плотности от спектра света, для определения достоверности полученных данных, рис. 3.25. по уравнению 3.6:

$$R^2 = 1 - \frac{V(y|x)}{V(y)} = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma^2_y}. \quad (3.6)$$

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.



$$F_{\phi} = \frac{\sigma^2_{\text{большая}}}{\sigma^2_{\text{меньшая}}}. \quad (3.7)$$

Таблица 3.2 - Значения освещенности при различном спектре света

Без светодиодов	Синий	Красный	Фиолетовый
210,7	211,5	201,7	176,9
211,7	211,5	195,9	183,1
211,7	199,8	202,6	185,3
211,7	188,8	193,3	191,1
211,7	206,5		
211,2	199,2		
211,2			
211,2			
212,2			

Из культиватора 18.08.2017 г. были взяты пробы под микрокопирования (рис. 3.26).

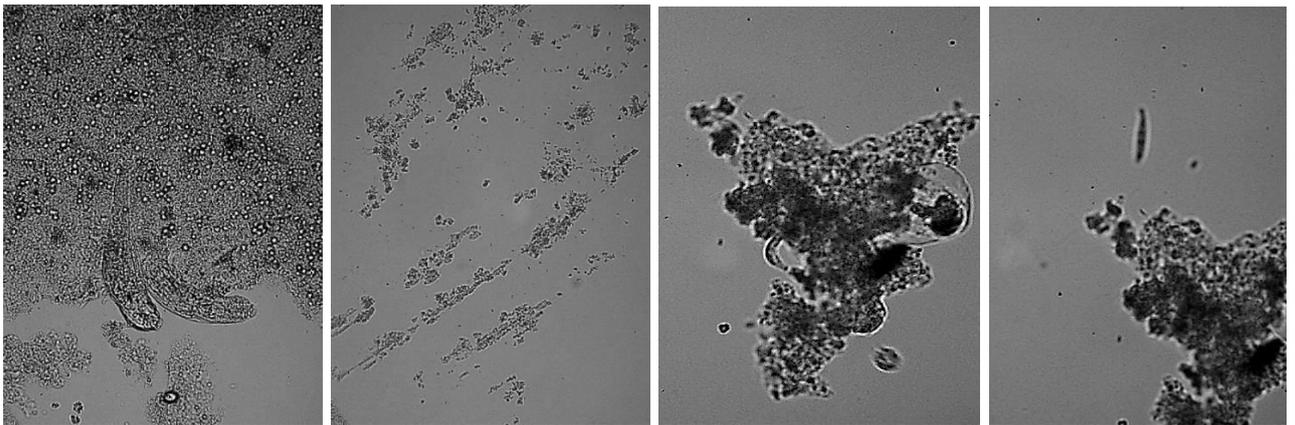


Рисунок 3.26 - Фото проб из культиватора хлореллы под микроскопом 18.08.2017 г.

Таблица 3.3 - Сравнительный анализ спектров освещения по критерию Фишера

Наименование	Без светодиодов	Синий	Без светодиодов	Красный	Без светодиодов	Фиолетовый
Mean	211,478	202,883	211,478	198,375	211,478	184,100
Variance	0,194	76,598	0,194	20,2625	0,194	34,427
Observations	9,000	6,000	9,000	4	9,000	4
Pooled Variance	29,580		5,668		9,531	

Hypothesized Mean Difference	0		0		0	
df	13,000		11,000		11,000	
t Stat	2,998		9,159		14,758	
P(T<=t) one-tail	0,005		0,000		0,000	
t Critical one-tail	2,746		2,820		2,820	
P(T<=t) two-tail	0,010273421	$\geq \alpha$	0,000001766	$\leq \alpha$	0,000000014	$\leq \alpha$
t Critical two-tail	3,107		3,208		3,208	
Result	НЕТ РАЗНИЦЫ		ЕСТЬ РАЗНИЦА		ЕСТЬ РАЗНИЦА	
Наименование	Синий	Красный	Синий	Фиолетовый	Красный	Фиолетовый
Mean	202,883	198,375	202,883	184,100	198,375	184,100
Variance	76,598	20,262	76,598	34,427	20,262	34,427
Observations	6,000	4,000	6,000	4,000	4,000	4,000
Pooled Variance	55,472		60,784		27,345	
Hypothesized Mean Difference	0		0		0	
df	8,000		8,000		6,000	
t Stat	0,938		3,732		3,861	
P(T<=t) one-tail	0,188		0,003		0,004	
t Critical one-tail	3,016		3,016		3,287	
P(T<=t) two-tail	0,375818520	$\geq \alpha$	0,005768064	$\leq \alpha$	0,008316423	$\leq \alpha$
t Critical two-tail	3,479		3,479		3,863	
Result	НЕТ РАЗНИЦЫ		ЕСТЬ РАЗНИЦА		ЕСТЬ РАЗНИЦА	

Таким образом, согласно сравнительному анализу спектров освещения, используя критерий Фишера, было установлено, что сине-красный спектр света имеет наибольшее влияние на оптическую плотность культивируемой среды. Согласно полученному результату, в дальнейшем эксперименте будет использоваться освещение с сине-красным спектром. При детальном изучении графиков, можно заметить, что помимо влияния освещенности, повышение оптической плотности происходило наряду с изменением окислительно-восстановительного потенциала, а также с повышением температуры. Снижение окислительно-восстановительного потенциала практически никак не

оказывало влияние на прирост биомассы, а с его ростом наблюдается существенное увеличение биомассы.

3.5 Лабораторные исследования технологических параметров режима культивирования хлореллы на реальных сточных водах

Целью данного этапа исследования являлось определение технологических параметров культивирования хлореллы на реальной сточной жидкости в условиях искусственного освещения.

Для этого была отобрана сточная вода с очистных сооружений хозяйственно - бытовых сточных вод г. Ростова н/Д: 1 - до ультрафиолетового обеззараживания; 2 - после ультрафиолетового обеззараживания.

Методика проведения исследований: культиватор хлореллы был дополнен еще двумя прозрачными емкостями в форме цилиндра. В каждый из них было залито по 2,5 литра раствора хлореллы из культиватора, 5 литров водопроводной воды, а также по 100 мл сточной воды с очистных сооружений до УФО и после него соответственно. В культиваторе хлореллы оставили также 2,5 литра раствора хлореллы, разбавили его 10 литрами водопроводной воды и добавили 10 мл раствора глюкозы.

Культиватор работал в режиме с интегрированной осветительно-аэрационной установкой – сине-красный свет и постоянная аэрация. Исследования проводились с 19.08.2017 г по 26.08.2017 г. Результаты исследования сведены в таблицу 3.3, построены графики (рис. 3.27 - 3.30).

Из полученных результатов следует, что раствор сахара, внесенный в емкости со сточными водами, окислился в течение 24 часов. Процесс окисления сопровождался выделением углекислоты. После этого наблюдался рост оптической плотности, что свидетельствует о росте хлореллы.

Таблица 3.4. Параметры режима работы культиватора хлореллы при очистке хозяйственно - бытовых сточных вод в период с 19.08.2017г. по 26.08.2017г.

Дата	Емкост ь	Освещение	Rx, мВ	O ₂ , мг/дм ³	Темп, С°	TDS, ppm	Опт.плотность				Кэф. пропуск ания среды, τ	Освещени ость, к/лк
							1	2	3	Ср. знач		
19.08.2017	До УФО	(без аэрации)	320	2,10	26,5	604	0,058	0,052	0,054	0,055	0,881	-
		2,5л раствора с культиватора хлореллы, 5л воды, 0,1л сточных вод до УФ										
	Хл-ла	(с аэрацией)	320	2,28	26,9	540	0,085	0,104	0,070	0,086	0,82	173,7
		2,5л раствора с культиватора хлореллы, 5л воды, 0,1л сточных вод до УФ										
После УФО	(без аэрации)	320	2,09	26,5	591	0,041	0,040	0,041	0,041	0,91	-	
	2,5л раствора с культиватора хлореллы, 5л воды, 0,1л сточных вод после УФ											
20.08.2017	До УФО	(без аэрации)	210	1,61	26,7	626	0,029	0,029	0,029	0,029	0,935	-
	Хл-ла	(с аэрацией)	210	1,62	30,1	598	0,111	0,108	0,119	0,113	0,771	163,2
	После УФО	(без аэрации)	220	1,62	26,1	604	0,061	0,065	0,061	0,062	0,867	-
21.08.2017	До УФО	(без аэрации)	230	1,58	25,8	588	0,091	0,091	0,093	0,092	0,809	-
	Хл-ла	(с аэрацией)	240	1,79	30,3	606	0,090	0,089	0,091	0,090	0,813	172,1
	После УФО	(без аэрации)	230	1,55	26,9	603	0,148	0,142	0,142	0,144	0,718	-
22.08.2017	До УФО	(без аэрации)	200	1,72	25,7	641	0,056	0,057	0,057	0,057	0,877	-
	Хл-ла	(с аэрацией)	190	1,60	27,6	666	0,106	0,111	0,051	0,089	0,815	172,5
	После УФО	(без аэрации)	200	1,59	25,9	620	0,155	0,170	0,174	0,166	0,682	-
23.08.2017	До УФО	(без аэрации)	-20	1,43	25,5	581	0,083	0,083	0,083	0,083	0,826	-
	Хл-ла	(с аэрацией)	-50	1,60	25,6	498	0,499	0,452	0,421	0,457	0,349	73,9
	После УФО	(без аэрации)	-20	1,50	25,5	556	0,107	0,098	0,099	0,101	0,793	-
24.08.2017	До УФО	(без аэрации)	80	1,20	25,1	594	0,036	0,034	0,033	0,034	0,925	-
	Хл-ла	(с аэрацией)	80	1,49	26,4	605	0,177	0,166	0,168	0,170	0,676	143,1
	После УФО	(без аэрации)	70	1,34	25,3	616	0,042	0,030	0,031	0,034	0,925	-
26.08.2017	До УФО	(без аэрации)	20	1,34	25,3	616	0,042	0,030	0,031	0,034	0,925	-
	Хл-ла	(с аэрацией)	10	1,51	29,6	597	0,049	0,049	0,049	0,049	0,893	189,1
	После УФО	(без аэрации)	30	1,44	24,5	628	0,109	0,102	0,102	0,104	0,787	-

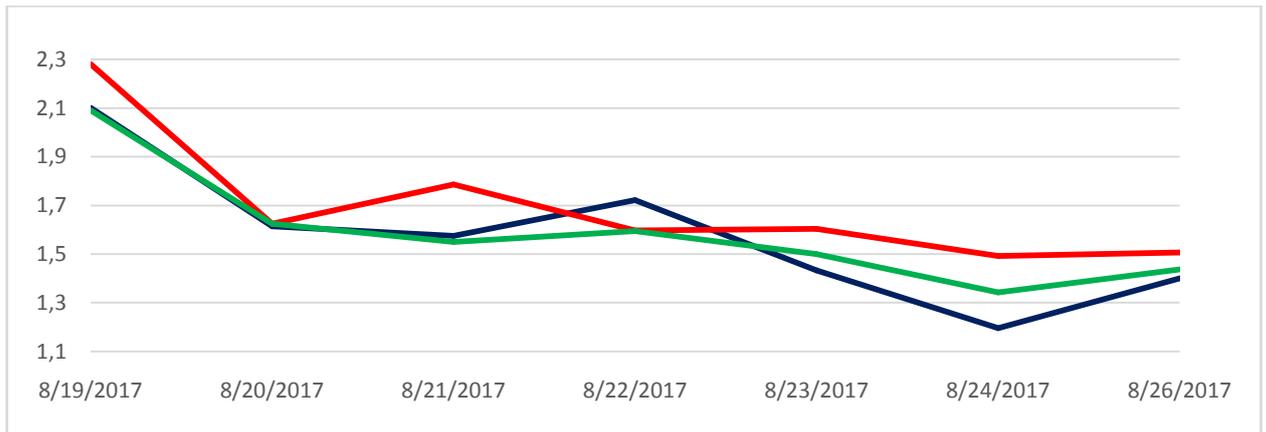


Рисунок 3.27 - Содержание растворенного кислорода в среде при культивировании хлореллы на реальных (до и после обеззараживания) и модельных сточных водах

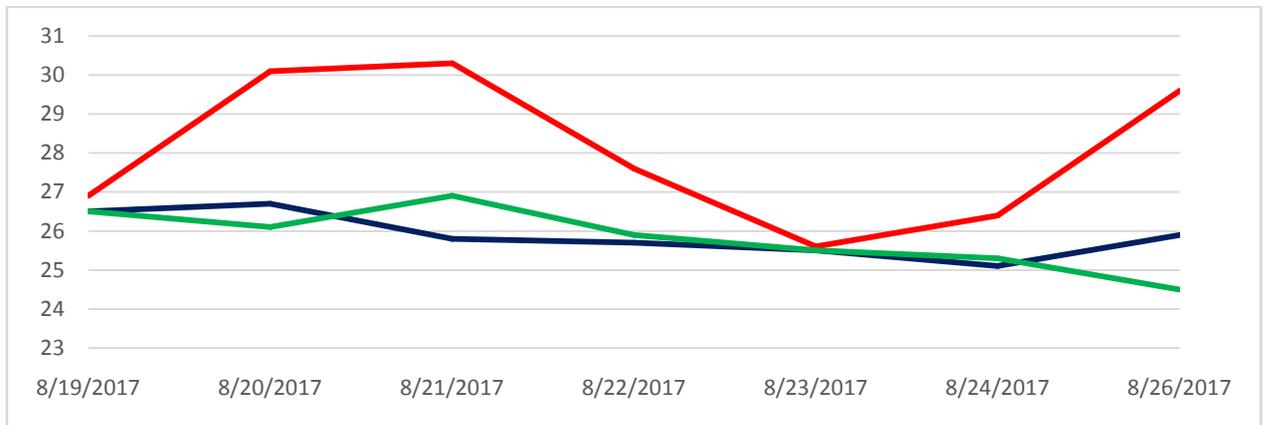


Рисунок 3.28 - Температура среды при культивировании хлореллы на реальных (до и после обеззараживания) и модельных сточных водах

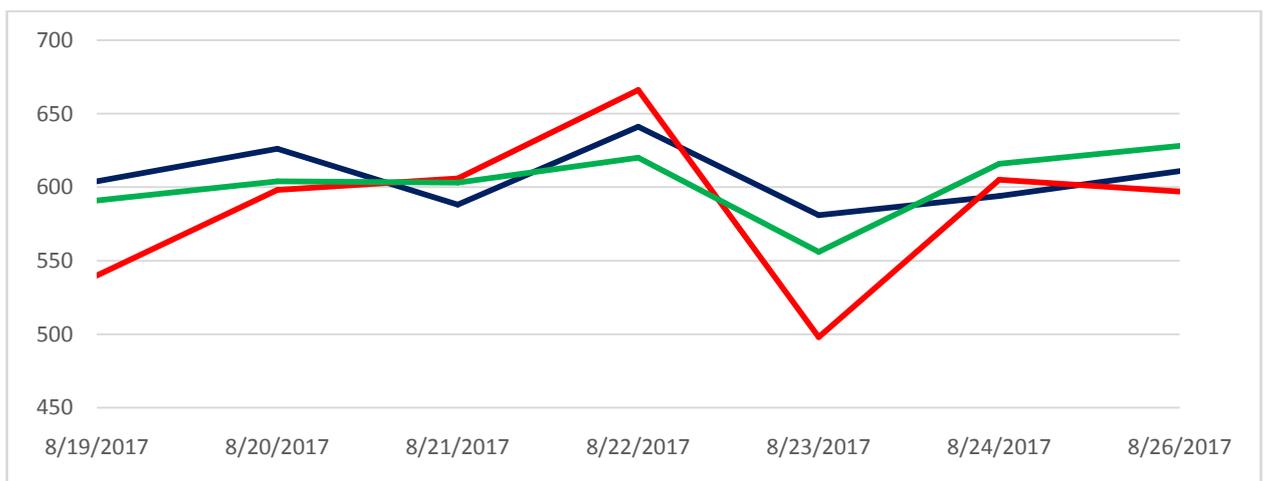


Рисунок 3.29 - Зависимость солесодержания жидкости (TDS) при культивировании хлореллы на реальных (до и после обеззараживания) и модельных сточных водах

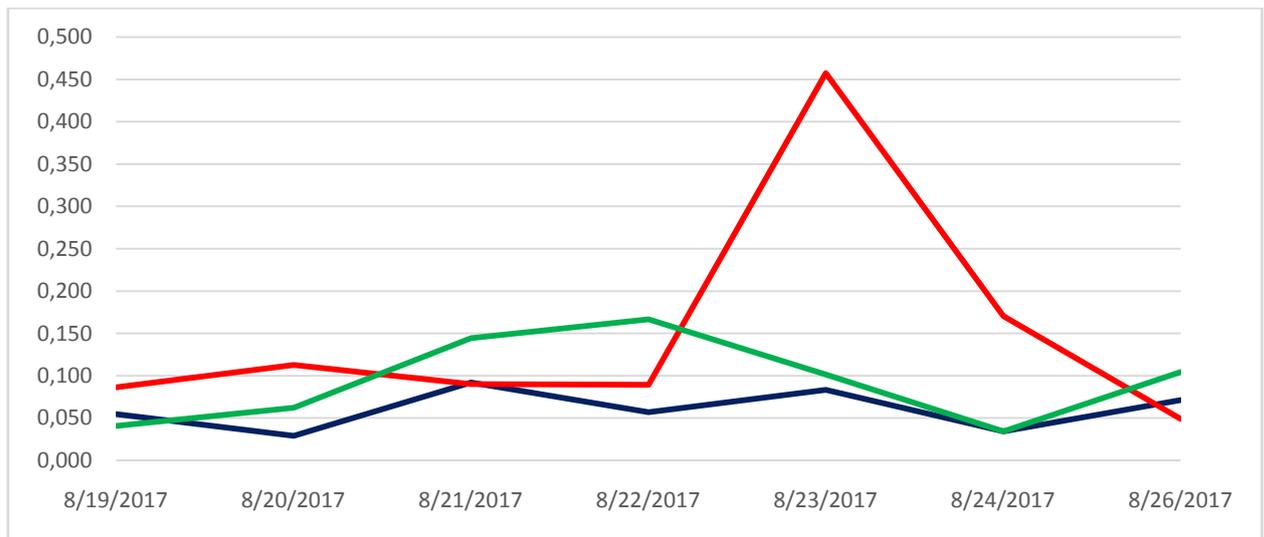


Рисунок 3.30 - Зависимость оптической плотности среды при культивировании хлореллы на реальных (до и после обеззараживания) и модельных сточных водах

Согласно графику (рис. 3.27) содержание растворенного кислорода, в емкости со сточными водами до обеззараживания, после окислительного процесса, при повышении оптической плотности культуры, наблюдается и увеличение концентрации кислорода, по сравнению с показателями в емкости со сточными водами после обеззараживания. Спустя сутки, метаболизируя углекислоту, выделение кислорода культурой уменьшилось и наблюдалась фаза отмирания (рис. 3.30). В емкости со сточными водами после обеззараживания такого явления не наблюдалось.

Таким образом, можно сделать вывод, что микроводоросли хлореллы являются действующим и перспективным средством очистки сточных вод от органических соединений. После очистки сточных вод, за счет ряда полезных свойств хлореллы, возможно ее дальнейшее использование в аквакультуре на нужды питания.

3.6 Выводы по 3-ей главе

1. Предложены методики расчета и подбора источников света, 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.

2. Запроектирован и изготовлен опытный образец осветительно-аэрационной установки, интегрируемый в емкость для культивирования микроводорослей.

3. Исследованы режимы культивирования хлореллы на модельной среде жидкости и реальной сточной жидкости при различной интенсивности освещения, а также при смене спектра излучаемого светового потока. Наилучшие результаты по приросту биомассы, производству кислорода получены при сине-красном освещении. Контрольным являлся культиватор с одинаковыми начальными условиями эксперимента, но с естественной освещенностью.

4. Определены технологические параметры культивирования хлореллы в условиях искусственного освещения реальной сточной жидкости до и после обеззараживания ультрафиолетом. Выявлена большая эффективность культивирования хлореллы на реальных сточных водах без обеззараживания.

ГЛАВА 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАНОВКИ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

4.1 Рыборазводческая ферма в г.Шахты «ИП Насонов»

Проведя ряд лабораторных экспериментов на культиваторе хлореллы и получив положительный результат использования осветительно-аэрационной установки, было решено провести анализ его эффективности работы в промышленных условиях эксплуатации. Объектом исследования стала частная рыборазводная ферма, находящаяся в г.Шахты и занимающаяся разведением сомов (рисунок 4.1).



а

б

в

Рисунок 4.1 - Бассейн с выращиваемой рыбой: а – мальки; б – сеголетки; в – крупные особи.

Схема оборотных сточных вод рыборазводного предприятия работает по принципу установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), и представлена на рисунке 2. Включает схема очистки следующие элементы: 1 – бассейны для рыбы, 2 – механический барабанный сетчатый фильтр, 3 – емкости биофильтра (а – со статической нагрузкой, б – с плавающей нагрузкой), 4 – воздуходувка, 5 – диспергатор, 6 – циркуляционный насос, 7 – теплообменник, 8-

циркуляционный насос, 9 – узел денитрификации, 10 – отстойник с заборником активного ила.

Система очистки вод работает следующим образом: из бассейнов с рыбой 1, сточные воды следуют в механический барабанный сетчатый фильтр 2, где задерживаются твердые частицы и часть коллоидных веществ. После фильтра механической очистки 2 установлены емкости 3а со статической загрузкой пластиковыми «сотами» и загрузкой на 80%, и 3б с плавающей загрузкой (рисунок 4.2), выполняющие роль фильтра биологической очистки. Площадь сот составляет 230 м^2 . Выделение сомами растворенного азота составляет $0,478\text{ кг/сут.}$ [12]. Объем загрузки составляет:

$$V_3 = (1000 \times R_n / \text{УПБ}) / S_v = 1000 * 0,478 / 1,4 / 230 = 1,5 \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

где, S_v – площадь поверхности загрузки на 1 м^3 ;

УПБ – удельная производительность биофильтра по окислению аммонийного азота, ($1,4\text{ г/м}^2$);

R_n – количество выделяемого азота, (кг/сут.).

Таким образом объем загрузки биофильтра около $1,2\text{ м}^3$ при общем объеме - $1,5\text{ м}^3$.

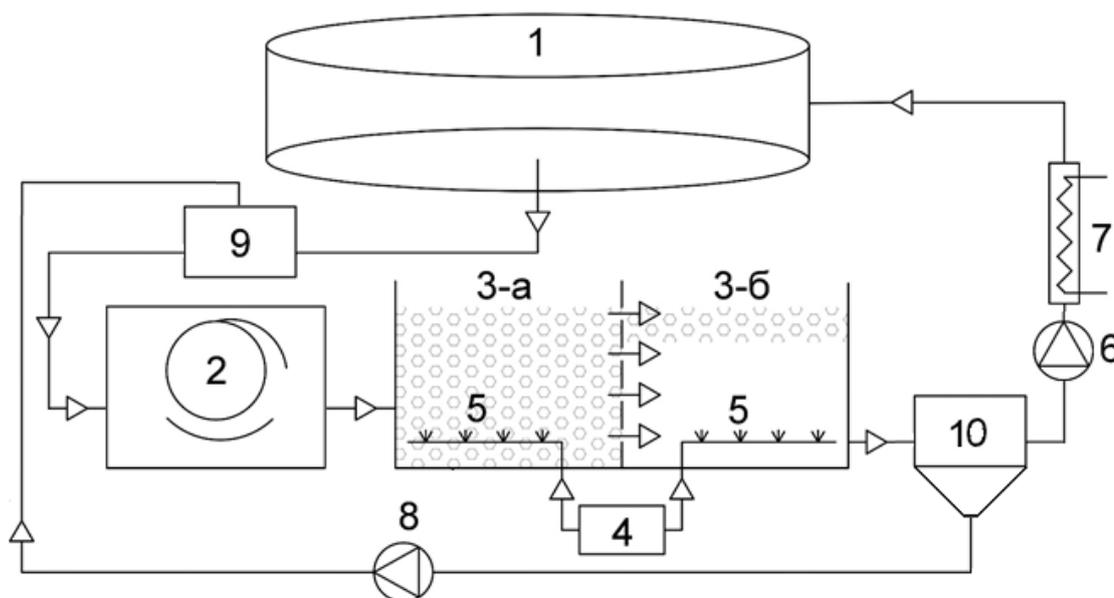


Рисунок 4.2 - Схема очистки оборотных сточных вод частного рыбопроизводного предприятия г. Шахты

В фильтр биологической очистки при помощи воздуходувки 4, через диспергаторы 5, подается сжатый воздух для аэрации альгобактериальной смеси. Далее, очищенные сточные воды поступают в отстойник 10, где происходит забор активного ила в денитрификатор 9. При помощи циркуляционного насоса 6, сточные воды из отстойника 10 следуют обратно в бассейн с рыбой 1 через теплообменник 7 для поддержания необходимой температуры.

На рыборазводческой ферме установлено 4 бассейна объемом по 4,5 м³. Объем циркуляционной воды – 21 м³. Мощность рыборазводческой фермы составляет около 700 кг рыбы в месяц.



Рисунок 4.3. Носители биомассы биофильтра рыбоводческой фермы

4.1.1 Анализ эффективности очистки сточных вод по существующей технологии

Существующая схема очистки оборотных вод на рыбоводческой ферме обеспечивает снижение химического потребления кислорода (ХПК) на 50%, а биологического потребления кислорода (БПК) на 5% (таблица 4.1).

Эффективность существующей схемы очистки оборотных сточных вод недостаточна для интенсивного рыборазведения. Необходимый расход воды для поддержания благоприятных условий содержания сома составляет 9 м³/час. Низкая эффективность очистки обусловлена развитием микроорганизмов в

скапливаемом активном иле, а также биомассы на плавающей загрузке с недостаточным освещением, либо его отсутствием. Подача воздуха на аэрацию является избыточной, что способствует поднятию активного ила со дна биофильтра и его уносу далее по трубопроводам в бассейн с рыбой и, как следствие, повышенной мутности воды. Наблюдалась раздражительность у рыб, ее низкая активность, слабая интенсивность питания, и, как следствие, медленный прирост массы рыб.

В процессе эксплуатации, система биологической очистки была дополнена узлом денитрификации - из биофильтра циркуляционным насосом 8 часть сточных вод поступала на узел денитрификации 9, после чего она возвращалась в систему перед механическим фильтром (таблица 4.1).

Таблица 4.1. Выборочные показатели качества сточных вод на выходе из бассейна, после биофильтра и после денитрификации.

			рН	ХПК, мгО/л	О ₂ , мг/л	НН ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	БПК, 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		с денитрификацией	-	94,0	3,6	0,050	0,18	95,0	-	-	-

Согласно результатам анализа (таблица 4.1) после введения в технологическую схему биологической очистки оборотных вод узла денитрификации ХПК снилось по отношению к исходным концентрациям на 89%, нитраты - 39,9%, что показывает эффективность проводимых мероприятий.

4.1.2 Монтаж и исследование режима работы осветительно-аэрационной установки в биофилтре

Для повышения эффективности биологической очистки, а также снижения затрат на денитрификацию, в биофилтр была интегрирована осветительно-аэрационная установка 8 (рис. 4.4), подключенный к источнику питания 12 Вольт и двум воздушным компрессорам "Barbus" мощностью 2,5 Ватта и производительностью по 3 л/мин каждый, для аэрации очищаемых сточных вод и охлаждения светодиодов (рис. 4.5, 4.6).

Для анализа эффективности работы осветительно-аэрационной установки произведен расчет освещенности в биофилтре. Оптическая плотность сточных вод составляла - после бассейнов 0,02, а после биофилтра 0,011. Конструкция осветительно-аэрационной установки включает 240 светодиодных элементов с излучением по 13,3 Лм/шт.

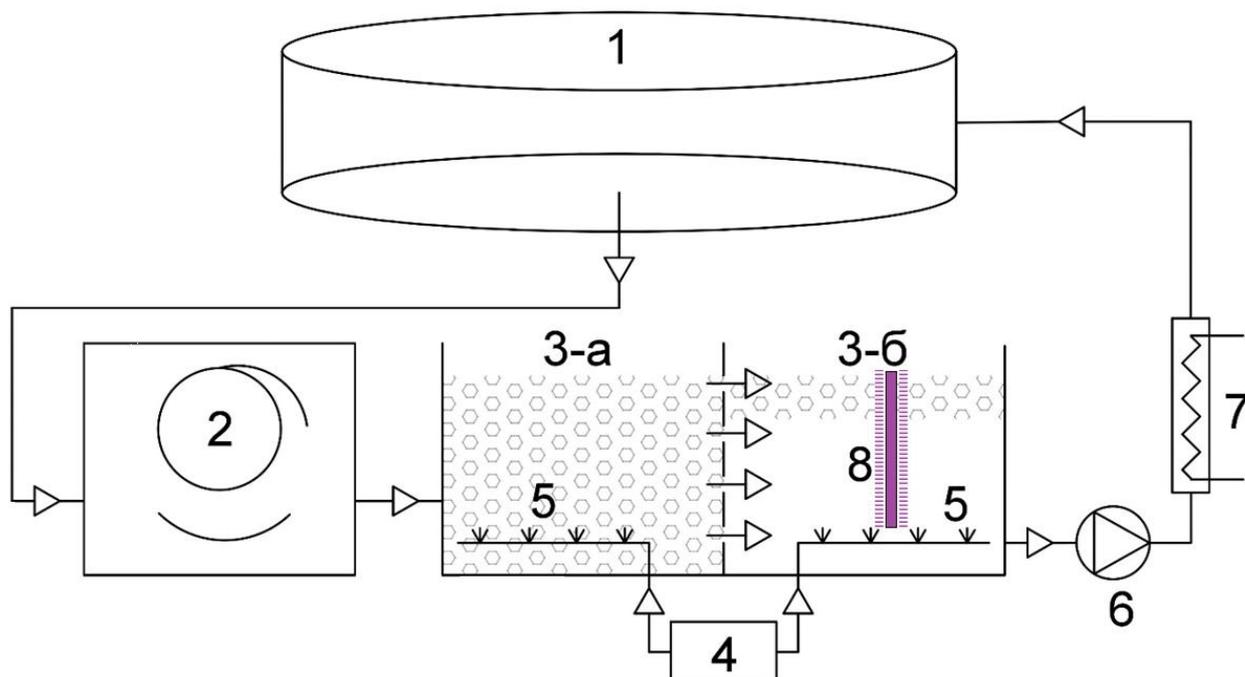


Рисунок 4.4 - Модернизированная схема очистки оборотных сточных вод частного рыбозаводного предприятия г. Шахты с установленной осветительно-аэрационной установкой



Рисунок 4.5 - Фильтр биологической очистки вод рыбоводческой фермы с носителями биомассы и установленной аэрационно-осветительной установкой

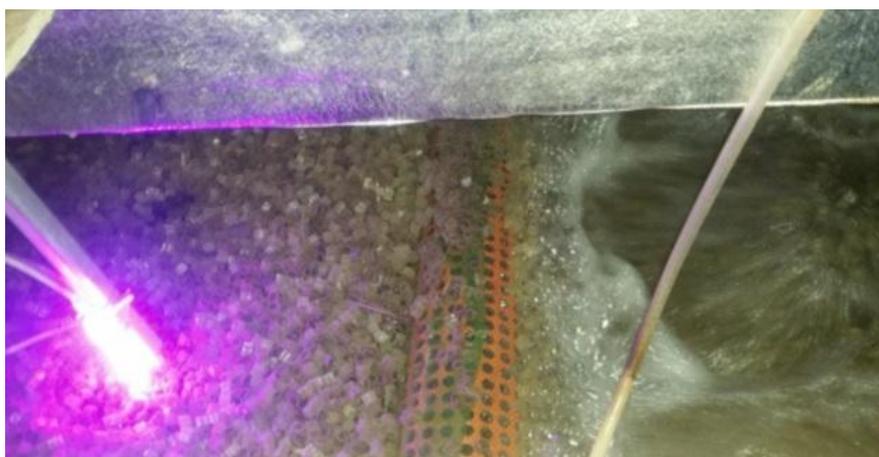


Рисунок 4.6 - Фильтр биологической очистки рыбоводческой фермы с емкостью со статической загрузкой и аэрационно-осветительной установкой

По оптической плотности очищаемых сточных вод определим коэффициент светопропускаемости среды:

$$\tau_{(\text{после бассейна})} = 10^{-D} = 10^{-0,02} = 0,95 \quad (4.2)$$

$$\tau_{(\text{после биофильтра})} = 10^{-0,011} = 1 \quad (4.3)$$

Согласно формуле (3), производим расчет освещенности в биофильтре и строим график (рис. 4. 6):

$$Ev = \frac{\Phi * \tau}{\pi * h^2 * tg^2(\Omega/2)} \quad (4.4)$$

$$E_{(10\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 32175 \text{Лк} \quad (4.5)$$

$$E_{(15\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 14300 \text{Лк} \quad (4.6)$$

$$E_{(20\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * x0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 8044 \text{Лк} \quad (4.7)$$

$$E_{(25\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * x0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 5148 \text{Лк} \quad (4.8)$$

$$E_{(30\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * x0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 3275 \text{Лк} \quad (4.9)$$

Осветительно-аэрационная установка была установлена в центре емкости биологического фильтра. Объем биофильтра составлял при размерах $1 \times 1,4 \times 1,1 (\text{а} \times \text{б} \times \text{в}) = 1,55 \text{ м}^3$. Распределение света осветительно-аэрационной установкой в биофильтре продемонстрировано на рис. 4.8. Корпус биофильтра заполнен плавающими носителями биомассы на 55%. Из этого следует, что 45% осветительно-аэрационной установки, находящихся в придонной зоне, беспрепятственно излучают свет придонному активному илу, а также слою плавающих носителей биомассы.

В процессе очистки, носители биомассы перемешиваются и перемещаются по биофильтру за счет подачи сжатого воздуха на аэрацию. Таким образом, носители биомассы, плавающие в непосредственной близости к ОАУ, являются преградой для освещения отдаленных носителей биомассы, а также, перемешиваясь и кратковременно поглощая большую дозу света, следуют дальше по биофильтру, обеспечивая микроорганизмам цикл культивирования «день-ночь».

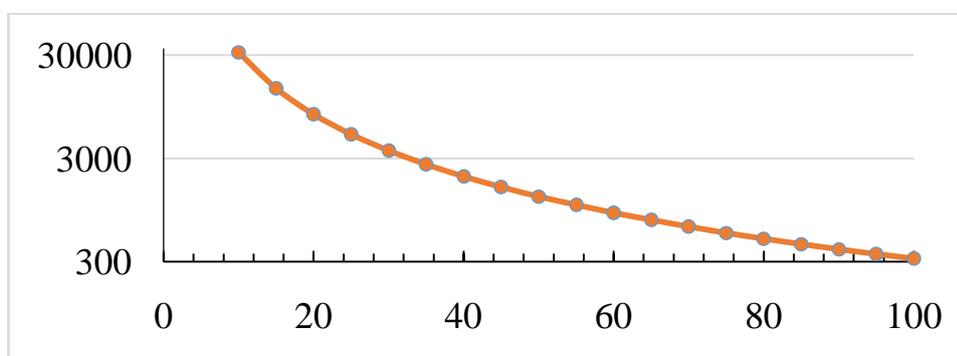


Рисунок 4.7 - Уровень освещенности биомассы биофильтра (Лк) в зависимости от расстояния от осветительно-аэрационной установки (см)

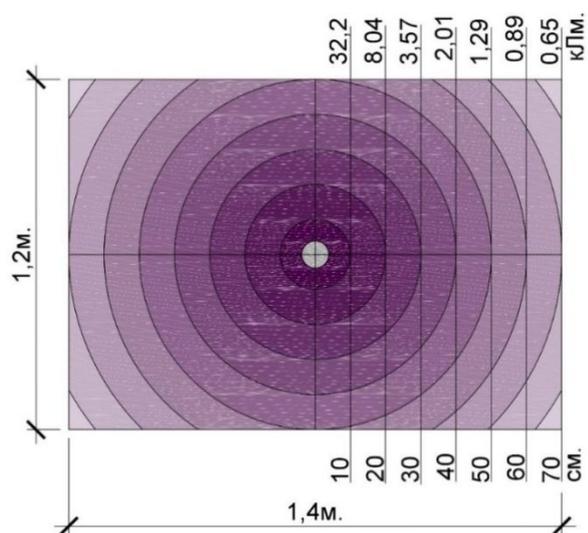


Рисунок 4.8 - Распределение света в биофилтре

Таким образом, считая освещенность 0,65 кЛм минимальной и достаточной для освещения биомассы на расстоянии 70 см от осветительно-аэрационной установки (рис. 4.8), определяем, что расстояние между смежными осветительно-аэрационными установками будет равно $(70 * 2)$ 140 см, при расположении их на расстоянии 70 см от стенок биофилтра. Данные установочные размеры осветительно-аэрационных установок рекомендуются к проектированию новых и реновации существующих биофилтров для очистки вод рыбоводческих ферм.

4.1.3. Проведение эксперимента, обработка и анализ результатов

В соответствии с полученным выводом об оптимальном размещении по освещенности (рис. 4.8) аэрационно-осветительная установка была интегрирована в биологический фильтр и запущена в работу в опытно - промышленных условиях очистки оборотных вод рыбоводческой фермы.

Через месяц после установки осветительно-аэрационной установки были отобраны пробы сточных вод и отправлены на анализ в аккредитованную лабораторию. По результатам данного анализа (таблица 4.2), наблюдается снижение ХПК на 90%, а БПК на 81% [111]. Измерения проводились по следующим методикам:

ХПК, (мгО/л) – ПНД Ф 14.162.100-97;

O₂, (мг/л) - ПНД Ф 14.1:2:3.101-97;

NH₄⁺, (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2.1-95;

NO₂⁻, 9мг/л) - ПНД Ф 14.1;2.3-95;

NO₃⁻, (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2:4.4-95;

PO₄³⁻ (мг/л) – ПНД Ф14.1:2:4.112-97;

БПК, (мгО₂/л) - ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97;

В.в., (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2.110-97

Полученные результаты на фоне очистки путем денитрификации доказывают рациональность использования осветительно-аэрационной установки. Потребляемая мощность осветительно-аэрационной установкой составила 63 Вт/час, что по затратам не уступает стоимости денитрификации.

Анализируя полученные результаты, можно видеть, что работа аэрационно-осветительной установки повышает эффективность очистки вод по нормируемым ингредиентам по сравнению ее отсутствием (таблица 4.3).

Таблица 4.2 - Показатели очистки оборотных вод в промышленных условиях по основным вредным для рыб элементам (мг/л)

			рН	ХПК, мгО/л	O ₂ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	БПК, мгО ₂ /л	В.В., мг/л
1	Исходная	На выходе из бассейна	7,0	860,0	5,4	0,42	0,87	158,0	9,1	80,0	99,5
2		После биофильтра	7,3	430,0	5,6	0,05	0,15	142,0	8,7	76,0	58,5
3	С аэрационно-осветительной установкой (через 10 дней)	Из бассейнов	-	530,0	6,2	2,34	0,60	218,0	-	-	-
4		После биофильтра	6,4	88,0	7,4	2,90	0,50	189,0	14,0	15,0	13,0
5		после механического фильтра	6,3	68,0	6,7	3,22	0,60	209,0	13,0	9,9	12,2
6	-	с денитрификацией	-	94,0	3,6	0,05	0,18	95,0	-	-	-

Аналогичные результаты (таблица 4.3) были получены при очистке сбросных (продувочных) вод, направляемых в городскую систему водоотведения, качество которых соответствует нормативам приема сточных вод.

Применим методику эквивалентирования для совместной оценки трех режимов по сумме процентов очистки по трем режимам очистки: 1 - существующий; 2 - с осветительно-аэрационной установкой; 2а - с осветительно-аэрационной установкой + сетчатый фильтр; 3- с денитрификацией.

Таблица 4.3 - Эффективность очистки оборотных вод в промышленных условиях по основным вредным для рыб элементам (%)

			ХПК, мгО/л	Э,% (ХПК)	NO ₃ ⁻ , мг/л	Э,% (NO ₃ ⁻)	БПК, 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-осветительной установкой (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

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

Косвенным показателем эффективности очистки вод с осветительно-аэрационной установкой является увеличение в течение 2-х месяцев опытно-промышленной эксплуатации весовых приростов выращивания рыб на 20-30% в месяц при более полном использовании кормов ввиду повышения прозрачности воды.

Таким образом, для существующих и вновь проектируемых установок рыборазведения можно рекомендовать встраивать в них осветительно-аэрационную установку и/или узел денитрификации.

Осветительно-аэрационная установка проста в эксплуатации, в случае нехватки её мощности возможен монтаж дополнительных аналогичных модулей, а также в случае протечки обеспечена безопасность – напряжение, подаваемое на светодиоды, составляет не более 12В.

Следует отметить, что пробы очищаемых сточных вод брались из зоны носителей биомассы. Согласно визуальному осмотру анализам и расчету освещенности (рис. 4.7), на дне биофильтра наблюдался активный процесс развития микроорганизмов. В углах корпуса биофильтра протекал менее интенсивный рост, обусловленный низкой в этих зонах подвижностью очищаемой среды. Таким образом, учитывая то факт, что осветительно-аэрационная установка, работающая на полную мощность, позволила достичь повышения ХПК на 90% и БПК на 81%, а освещенность наиболее отдаленных придонных участков составляла не менее 500 Лк (рис. 4.6 и 4.7), мощность ОАУ полностью соответствовала потребности биофильтра в освещении. А вследствие более глубокой очистки вод с применением аэрационно-осветительной установки прирост массы рыбы в бассейнах повысился на 20 - 25%, что является экономическим стимулом к промышленному использованию новой технологии.

4.2 Очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод Логистического парка

Получив положительный результат использования осветительно-аэрационной установки в системе очистки оборотных сточных вод рыбоводческой фермы в г.Шахты, было принято решение провести анализ возможности его работы в промышленных условиях эксплуатации при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. Объектом исследования стали локальные очистные сооружения (ЛОС) хозяйственно-бытовых сточных вод Логистического парка, расположенные по адресу г.Аксай, Новочеркасское шоссе, 111 (рис. 4.9).

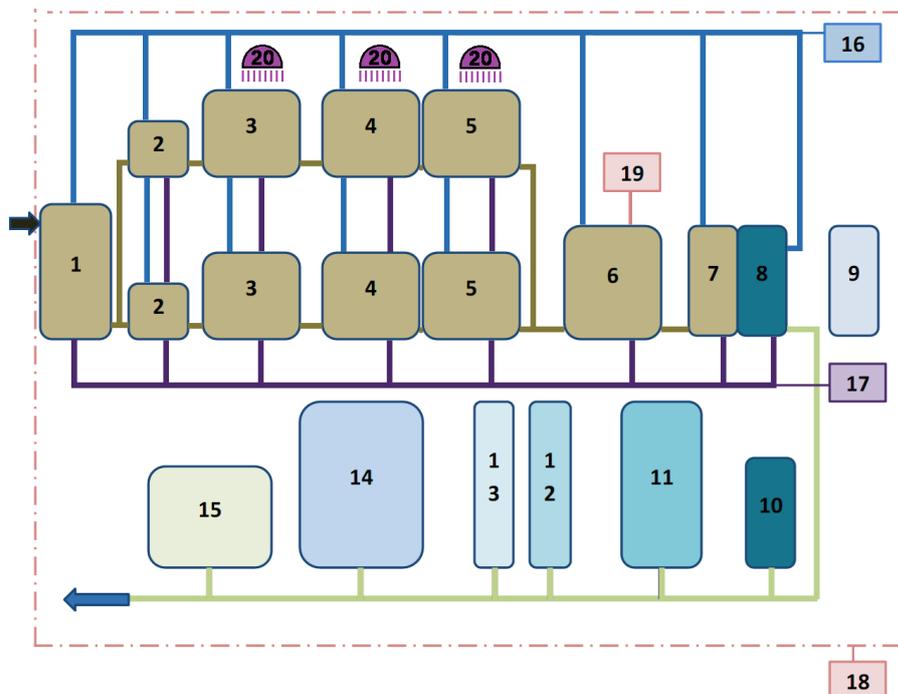


Рисунок 4.9 - Принципиальная технологическая схема ЛОС Логистического парка

ЛОС включают в себя четыре технологические линии, производительностью по $50 \text{ м}^3/\text{сутки}$ каждая. В настоящее время поступающий расход хозяйственно-бытовых сточных вод составляет около $70 \text{ м}^3/\text{сутки}$, вследствие чего рабочими являются две технологические линии. В состав технологических линий входят: 1 - КНС; 2 - система удаления осадка; 3 -

первичный отстойник с плавающими носителями биомассы, работающими в анаэробном режиме; 4 - биобарабан 1-й ступени; 5 - биобарабан 2-й ступени; 6 - вторичный отстойник; 7 - блок с «Ершовой» загрузкой; 8 - блок с «Плавающей» загрузкой; 9 - УФ установка обеззараживания воздуха на ЛОС; 10 - УФ установка обеззараживания очищенных сточных вод; 11 - песчаный фильтр; 12 - сорбционный фильтр 1-й ступени; 13 - сорбционный фильтр 2-й ступени; 14 - емкость промывной воды; 15 - микросетчатый фильтр; 16 - система аэрации; 17 - система рециркуляции и удаления осадка; 18 - система управления; 19 – хим. станция, 20 – светодиодное освещение.

Роторные биофильтры (рис. 4.10) стали широко применяться в России в конце прошлого века, совместили в себе преимущества биофильтров и аэротенков. Предпочтительность их использования основана на простой эксплуатации, компактности установки, скорости массообменных процессов, работу при перепадах в подаче воды и воздуха, компактности, малыми капитальными и эксплуатационными затратами.

Аэрация роторных биофильтров осуществляется за счет вращения ротора, наполовину погруженного в очищаемые сточные воды. Вращающийся ротор с большой рабочей поверхностью, на которой культивируются микроорганизмы, наполовину погружен в очищаемые сточные воды и, вращаясь, насыщает микрофлору кислородом.



Рисунок 4.10 - Фильтр биологической очистки барабанного типа

4.2.1 Исследование исходного качества сточных вод и постановка задачи

Используемая схема очистки хозяйственно-бытовых сточных вод должна соответствовать нормам сброса очищенных сточных вод в водоем рыбохозяйственного значения. В процессе эксплуатации система очистки подвергалась неоднократной модернизации. Проектом предполагалось, что после биобарабанов можно ограничиться вторичным отстойником и блоком доочистки с «ершовой» загрузкой.

По данным лабораторных анализов степень очистки после 2-ой ступени биологической очистки позволяла добиться снижения ХПК на 93%, а БПК на 98%. В сточных водах на выходе из ЛОС наблюдались превышения концентраций загрязняющих веществ над нормами сброса в водоем рыбохозяйственного значения по БПК, нитратам, азоту аммонийному и фосфатам, (таблица 4.4). Поэтому схема ЛОС Логистического парка была модернизирована и дополнена до нынешнего состояния (рис. 4.8).

После проведения модернизации отстойник и биобарабаны 1-ой и 2-ой ступеней одной из линий очистки были доукомплектованы лампами освещения. Освещение биобарабанов осуществлялось светодиодными лампами, излучающими белый свет, мощностью по 30 Вт. Лампы были направлены на белый потолок технического помещения, от которого свет отражался и падал на поверхность биобарабана.

Первичный отстойник, расположенный на крыше очистных сооружений (рис. 4.11), до модернизации освещался только в светлое время суток, в теплый период, за счет естественного освещения. В зимнее время, для предотвращения обмерзания, корпус первичного отстойника накрывался утепленной крышкой, и свет не проникал внутрь конструкции. Для повышения эффективности очистки, а также снижения затрат и круглосуточного режима работы, первичный отстойник с плавающими носителями биомассы был оснащен двумя светодиодными лампами с сине-красным спектром света, мощностью по 30 Вт каждая (рис. 4.12).



Рисунок 4.11 - Первичный отстойник с плавающей загрузкой

В отличие от осветительно-аэрационной установки, данный метод освещения имеет ряд преимуществ и недостатков. Положительной стороной используемого метода освещения являются удобство в обслуживании, легкость монтажа, естественное охлаждение светодиодов. В качестве недостатков можно выделить, что в данном способе освещается исключительно верхний слой носителей биомассы, и свет не проникает в нижнюю часть очищаемых сточных вод.

Таблица 4.4 - Среднемесячные показатели исходных и очищенных сточных вод на ЛОС "Лого-парк Дон"

	рН	ХПК, мгО/л	БПК, мгО/л	Temp , °С	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ мг/л	В.В., мг/л
<i>Исходная (усреднитель)</i>	-	808	330	-	30,16	-	-	11,4	-
<i>Очищенная (после 2ой ступени биореактора)</i>	-	59	6,2	-	2,82	-	40	9,3	-
<i>Очищенная (после модернизации и с освещением)</i>	7.2	10	3,46	11.5	0.37	0.02	60	0.05	6.6



Рисунок 4.12 - Светодиодное освещение первичного отстойника

После проведения модернизации, а также встраивания элементов освещения первичного отстойника и биобарабанов 1-ой и 2-ой ступеней одной из линий очистки, были получены положительные результаты по повышению эффективности очистки – снижение ХПК и БПК на 99%. Для оценки влияния освещения на положительную динамику очистки сточных вод было решено заменить освещение биобарабанов 1-ой и 2-ой ступеней на светодиодные лампы с сине-красным спектром света. Помимо этого, установить лампы непосредственно над самими барабанами для увеличения освещаемой площади, и, как следствие, повышения эффективности очистки.

4.2.2 Внедрение осветительных элементов в биофильтры барабанного типа

Биофильтры барабанного типа 1-й и 2-й ступеней одной из линий очистки, ранее освещаемые люминесцентными лампами белого света, были оснащены светодиодными лампами с сине-красным спектром излучения. Лампы были установлены непосредственно над биофильтрами, и микроорганизмы, развивающиеся на поверхности биофильтра, находились под прямыми лучами сине-красного света (рисунок 4.13).

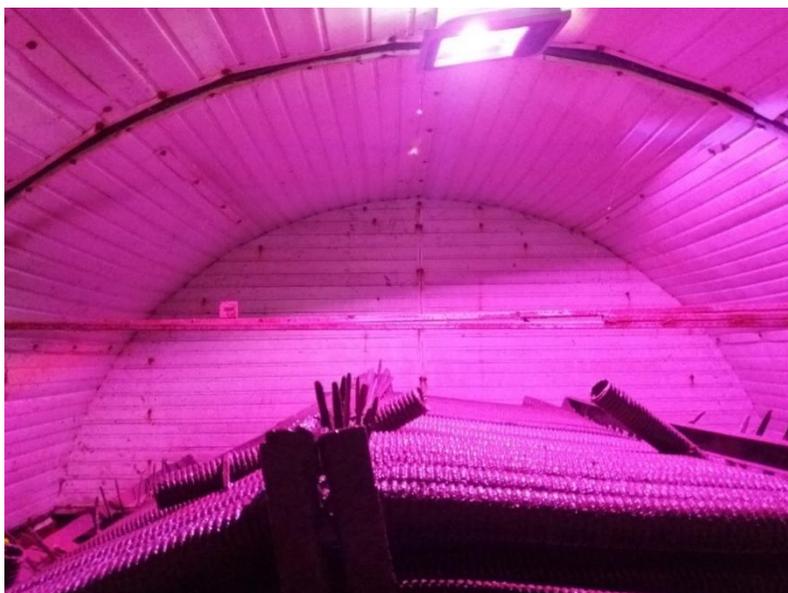


Рисунок 4.13 - Светодиодное освещение биофильтров барабанного типа 1-й и 2-й ступеней светом с сине-красным спектром

4.2.3 Обработка и анализ результатов

Спустя месяц после замены освещения над биобарабанами на светодиодные лампы с сине-красным спектром света, были отобраны пробы на выходе из системы очистки сточных вод (таблица 4.5).

Таблица 4.5. Показатели очистки вод после установления светодиодного освещения с сине-красным спектром над биофильтрами барабанного типа 1-й и 2-й ступеней

	рН	ХПК, мгО/л	БПК, мгО/л	Temp, °С	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	В.В., мг/л
<i>После замены ламп</i>	7.2	10	3,46	11.5	0.37	0.07	60	0.05	6.6
<i>До замены ламп</i>	7.6	18	-	12.5	1,7	0.07	71	0.7	3.4

Помимо лабораторных исследований был произведен визуальный осмотр биобарабанов 1-й и 2-й ступеней с освещением и без него (рис. 4.14). С освещением люминесцентными лампами белого света поверхность биобарабана

была покрыта толстым слоем аэробных, анаэробных и аноксидных микроорганизмов, толщина которого достигала до 1,5см.

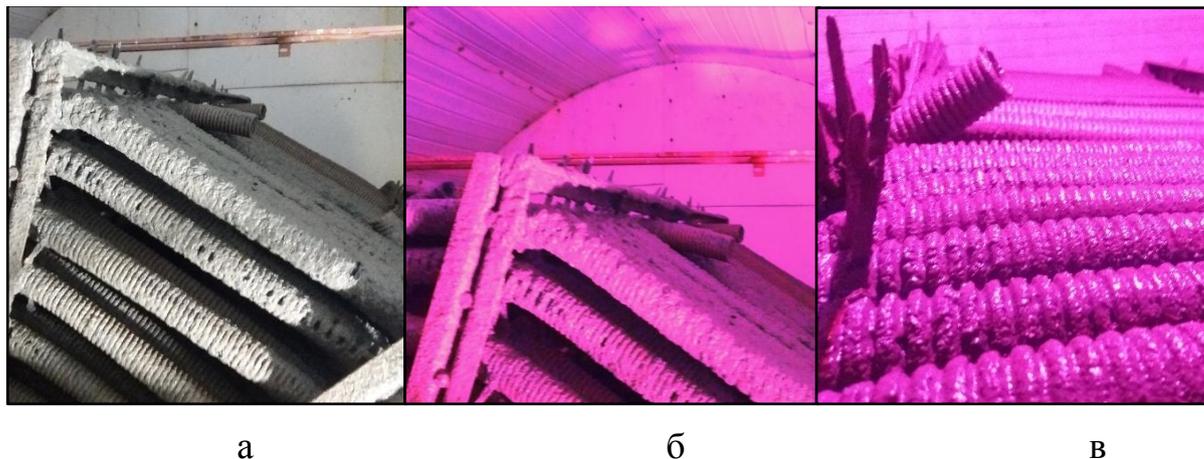


Рисунок 4.14 - Биобарабан 1-ой ступени: а – с светодиодным люминесцентным освещением белого спектра; б – сразу после включения сине-красного светодиодного освещения; в – через месяц после включения сине-красного освещения

При визуальном осмотре обнаружено уменьшение налипшего слоя биомассы на поверхность биобарабана (рисунок 4.14). При обеспечении требуемого количества кислорода для нужд аэрации, а также включении сине-красного освещения происходит повышение активности и прирост аэробных микроорганизмов, которые тем самым вытесняют анаэробные и аноксидные микроорганизмы.

Согласно данным (таблица 4.5), при сокращении количества анаэробных и аноксидных микроорганизмов через месяц после установки сине-красного освещения, в очищенных водах наблюдается повышение ХПК на 80%, нитритов на 18%, фосфатов в 14 раз. Такой результат обусловлен увеличением видового разнообразия микроорганизмов на поверхности загрузки биофильтра, дополнительным насыщением вод кислородом, продуцируемым водорослями альгобактериального сообщества биомассы

4.3 Выводы по 4-й главе

1. На базе полученных выводов лабораторных исследований произведена реновация технологической схемы очистки реальных оборотных вод на

очистных сооружениях рыбоводческой фермы в г.Шахты с интегрированием осветительно-аэрационной установки в биофильтр и дополнительного узла денитрификации.

2. Опытные - промышленные исследования показали повышение эффективности очистки по, %: ХПК - 90, БПК - 81 нитратов - -39,9. Потребляемая мощность осветительно-аэрационной установки составила 63 Вт/час, что не превышает эксплуатационные затраты денитрификации. Косвенным показателем эффективности очистки вод с осветительно-аэрационной установкой является увеличение в период опытно-промышленной эксплуатации весовых приростов выращивания рыб на 20 -30% в месяц при более полном использовании кормов ввиду повышения прозрачности воды

3. Установлено расчетом и подтверждено экспериментально расстояние между смежными осветительно-аэрационными элементами в биореакторе должно быть не более 140 см, при расположении их на расстоянии 70 см от стенок. Данные установочные размеры осветительно-аэрационной установки рекомендуются к проектированию новых и реновации существующих очистных сооружений биологической очистки.

4. На базе положительных результатов использования осветительно-аэрационной установки в системе очистки оборотных сточных вод рыбоводческой фермы в г.Шахты, было принято решение провести анализ возможности его работы в промышленных условиях эксплуатации при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. (Объектом исследования стали локальные очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод Логистического парка). Для этого первичный отстойник и биобарабаны 1-ой и 2-ой ступеней одной из линий очистки были доукомплектованы светодиодными лампами с сине-красным спектром излучения.

5. 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%, нитритов на 18%, фосфатов в 12 раз, что обусловлено увеличением видовой разнообразия микроорганизмов на поверхности загрузки биофильтра, дополнительным насыщением вод кислородом, продуцируемым водорослями альгобактериального сообщества биомассы.

Глава 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕШЕНИЙ В УСТАНОВКАХ ВОДООЧИСТКИ

5.1. Разработка рекомендаций по внедрению осветительно-аэрационной установки на рыбопроизводческих предприятиях

На основании результатов и проведенных исследований составлены рекомендации по использованию осветительно-аэрационной установки на рыбопроизводческих предприятиях:

- интеграция осветительно-аэрационной установки в биофильтр дает повышение эффективности биологической очистки, а также снижение затрат на денитрификацию или отказ от нее;
- использование освещения биоценоза биофильтра проходит в сине-красном спектре света;
- освещенность биомассы определяется индивидуально для каждого биофильтра по разработанной методике расчета;
- количество осветительно-аэрационных устройств и расстояние между ними определяется по методике расчета;
- показателем эффективности очистки вод после внедрения осветительно-аэрационной установки является увеличение в течение 2-х месяцев опытно-промышленной эксплуатации привесов выращивания рыб в процентном соотношении;
- в случае нехватки мощности осветительно-аэрационной установки, или при наращивании производительности, возможен монтаж дополнительных аналогичных модулей;
- обеспечена безопасность эксплуатации осветительно-аэрационной установки – напряжение, подаваемое на светодиоды, составляет не более 12В.

5.2 Разработка рекомендаций по повышению эффективности очистки городских сточных вод с применением осветительно-аэрационных установок

На основании результатов проведенных исследований, составлены рекомендации по использованию осветительного элемента для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод:

- применение освещения первичного отстойника и биобарабанов 1-ой и 2-ой ступеней очистки дает снижение ХПК и БПК на 99%;
- использование освещения биоценоза биофильтра проходит в синем-красном спектре света, с длиной волны 440-500 нм;
- освещение осуществляется от светодиодных ламп, мощность которых рассчитывается индивидуально;
- освещение биоценоза биофильтра способствует развитию аэробных микроорганизмов, вытесняя, тем самым, анаэробные и аноксидные;
- сокращение количества анаэробных и аноксидных микроорганизмов дает повышение ХПК на 80%, нитритов на 18%, фосфатов в 14 раз.
- рекомендуется установку ламп производить непосредственно над самими биобарабанами для увеличения освещаемой площади, и, как следствие, повышения эффективности очистки.

5.3 Анализ стоимости использования светодиодных осветительных элементов и сокращения затрат на аэрацию

5.3.1 Сравнительный анализ затрат на внедрение и эксплуатацию светодиодных элементов освещения

Проведя анализ рынка светодиодных элементов, было обнаружено большое количество европейских и китайских производителей. Стоимость светодиодных элементов варьируется в зависимости от мощности светодиодов, их конструкции, а также от качества их изготовления. Большая часть

производителей светодиодной техники предлагают свою продукцию по заманчиво низкой цене, но при этом не гарантируя заявленные характеристики выпускаемой продукции.

Для приведения к единой оценке светодиодов разных исходных характеристик и производителей потребовалась, и была разработана, методика предварительной оценки интенсивности светового излучения при помощи люксметра [108]. Стоимость светодиодных и люминесцентных осветительных элементов варьируется от их мощности и завода изготовителя.

Анализируя рынок светодиодного и люминесцентного освещения, проведена их сравнительная характеристика. Для культивирования микроводорослей или микроорганизмов, основными критериями выбора источников освещения являлись потребляемая мощность, величина светового потока и цветовая температура.

Таблица 5.1 - Осветительные элементы

Элемент	Ед. измерения	Потребляемая мощность, Вт	Световой поток, Лм	Угол рассеивания Ω , °	Цветовая темп., К	Стоимость, руб.	Стоимость 1Лм, руб.	Изготовитель	Гарантия	Срок службы, час
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.	15	3350	360	4000	400	0,03	Sylvania	Пол года	1 год

Для определения наилучших экономических показателей, внедряемых в процесс биологической очистки элементов освещения, был произведен подсчет их стоимости для ранее используемого биофильтра в г.Шахты, объемом 1,55 м³, в течение 4 лет (1460 дней). Для его освещения использовался осветительно-аэрационная установка с источниками освещения, имеющих суммарный световой поток 3440 Лм.

Приведенные затраты, включающие в себя капитальные и эксплуатационные затраты, определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{к}} + Z_{\text{э}}. \quad (5.1)$$

$$Z_{\text{э}} = W \times T \times S \quad (5.2)$$

где, $Z_{\text{п}}$ – приведенные затраты, (руб);

$Z_{\text{к}}$ – затраты капитальные, (руб);

$Z_{\text{э}}$ – затраты эксплуатационные, (руб);

W – потребляемая мощность, (Вт);

T – продолжительность работы;

S – стоимость электроэнергии, (руб./кВт)

1. Китайская светодиодная лента RGB:

$$Z_{\text{п}} = 430\text{руб} + 14,4\text{Вт/ч} \cdot 4,3\text{м} \cdot 24\text{ч} \cdot 1460\text{дней} \cdot 2,6\text{руб/кВт} = \mathbf{6071\text{р.}}$$

2. Светодиодная лента GAUSS RGB:

$$Z_{\text{п}} = 1419\text{руб} + 14,4\text{Вт/ч} \cdot 4,3\text{м} \cdot 24\text{ч} \cdot 1460\text{дней} \cdot 2,6\text{руб/кВт} = \mathbf{7060\text{р.}}$$

3. Светодиодная матрица Arlight:

$$Z_{\text{п}} = 848\text{руб} + 38\text{Вт/ч} \cdot 24\text{ч} \cdot 1460\text{дней} \cdot 2,6\text{руб/кВт} = \mathbf{4310\text{р.}}$$

4. Светодиодный аналог люминесцентной лампы GAUSS:

$$Z_{\text{п}} = 2040\text{руб} + 43\text{Вт/ч} \cdot 24\text{ч} \cdot 1460\text{дней} \cdot 2,6\text{руб/кВт} = \mathbf{5958\text{р.}}$$

5. Фитолампа Sylvania:

$$Z_{\text{п}} = 4\text{шт} \cdot 200\text{руб} + 36\text{Вт/ч} \cdot 24\text{ч} \cdot 1460\text{дней} \cdot 2,6\text{руб/кВт} = \mathbf{3981\text{р.}}$$

Проведя анализ стоимости осветительных элементов установлено, что по себестоимости и эксплуатационным затратам фитолампы и светодиодные

матрицы выгодно отличаются от других аналогов. Светодиодные матрицы обходятся дороже фитоламп на 8%, но обладают рядом преимуществ:

- малые размеры;
- малые подводимые токи (12/24В);
- высокая светоотдача;
- устойчивость к ударам;
- экологичность;
- низкое энергопотребление;
- отсутствие мерцания;
- независимость от количества циклов включения-выключения.

Еще одним неоспоримым преимуществом светодиодных элементов является возможность выбора необходимого спектра излучения. Для культивирования микроорганизмов и микроводорослей требуется сине-красный спектр света. С помощью светодиодных элементов возможно сузить спектр до требуемого, тем самым дополнительно сократить эксплуатационные затраты.

Единственным недостатком светодиодных элементов, в частности светодиодных матриц, является узкий угол излучения, и быстрая деградация при перегревах. Вследствие этого следует предусмотреть наличие теплоотводящих конструкций, что влечет за собой увеличение капитальных вложений.

Таким образом, светодиодное освещение рекомендуется применять не только из удобства в эксплуатации и долговечности, но и для экономии денежных средств, что является стимулом для внедрения в промышленных масштабах.

5.3.2 Расчет расхода воздуха на аэрацию и стоимости воздухоподушки

Культивация микроводорослей основана на процессе фотосинтеза, который осуществляется под влиянием источника освещения и углекислоты. Например, для фотосинтеза хлореллы, культивируемой в водной среде,

необходимы минералы и диоксид углерода. Поглощая углекислоту, выделяемую при окислении, микроводоросли начинают активно выделять кислород, тем самым насыщая кислородом окружающую их среду.

При культивировании микроводорослей, для поддержания окисления, осуществляется аэрация путем нагнетания воздуха воздуходувками. Воздух, подаваемый для аэрации, поступает в культиватор по шлангам и распыляется барботерами.

Барботер – устройство, пропускающее через слой жидкости пузырьки воздуха, диспергируемых специальными перфорированными трубками, тарелками и т.д. Устанавливаются барботеры на расстоянии, равном 2-3 глубины их погружения, а расстояние от барботера до стенки – 1-1,5 глубины.

При выборе барботеров рассматривается расход подаваемого воздуха, число подключений, а также степень перфорации (табл. 5.2) [120]. При пристеночном барботировании для равномерного распределения растворенных примесей расход подаваемого воздуха составит 6 м³/ч на 1м, а при промежуточном барботировании - 12 м³/ч на 1м. Во избежание выпадения осадка интенсивность барботирования увеличивается вдвое соответственно.

Таблица 5.2 - Подбор числа стояков и шаг перфорации.

Наружный диаметр трубы, мм	Диаметр центрального отверстия барботера, мм	Диаметр перфорационных отверстий, мм	Число рядов отверстий	Интенсивность подачи воздуха, Нм ³ /ч	Перевод давления на перфорационном отверстии, кПа	Шаг радиальных отверстий, мм	Неравномерность подачи воздуха, %	Длина барботера обслуживаемого одним стояком, м
				6	1	160	20	39,5
			1	12	4	160	20	42,5
				12	1	80	20	28,5
50	42,5	3		12	1	160	20	29
			2	24	4	160	20	32
				24	1	80	20	22
				6	1	160	12	50
			1	12	4	160	10	50
63	59	3		12	1	80	20	44
				12	1	160	20	43,5
			2	24	4	160	20	47
				24	1	80	20	33,5

				6	1	160	5	50
			1	12	4	160	4	50
75	71	3		12	1	80	13	50
				12	1	160	13	50
			2	24	4	160	10	50
				24	1	80	20	43,5

Подбор пневматических аэраторов выполняется в соответствии с СНиП 2.04.03-85, п. 6.157. Мелкопузырчатые аэраторы выполняются в виде пористых и фильтросных пластин, синтетических тканей, фильтросных труб и т.д.

При конструкции с пористыми материалами удельный расход воздуха аэраторов $J_{a,d}$ в пределах $30-100 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$; с фильтросными пластинами - $60-80 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$; с фильтросными трубами - $70-100 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$; с синтетическими тканями - $50-80 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$. С фильтросными материалами потери напора ΔP следует принимать $0,7-1 \text{ м}$. Скорость воздуха, выходящего из перфорированных труб - 50 м/с [120].

Для увеличения площади полосы аэрации ширина решеток используемых конструкций должна составлять до 2 м . Таким образом повысится эффективность аэрации и снизится удельный расход воздуха ($f_{az}/f_{at} = 0,2-0,3$).

Ниже приведен график подбора эрлифтных аэраторов (рис. 5.1) [120]. Наиболее оптимальный удельный расходом эрлифтных аэраторов $10-15 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ при $d_{эп} = 0,3-1,2 \text{ м}$.

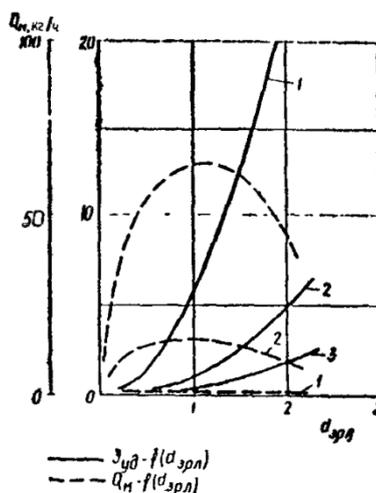


Рисунок 5.1 - График удельных энергозатрат с различной интенсивностью аэрации и диаметрах отверстий [120], при производительности эрлифтных аэраторов: 1 - $5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$; 2 - $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$; 3 - $15 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$.

Таким образом, для ранее используемого биофилтра в г.Шахты, при размерах $1 \times 1,4 \times 1,1$ (а \times б \times в) = $1,55 \text{ м}^3$, оптимальный режим работы эрлифтных аэраторов составит $15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) \times 1,4 \text{ м}^2 = 21 \text{ м}^3/\text{ч} = 350 \text{ л/мин}$.

Согласно определенному расходу подобран поршневой компрессор PondtechACO-016, W=520Вт., P=0.05атм, Q=360л/мин., стоимостью 12100руб.

5.4. Расчет стоимости денитрификации

Расчет узла денитрификации для удаления азотных загрязнений сводится к определению:

- объема и габаритов денитрификатора;
- необходимого количества субстрата для восстановления нитратов NO_3 до азота N_2 ;
- объема биомассы и активного ила, поступающего из биофилтра биофилтра в денитрификатор.

1. Концентрация взвешенных веществ сточных вод, поступающих в денитрификатор из 1-ого отстойника, работающего с эффективностью 50%:

$$C_{cdp} = \frac{C_{en} \times (100 - \text{Э}_{ocb})}{100} = \frac{99,5 \times (100 - 50)}{100} = 50 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \quad (5.3)$$

где, C_{en} – количество взвешенных веществ, мг/л.;

Э_{ocb} - эффективность отстойника, %.

2. Значение $BPK_{полн}$ сточных вод, поступающих в денитрификатор из 1-ого отстойника, работающего с эффективностью 50%:

$$L_{cdp} = L_{en} - 0,01 \times C_{en} \times \text{Э}_{ocb} \times (1 - s) = 80 - 0,01 \times 100 \times 50 \times (1 - 0,3) = 50 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \quad (5.4)$$

где, s - зольность частиц, равная 0,25-0,3;

L_{en} – BPK на выходе из бассейнов, мгO₂/л.

3. Прирост активного ила и биомассы в денитрификаторе и биофилт্রে:

$$\begin{aligned} P_i &= 0.8 \times C_{cdp} + 0.3 \times L_{cdp} = \\ &0.8 \times 50 + 0.3 \times 45 = 53.5 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \end{aligned} \quad (5.5)$$

4. Количество азота для синтеза микроорганизмов в денитрификаторе и биофилт্রে:

$$\begin{aligned} (\Delta N) &= P_i \times M \times m (1 - s) = \\ &53.5 \times 0.3 \times 0.1 \times (1 - 0.3) = 1.124 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \end{aligned} \quad (5.6)$$

где, M – доля микроорганизмов в активном иле, равная 20-30%;

m – доля азота в клетках микроорганизмов в пересчете на сухое вещество, равное 5-15%.

5. Концентрация азота нитратов и нитритов, поступающего в денитрификатор из отстойника:

$$\frac{35,97 \times (100 - 50)}{100} = 18 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \quad (5.7)$$

где, $C_{N\text{-}N_{\text{орг}}}$ – концентрация органического азота, поступающего в отстойник;

6. Требуемая степень рециркуляции активного ила, обеспечивающая снижение $N\text{-}NO_3$ в очищенной сточной жидкости, определяется из уравнения материального баланса по азоту:

$$\begin{aligned} C_{N\text{-}NO_3}^{\text{ПДК}} + \Delta N_{\text{ден.азр}} + C_{N\text{-}NH_4}^{\text{ПДК}} &= \frac{(C_{N\text{-}NH_4} + C_{N\text{-}N_{\text{орг}}})_{cdp}}{1 + R_i} \\ 9 + 1.124 + 0.4 &= \frac{0.33 + 36.3}{1 + R_i} \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$R_i = 2.48$$

7. Количество азота нитратов, поступающего в денитрификатор из 2-ого отстойника с рециркуляционным потоком:

$$A_{N-NO_3} = \frac{(C_{N-NO_3})_{\text{деп}} \times Q_{\text{сут}} \times R_i}{10^6} = \frac{9 \times 18 \times 2.48}{10^6} = 0.4 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}. \quad (5.9)$$

где, $Q_{\text{сут}}$ – оборот сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$.

8. Значение азота нитратного в сточной жидкости, поступающей в денитрификатор с учетом рециркуляционного потока:

$$\begin{aligned} (C_{N-NO_3})_{\text{деп}} &= \frac{(C_{N-NO_3})_{\text{ен}} \times Q_{\text{сут}} + (C_{N-NO_3})_{\text{ц}} \times Q_{\text{ц}}}{Q_{\text{сут}} + Q_{\text{ц}}} = \\ &= \frac{(C_{N-NO_3})_{\text{ен}} \times Q_{\text{сут}} + (C_{N-NO_3})_{\text{ц}} \times Q_{\text{сут}} \times R_i}{Q_{\text{сут}} + Q_{\text{ц}}} = \\ &= \frac{36,3 \times 18 + 9 \times 18 \times 2.48}{18 + 18 \times 2.48} = 16.85 \frac{\text{мг}}{\text{л}} \end{aligned} \quad (5.10)$$

где, $(C_{N-NO_3})_{\text{ен}}$ и $(C_{N-NO_3})_{\text{ц}}$ – концентрация анитратного азота в исходной сточной жидкости;

$(C_{N-NO_3})_{\text{ц}}$ – концентрация анитратного азота в циркулирующем иле.

9. Количество загрязнений по БПК_{пол}, затраченных в денитрификаторе на восстановление нитратного азота:

$$(A_L)_{\text{вос}} = K_i^{\text{ден}} \times A_{N-NO_3} = 4 \times 0.4 = 1.6 \frac{\text{т}}{\text{сут}}. \quad (5.11)$$

где, $K_i^{\text{ден}}$ – коэффициент, для обеспечения полного восстановления нитратов до элементарного азота, равный 4.

10. Количество загрязнений по БПК_{пол}, поступающих в биофильтр:

$$(A_L)_{\text{ден}} = \frac{L_{\text{сдр}} \times Q_{\text{сут}}}{10^6} = \frac{45 \times 18}{10^6} = 0,00081 \frac{\text{т}}{\text{сут}}. \quad (5.12)$$

11. Продолжительность обработки сточной жидкости в денитрификаторе:

$$\begin{aligned} t_{\text{ден}} &= \frac{(C_{N-NO_3})_{\text{ен}}^{\text{ден}} - (C_{N-NO_3})_{\text{ех}}^{\text{ден}}}{a_i (1 - S_i^{\text{ден}}) p_{\text{ден}}} \times \frac{20}{T_W^3} = \\ &= \frac{16.85 - 0}{2 \times (1 - 0.3) \times 9.9} \times \frac{20}{13} = 1.88 \text{ч}. \end{aligned} \quad (5.13)$$

где, где $(C_{N-ON3})_{en}^{ден}$ и $((C_{N-ON3})_{ex}^{ден}$ - концентрация нитратов соответственно на входе и выходе денитрификатора;

a_i - доза ила в денитрификаторе принимается равной 1-5г/л, а оптимальная концентрация составляет 2г/л;

$p_{ден}$ - скорость восстановления нитратов, принимаемая в зависимости от начального значения нитратов [120];

$s_i^{ден}$ - зольность активного ила, 25-30%;

T_w^3 - температура сточной жидкости для самого неблагоприятного холодного времени года, $^{\circ}C$.

12. Объем денитрификатора:

$$W_{ден} = q_m x t_{ден} (1 + R_i) = 9x2x(1 + 2.48) = 62.64 м^3. \quad (5.14)$$

Определен объем денитрификатора для единой разовой, суточной очистки продолжительности процесса денитрификации в течение 2 часов. Учитывая тот факт, что объем циркулирующих сточных вод составляет $18 м^3$, то возможно уменьшить объем денитрификатора до $18 м^3$.

$$N = \frac{W_{ден}}{Q_{сут}} = \frac{62.64}{18} = 3.5. \quad (5.15)$$

Таким образом, в течение суток требуется осуществлять процесс денитрификации не менее 4 раз в сутки, в емкости $18 м^3$, продолжительностью по 2 часа. Согласно данным производителя оборудования «Ейскполимер», стоимость емкостей денитрификатора и отстойника, а также насосного оборудования составит 250 тыс.руб.

Таким образом, следует резюмировать, что применение светодиодных элементов имеет значительный экономический эффект. Стоимость светодиодного освещения в фильтрах биологической очистки в 58 раз дешевле доочистки сточных вод процессом денитрификации.

5.5 Расчет стоимости солнечного электроснабжения

Для питания подобранных светодиодных осветительных элементов необходима система солнечного электроснабжения мощностью 200 Вт, в которую входят солнечные панели, аккумулятор глубокого разряда (не менее 100 Ач), контроллер и инвертор (рисунок 5.2). Срок службы дешевых солнечных панелей до 45 лет, но каждые 3-5 лет требуется замена аккумуляторных батарей.

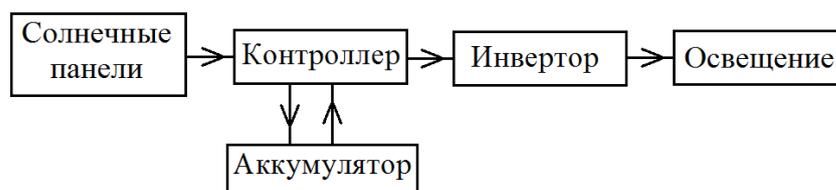


Рисунок 5.2 - Схема системы солнечного электроснабжения

Произведем расчет стоимости солнечного электроснабжения сроком на 20 лет.

- стоимость солнечной панели мощностью 100 Вт, 12В 11500 руб.;
- преобразователь напряжения преобразует постоянное напряжение 12В в переменное синусоидальное напряжение 220В и частотой 50 Гц, стоимость которого 5500 руб.;
- контроллер заряда – 3500 руб.;
- аккумуляторная батарея 100 Ач – 9000 руб.

Суммарная стоимость системы, мощностью 200 Вт, составит около 30 тыс. рублей. В течение срока эксплуатации потребуются замена аккумуляторных батарей 4-5 раз, что составит еще около 50 тыс. рублей.

Таким образом, следует резюмировать, что применение светодиодных элементов имеет значительный экономический и практический эффект. Наряду с рядом достоинств, внедрение светодиодных элементов, заключенных в осветительно-аэрационную установку, в 50 раз дешевле доочистки сточных вод процессом денитрификации. Электроснабжение от системы солнечных

панелей, согласно полученным данным, в 4,5 раза превышает стоимость электропотребления от городских сетей, и имеет экономический эффект в случае отсутствия сетей электроснабжения.

5.6 Выводы по 5-ой главе

1. Разработаны рекомендации по внедрению осветительно-аэрационной установки на очистных сооружениях рыбопроизводческих предприятий

2. Разработаны рекомендации по повышению эффективности очистки городских сточных вод с применением осветительно-аэрационной установки.

3. Произведя анализ стоимости различных источников освещения, были установлены наилучшие экономические и эксплуатационные показатели у светодиодных матриц, обладающих рядом преимуществ. Стоимость их внедрения в биофильтр очистных сооружений рыбопроизводческой фермы в г.Шахты на срок 4 года составит 4310 руб.

4. Рассмотрена методика по осуществлению аэрирования культивируемой среды. Подобрана воздуходувка Pondtech ACO-016, $W=520$ Вт., $P=0.05$ атм, $Q=360$ л/мин., стоимостью 12100 руб.

5. Выполнен расчет процесса денитрификации на очистных сооружениях на рыбопроизводческой ферме в г.Шахты, согласно которому для достижения требуемого качества очищаемых сточных вод подобрано необходимое оборудование, стоимость которого составит 250000 руб., что в 50 раз дороже использования осветительно-аэрационной установки.

6. Выполнен расчет стоимости системы солнечного электроснабжения, согласно которому стоимость электропитания от городских сетей в 4,5 раза дешевле.

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.

Список используемых источников:

1. Пономарева, Е.Н. Перспективы развития аквакультуры на юге России. / Е.Н. Пономарева, М.Н. Сорокина // В сборнике: 63-я международная научная конференция астраханского государственного технического университета, посвященная 25-летию астраханского государственного технического университета, Астрахань.- 2019. - С. 230.
2. Интегрированное выращивание рыбы и растений в модульной установке замкнутого водоснабжения / Г.Г. Матишов, Е.Н. Пономарева, А.В. Казарникова и др. // Рыбное хозяйство. - 2017. - №1. – С. 66-71
3. Исследование особенностей протекания сорбционных процессов в обработке воды с высоким содержанием / Онкаев В. А., Арашаев А.В., Борисова В.Ю. и др. // Вестник ВолгГАСУ: Строительство и архитектура. Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, - 2016. - № 46 (65) – С.95-101.
4. Порохина, О.Н. Факторы внешней среды, влияющие на жизнедеятельность микроорганизмов [Электронный ресурс] / О.Н. Порохина // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета сервиса и экономики, - 2010 г. – 7 с.
5. Перспективы использования аквапоники для получения экологически чистой продукции в аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения / Е.Н. Пономарева, Л.П. Ильина, Т.А. Соколова и др. // Южный научный центр Российской академии наук. -2017. – С. 440-443
6. Есавкин, Ю. И. Рост и морфофизиологические показатели молоди радужной форели при различном световом режиме : автореф. дис. канд. техн. наук. / Ю. И. Есавкин // Московская ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева .- М., 1980. – 18 с.
7. Матишов Г.Г.Современные биотехнологии аквакультуры юга России. / Г.Г. Матишов, Е.Н. Пономарева, М.Н. Сорокина //В сборнике: Материалы научных мероприятий, приуроченных к 15-летию Южного научного центра Российской академии наук: Международного научного

форума "Достижения академической науки на Юге России"; Институт аридных зон ЮНЦ РАН; Институт социально-экономических и гуманитарных исследований ЮНЦ РАН. - 2017. - С. 343-345.

8. Пономарева, Е.Н. Биотехнологии и новые технические средства для аквакультуры юга России / Е.Н.Пономарева, М.Н.Сорокина, М.В.Яицкая // В сборнике: Международная научная конференция научно-педагогических работников Астраханского государственного технического университета (60-я НПР) материалы конференции. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». - 2016. - С. 22-23.

9. Ручин, А. Б. Особенности роста и энергетики карпа (*Cyprinus carpio*) при различной освещенности / А. Б. Ручин - Зоологический журнал. - 2001. –Т.80№4. – С.433-437

10. Алимов, И. А. Повышение эффективности заводского подращивания личинок карповых рыб : автореф. дис. канд. с.-х. наук. / И. А. Алимов - М.: ТСХА, 1994. - 25 с.

11. Энергосберегающие технологии повышения экологической безопасности водоемов / Л. Н. Фесенко, Е.Д. Хецуриани, С.А. Териков и др. - Перспективы развития строительного комплекса. – 2016. - № 1. – С. 110-113.

12. Власов, В.А. Рекомендации по воспроизводству и выращиванию клариевого сома с использованием установок с замкнутым циклом водообеспечения / В.А. Власов, Завьялов А.П., Есавкин Ю.И. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 48 с.

13. Баранов, С. А. Опыт культивирования микроводорослей на выделениях неких животных и жителя нашей планеты в договорах накопительных культур / С. А. Баранов // Управляемое культивирование микроводорослей. - М.: Наука, 1964. – 64 с.

14. Fesenko, L.N. Optimization of fish protection system to increase technosphere safety / L.N. Fesenko, E.D. Khetsuriani, D.S. Larin // - IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – 2017. -Vol. 262 URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012174>

15. Васигов, Т. Опыт массового культивирования одноклеточных водных растений на Кызылкумской пустынной станции / Т. Васигов // В кн.: О производственной культуре одноклеточных водных растений. Ташкент, 1966. – С. 94-100

16. Возная, Н. Ф. Химия воды и микробиология / - учеб. пособие для вузов / Н. Ф. Возная. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., - 1979. - 340 с.

17. Основы проектирования вспомогательных технологических процессов технического обслуживания и ремонта автотранспорта, сельскохозяйственных, дорожных и специальных машин: учебное пособие по курсу "Технологические процессы технического обслуживания и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования" для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский и др.- 2-е изд. - Рязань: РГАТУ; -2017. – 206 с.

18. Воронович, Н. В. Исследование процессов формирования биоценоза активных илов биологических очистных сооружений / Н. В. Воронович // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Техн. Науки. – 2006. -№ 6. – С.148-153

19. Рост и скопление пигментов у хлореллы на среде Тамия с прибавлением картофельного сока / Я. П. Ляхнович и др. – Минск: Ботаника, 1967. - Вып. 9. – С. 70-74

20. Власов, В. А. Оптимальные световые режимы при выращивании карпа в искусственных условиях / Власов В. А. - Изв. ТСХА, 1991. - Вып. 4. – С.139-147

21. Власов, В. А. Влияние различной освещенности на подращивание молоди карпа в условиях инкубационно-малькового цеха / В. А. Власов - Совершенствование биотехники в рыбоводстве. - М.: ТСХА, 1985. – С. 53-59

22. Власов, В. А. Влияние освещенности на рост молоди тилапии, выращиваемой в искусственных условиях / В. А. Власов, О. Н. Зобова, А. А.

Иванов - Современные проблемы в зоотехнии: сб. науч. тр. - М.: МГАВМиБ им. К. И. Скрябина. - Ч. 2. – С. 87-89

23. Власов, В. А. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) / В. А. Власов // Развитие аквакультуры в регионах: проблемы и возможности: докл. Междунар. Научно-практической конференции ВНИИР, РАСХН. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. – С. 67-72

24. Петрушин, А. Б. Роль света в жизни сома обыкновенного / А. Б. Петрушин, Н. И. Маслова // Развитие аквакультуры в регионах. Проблемы и возможности. - М.: МСХРАСН ВНИИР, 2011. – С. 147-152

25. Муззафаров, А. М. Хлорелла (способы массового культивирования и употребления) / Муззафаров А. М., Таубаев Т. Т. // Ташкент: Фан, 1984. - 185 с.

26. Саутин, Ю. Ю. Влияние сезона фотопериода и температуры на соматотропную функцию гипофиза карпа / Ю. Ю. Саутин // Тез. докладов V Всесоюзной конференции по экологической физиологии и биохимии рыб. - Киев: Наук. Думка, 1982. - №5. Ч.2. – С. 69-70

27. Water Resources of Kalmykia: The Contemporary Aspect / M. M. Sangadzhiev, V. A. Onkaev, A.N. Badrudinova and other. // Journal of environmental management and tourism. Romania. - 2017. - №5 (21). 1024-1032p.

28. Повышение эффективности очистки и мойки сельскохозяйственных машин: монография / Н.В. Бышов, Рембалович Г.К., Успенский И.А. и др. – Рязань: Изд-во ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. – 102 с.

29. Биосорбционно-мембранный реактор с плоскими фильтрующими элементами: методика расчета / Фесенко Л.Н., Вергунов А.И., Швецов В.Н. и др. // Водоснабжение и санитарная техника. - 2017. - № 4. - С.12-17.

30. Костенко, М.Ю. Аэрозольная обработка семян стимуляторами роста / О.А. Тетерина, М.Ю. Костенко, В.С. Тетерин // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева - 2016. - №2(3). – С. 6-10

31. Технологические и проектные решения реконструкции сооружений очистки воды р. Дон (на примере ВОС х.Хапры Мясниковского района Ростовской области) / Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Пчельников И.В. и др. // Водоснабжение и санитарная техника. - 2017. - № 3. - С.19-25.

32. Вильсон, Е.В. Мембранные технологии – современное решение задачи улучшения качества питьевой воды для сельских районов / Е.В. Вильсон, В.А. Онкаев // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», г. Ростов-на-Дону. - №3. - 2017

33. Решняк, В.И. Обеззараживание сточной воды / В.И. Решняк, С.Е. Посашкова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2012. – № 2. – С. 177-181

34. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Минздрав России – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 115 с.

35. Фесенко, Л.Н. Совершенствование технологии водоочистных станций для сельских территорий / Л.Н. Фесенко // Материалы III Национальной конференции профессорско-преподавательского состава и научных работников. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. - 2017. - С.182-184.

36. Гайсина, Л. А. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учеб. пособие для вузов / Л. А. Гайсинина, А. И. Фазлутдинова, Р. Р. Кабиров. – Уфа: Изд-во БГПУ, - 2008. – 152 с.

37. Борисова, В.Ю. Повышение эффективности сооружений биологической очистки сточных вод в течение суток : дис. канд. техн. наук. НПИ / В.Ю. Борисова. - Новочеркасск., 2013. - 155 с.

38. Теоретические исследования движения солоmistых частиц при разравнивании валка сена / М.Ю. Костенко, И.А. Успенский, Г.К. Рембалович и

др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета, 2015. - №112. – С. 1103-1113

39. Полищук, С.Д. Изучение адсорбционной особенности ингибиторов коррозии /С.Д. Полищук, И.И. Пономарева, О.В. Сизов // В сборнике: Студенческий научный поиск - науке и образованию XXI века материалы X международной студенческой научно-практической конференции. - 2018. – С. 76-77

40. Nakamura, H. Chlorella feed for animal husbandry. / H. Nakamura // Published by International Clorella Union. Tokyo, Japan. -1964. - 81 p.

41. Synergetic effect of bactericidal action of borates in solution of synthetic detergents. / I.V. Fadeev, N.V. Byshov, I.A. Uspensky and other // Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.- 2019. - №10(2). - 1441-1446 p.

42. Фотобиореактор для культивирования хлореллы / М.А. Алексеев, Э.Д. Арьянова, С.С. Иванова и др. // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. - 2015. - №. 3. – С. 221-223

43. Культиватор для выращивания хлореллы в искусственных условиях / Э.Д. Арьянова, С.С. Иванова, О.С. Карпова и др. // Архитекторы будущего: сборник научных трудов Всероссийской научной школы по инженерному изобретательству, проектированию и разработке инноваций - Томск: ТПУ. - 2014. – С. 18-23

44. Использование хлореллы для выращивания и откорма сельскохозяйственных животных // Научно исследовательский институт альгобиотехнологии. - г. Пенза. - 2004. - 8 с.

45. Dordzhiev, A.A. Salt Composition of Clay Soils and Its Variation with Long-term Water Filtration / A.A. Dordzhiev, A.G. Dordzhiev, V. A. Onkaev // Journal of Environmental Management and Tourism. Biannually Volume VIII Issue 5(21), Fall, Editor in Chief Ramona PÎRVU University of Craiova. - Romania. - 2018. - 130-135 p.

46. Мананкина, Е. Использование хлореллы в кормлении сельскохозяйственных животных / Е. Мананкина, С. Мельников // Практический журнал "Наука и инновации". - 2010. - №8(90). - С.40-43
47. Складнев, Д. А. Очерк эволюции фотобиореакторов / Д.А. Складнев // Интернет-журнал «Коммерческая биотехнология».- Режим доступа: <http://cbio.ru/page/43/id/3433/> Дата обращения: 1.02.16.
48. Фотобиореактор для культивирования хлореллы / М.А. Алексеев, Э.Д. Арьянова, С.С. Иванова и др. // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. - 2015 - №. 3. - 221-223 с.
49. Водопользование и водоотведение: река Яшкуль, особенности, возможность использования в сельскохозяйственном секторе экономики Калмыкии /Онкаев В. А.Решетников П.С., Хаджинов М.В. и др. // Международный научно-исследовательский журнал «Успехи современной науки». Белгород: типография «Эпицентр». - 2017. - № 6(1). – С.110-116. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_29820931_95522744.PDF
50. Рахимов, А. Р. О неких биохимических свойствах штаммов хлореллы и сценедесмуса, выращенных в разных договорах кормленья. / А.Р. Рахимов, Х.Ф. Якубов. // Культивирование водных растений и высших акварастений в Узбекистане. - Ташкент: Фан. - 1978. - 271 с.
51. Сальникова, М. Я. Хлорелла – новейший вид корма / М.Я Сальникова. - Мтр. - 1977. -87 с.
52. Научно исследовательский институт альгобиотехнологии // Использование хлореллы для выращивания и откорма сельскохозяйственных животных. - г.Пенза. - 2004. - 8 с.
53. Рязанцев, А.И. Оценка качества продукции математическими методами / А.И Рязанцев // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. - 2016. - №16.- 57-69 с.
54. Aghajanian, J. G. A starch grain-mitochondrion-dictyosome association in *Batrachospermum* (Rhodophyta) / J. G. Aghajanian - J. Phycol. 1979. - №15. - 230-232 p.

55. Официальный сайт компании "Агросервер" (Российский агропромышленный сервер). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.agroserver.ru/b/fotobioreaktory-dlya-vyrashhivaniya-mikrovodorosleykhlorella-i-s-167300.htm>, свободный. Дата обращения: 10.02.16.

56. Мещерякова, Ю.В. Культивирование микроводоросли хлорелла с целью получения биотоплива / Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов // университет им. В.И. Вернадского, Вопросы современной науки и практики. – 2012. – №43 - 33–36, 48 с.

57. Официальный сайт ООО «Башкирская птица». Режим доступа: <http://башптица.рф/2013/10/09/хлорелла/>, свободный. Дата обращения: 20.11.15

58. Официальный сайт DIALux Help: расчет и проектирование. Режим доступа: <http://www.dialux-help.ru/>, свободный. Дата обращения: 28.08.15.

59. Фотобиореактор для культивирования хлореллы / М.А. Алексеев, Э.Д. Арьянова, С.С. Иванова и др. // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. - 2015 - №. 3. - 221-223 с.

60. Официальный сайт компании "БПС". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bps-kontakt.ru/index.php/production/miro>, свободный. Дата обращения: 21.09.15.

61. Официальный сайт компании "БПС". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bps-kontakt.ru/index.php/production/msilver>, свободный. Дата обращения: 21.09.15.

62. Официальный сайт компании "БПС". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bps-kontakt.ru/production/wo>, свободный. Дата обращения: 21.09.15.

63. Фадеев, И.В. К вопросу улучшения свойств синтетических моющих средств для мойки деталей мобильной техники / И. В. Фадеев, Н.В. Бышов // Наука, производство, образование: состояние и направления развития: сб. науч. тр. по матер. Всероссийской науч.-практич. конференции. – Чебоксары: ЧГПУ им. И.Я. Яковлева, 2019. – 23-29 с.

64. Изменение контактных углов смачивания при добавлении в моющие растворы поверхностно-активных веществ / И.В. Фадеев, Н.В. Бышов, И.А. Успенский и др. // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 2. – 295-305 с.

65. Дворецкий, Д.С. Технология получения липидов их микроводорослей / Д.С. Дворецкий, С.И. Дворецкий - Тамбов, ФГБОУ ВПО «ТГТУ» - 2015г.

66. Allen, E. A. Culture of planktonic cyanophytes on agar / E. A. Allen, W. W. Carmichael // The Water Environment: Algal Toxins and Health. Plenum Publishing Corp. New York. - 1981. - 185-192 p.

67. Allen, E. J. On the culture of the plankton diatom *Thalassiosira gravida* Cleve, in artificial sea-water // E. J. Allen, Biol. Assoc. U. K. - 1914. - Vol. 10. - 417 p.

68. Allen, M. M. Simple conditions for growth of unicellular blue-green algae on plates // M. M. Allen // J. Phycol. - 1968. - Vol. 4. - 1-4 p.

69. Раденко, В. Н. Значение температуры и света для роста и выживаемости личинок белого толстолобика *Hyporhamphichthys molitrix* / В. Н. Раденко, И. А. Алимов // Вопросы ихтиологии. - М., 1991. - Т. 34, №4. - С. 655-663

70. Allen, M.M. Methods for cyanophyceae / M.M. Allen, J.R. Steain // Handbook of Phycological Methods: Culture Methods and Growth Measurements. Cambridge University Press - Cambridge. - 1973. - P.127-38

71. Решняк, В.И. Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов / В.И. Решняк, R. A. Andersen, S.L. Morton, J. P. Sexton - МДК 3-01.2001: утв. Госстроя России от 06.04.2001 № 75. – М., - 2001. – 21 с.

72. Preisig, H.R. Historical review of algal culturing techniques / H.R. Preisig, R.A. Andersen // Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press, - 2005. - 1-12 p.

73. Burlew, J. S. Algal culture: from laboratory to pilot plant. Carnegie Institution of Washington / J. S. Burlew // Washington, D. C - 1953. - Vol. 600. - 1-357 p.
74. Tamiya, H. Synchronous cultures of algae / H. Tamiya // Annual Rev. Plant Physiol. - 1966. - Vol. 17. - 1-26 p.
75. Soeder, C. J. An historical outline of applied algology / C. J. Soeder // Richmond A. CRC Handbook of Microalgal Mass Culture. Florida: CRC Press, Boca Raton. - 1986. - 25-41 p.
76. Ткачев, И. Ф. Хлорелла – биокатализатор роста животных. / И. Ф. Ткачев // Вестник сельскохозяйственных наук. - 1966. - № 3. - 81-86 с.
77. Цветков, Л.А. Органическая химия. / Л.А. Цветков - “Просвещение”. 1988. - 240 с.
78. Recipes for fresh water and seawater media / R.A. Andersen , J.A. Berges , P.J. Harrison and other// Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press. - 2005. - 429-538 p.
79. Яковлев, С.В. Водоотведение и очистка сточных вод / С.В. Яковлев, Ю. В. Воронов.-М.:АСВ, 2004. -704 с.
80. Brown, R. M.. A new and useful method for obtaining axenic cultures of algae / R. M. Brown , H. W. Bischoff // Phycol. Soc.Amer. News Bull. - 1962. - Vol. 15. - 43-44 p.
81. Cohn, S. A. The effects of colchicines and dinitrophenol on the in vivo rates of anaphase A and B in the diatom *Surirella* / S.A. Cohn, J.D. Pickett-Heaps // Eur. J.Cell Biol. - 1988.- Vol. 46. - 523-530 p.
82. Price, N. M. Preparation and chemistry of the artificial algal culture medium / N.M. Price., G.I. Harrison , J.G. Hering and other - Aquil. Biol. Oceanogr.- 1989. -Vol. 6. - 443-461 p.
83. Schlegel, I. Variability of calcification of *Phacotus lenticularis* (Chlorophyta, Chlamydomonadales) in nature and culture / I. Schlegel, L. Krienitz, D. Hepperle - Phycologia. 2000 -Vol. 39. - 318-322 p.

84. Shirai, M. Development of a solid medium for growth and isolation of axenic Microcystis strains (cyanobacteria) / M. Shirai, K. Matsumaru, A. Ohtake, Y. Takamura and other // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1989. - Vol. 55. - 2569 p.
85. Soma, Y. Estimation of algal succession in lake water using HPLC analysis of pigments / Y. Soma, T. Imaizumi, K. Yagi, S. Kasuga // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* - 1993. - Vol. 50. - 1142-1146 p.
86. Suda, S. Taxonomic revision of water-bloomforming species of oscillatorioid cyanobacteria / S. Suda, M. M. Watanabe, S. Otsuka and other // *Int. J. Syst. E. Vol. Microbiol.* - 2002. - Vol. 52. - 577-1595 p.
87. Takamura, N. The effects of Cu, Cd, and Zn on photosynthesis of freshwater benthic algae / N. Takamura, E. Kasai, M. M. Watanabe // *J. Appl. Phycol.* - 1988. - Vol. 1. - 39-52 p.
88. Takamura N. Unique response of Cyanophyceae to copper / N. Takamura, F. Kasai, M. M. Watanabe // *J. Appl. Phycol.* - 1989. - Vol. 2. - 293-296 p.
89. NIES – Collection List of Strains, Sixth Edition / M. M. Watanabe, M. Kawachi, M. Hiroki and other // *Microalgae and Protozoa. Microbial Culture/* - 2000. - Vol.8. - 350 p.
90. Collections, National Institute for Environmental Studies / Tsukuba: Japan, 2000.
91. Watanabe M.M. Freshwater culture media / M.M. Watanabe, R.A. Andersen // *Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press.* - 2005. - 13-20 p.
92. Гайсина, Л. А. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учеб. пособие для вузов / Л. А. Гайсина, А. И. Фазлутдинова, Р. Р. Кабиров. - – Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. – 152 с.
93. Музафаров, А.М. Общее культивирование хлореллы / А.М. Музафаров, Е.И. Милоградова // Ташкент: УЗИНТИ, 1965. - С. 3-16
94. Суховский, Н.А. Создание установки для производства микроводоросли (хлореллы) / Н.А. Суховский, А.А. Богданова // *Вестник АПК Верхневолжья.* -2012. -№ 4(20). – С. 90-93

95. Грин, Н. Биология: в 3-х т. / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор, под ред. Р.Сопера. Пер.с англ. / М.: Мир. - 1996. - 368 с.
96. Громов, Б.В.. Культивирование коллекционных штаммов водорослей / Б.В. Громов - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. - 1983. - 152 с.
97. 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 / Серпокровлов Н.С., Старовойтов С.В., Халил А.С. - 5 с.
98. 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 / Серпокровлов Н.С., Старовойтов С.В., Халил А.С. - 4 с.
99. Нагорнов, С. А. Исследование условий культивирования микроводоросли хлорелла в трубчатом фотобиореакторе / С. А. Нагорнов, Ю. В. Мещерякова - Вестник ТГТУ. - 2015, - Т.21(№ 4). - С.653-659.
100. Шуберт, Ф. Светодиоды. /Ф. Шуберт; под ред. А.Э.Юновича. - 2-е изд. М.ФИЗМАТЛИТ. - 2008. – С.112-126
101. Красильников, Е.А. Модернизация очистных сооружений сточных вод логистического центра «Логопарк Дон» / Е.А. Красильников, В.Л. Макаров, Серпокровлов Н.С. // Москва МВЦ «Крокус Экспо» 6 июня 2017 ISBN 978-5-91713-071-2 «Канализационные очистные сооружения: реконструкция, новое строительство, эффективная эксплуатация» Сборник докладов международной конференции «Канализационные очистные сооружения: реконструкция, новое строительство, эффективная эксплуатация», Москва, 2017 - электр. Издание ISBN 978-5-91713-071-2
102. Максимов, В. В. Трансформация цвета при изменении освещения / В. В. Максимов. М.: Наука. - 1984. - 161 с.
103. Мешков, В.В. Основы светотехники: учебное пособие для вузов / В.В. Мешков – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Энергия - 1979. – 368 с.

104. ГОСТ 26148-84. Фотометрия. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 25 с.
105. Официальный сайт компании ООО "Энерготехнопром". [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.biovet-service.ru/uslugi/chlorellarost.html>, свободный. Дата обращения: 10.02.16.
106. Лисовский, Г. М. Управляемое культивирование микроводорослей / Г. М. Лисовский - Изд. «Наука». - 1964. – 153 с.
107. Мананкина Е. Использование хлореллы в кормлении сельскохозяйственных животных / Е. Мананкина, С. Мельников // Научно – практический журнал "Наука и инновации". - 2010. - №8(90). - С. 40-43
108. Складнев, Д. А. Интернет-журнал «Коммерческая биотехнология». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cbio.ru/page/43/id/3433/>, свободный. Дата обращения: 1.02.16.
109. Умшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. – М.: Наука, - 1971. – 192 с.
110. Данилович, Д.А. Энергосбережение и альтернативная энергетика на очистных сооружениях канализации / Д.А. Данилович // Водоснабжение и сан.техника. - 2011. - №1. - С. 9-16
111. Перспективы развития возобновляемых источников энергии в России. / В.Г. Николаев, С.В. Ганага, Ю.И. Кудряшов и др.; под ред. В.Г. Николаева. – М.: Изд. «АТМОГРАФ» - 2009. - 201 с.
112. Сибикин, Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб.пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Кнорус, - 2010. - 176 с.
113. Серпокрылов, Н.С. Особенности пуска сооружений биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации / Н.С. Серпокрылов, Е.В. Вильсон, Л.А. Долженко и др. // Вестник градостроительства и архитектуры, 2018. - Т.8(№3) — С. 55-61
114. 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](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_252_Starovoytov_Khalil.pdf_a24fc33645.pdf)

115. Renewables 2012 globalstatus report // Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. REN21 c/oUNEP 15, RuedeMilan. - 2012. – 171 p.

116. Шегельман, И.Р. Развитие рынка электроэнергии: мнение финских специалистов / И. Р. Шегельман, С. С. Гладков // Инженерный вестник Дона [Электронный журнал]. – 2013. - № 3. URL:<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1752>

117. Silbergliitt R. The Global Technology Revolution 2020: RAND Technical Report. SantaMonica / R. Silbergliitt, P. Anton, D. Howell and other // Arlington – Pittsburg. -2006. – 44 p.

118. 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>

119. Справочное пособие «Проектирование сооружений для очистки сточных вод» к СНиП 2.04.03-85 "Канализация. Наружные сети и сооружения" на основе результатов научных исследований и опыта эксплуатации сооружений и установок для очистки сточных вод за последние годы в различных отраслях промышленности. М.: Стройиздат. - 1990.

120. Методические указания «Очистные сооружения канализации. Часть 5. Расчет нитрификатора-денитрификатора». / Г.Т. Амбросова, О.П. Цветкова, О.В. Ксенофонтова, и др. // Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, кафедра водоснабжения и водоотведения. Новосибирск: Сибстрин, 2005. - 19с.

Приложения

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**АКТ*****о внедрении***

Настоящий акт составлен о том, что осветительный светодиодный элемент для биологической очистки, разработанный аспирантом Донского государственного технического университета Старовойтовым С. В., внедрен в апреле 2017 г. в технологическую схему очистки оборотных вод установки выращивания сомов в частном фермерском хозяйстве в г. Шахты (Ростовская область, город Шахты, улица Парковая, 50).

Применение осветительного элемента позволило обеспечить нормативное качество очищенной воды, снизить на 10 – 15 % потребление кормов и на 15 – 20% увеличить среднемесячные привесы сомов.

Акт о внедрении выдан для представления в Диссертационный совет по защите диссертаций.

Индивидуальный предприниматель



Насонов Р. С.

СПРАВКА
о ретехнологизации локальных очистных сооружений сточных вод
"Лого-парк Дон"

Локальные очистные сооружения (ЛОС) сточных вод логистического центра "Лого-парк Дон" были запроектированы и введены в эксплуатацию в условиях действия менее жестких норм к качеству очищенных вод (таблица 1), что потребовало проведения ретехнологизации в условиях действия современных норм.

Таблица 1 Среднемесячные показатели исходных и очищенных сточных вод на ЛОС "Лого-парк Дон" (2015 г.) до ретехнологизации

№ п/п	Наименование показателя, мг/л	Точка отбора пробы	
		Исходная (усреднитель)	Очищенная (выход из 2-ой ступени биореактора)
1	БПК ₅	330,0	6,2
2	ХПК	808,0	59,0
3	Нитраты	-	40,0
4	Азот аммонийный	30,16	2,82
5	Фосфаты	11,4	9,3

Технологические рекомендации по ретехнологизации очистных сооружений были разработаны специалистами логистического центра "Лого-парк Дон" совместно с кафедрой водоснабжения и водоотведения Донского государственного технического университета, включая установку светодиодных осветительных элементов (аспирант Старовойтов С. В.).

Двухлетний опыт эксплуатации показал, что ЛОС с роторными биофильтрами в автоматизированном режиме и с осветительными элементами обеспечивают нормативные требования по сбросу загрязнений очищенных сточных вод в водоем рыбохозяйственного значения (таблица 2).

Очищенная вода используется также для мойки автотранспорта, полива проездов, и орошения сельхозугодий. В итоге это показывает экологическую и экономическую целесообразность более широкого применения в РФ погружных вращающихся биофильтров в диапазоне "до малых сооружений" в рамках показателей НДТ ИТС10-2015.

Наименование	Средние за 3-й квартал 2018 г.	Дата анализов 2017 - 18 гг.					
		25.01.	23.05	14.06	11.07	13.03.18*	13.04.18*
БПК _{полн.} , мг О ₂ /л	0,73	< 0,5	0,5	0,5	3,46	-	-
ХПК, мг О/л	-	< 4	< 4	< 4	< 4	10	18,0
Азот аммонийный, мг/л	0,17	0,19	4,1	0,05	0,5	0,37	1,7
Фосфаты, мг/л	0,05	< 0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,7
Нитриты, мг/л	0,02	0,06	0,02	0,02	0,32	0,07	0,07
Нитраты, мг/л	1,2	3,55	4,8	4,62	15,1	60	71
Взв - е вещ-ва, мг/л	< 3	2,1	1,8	3,0	2,4	6,6	3,4
Хлориды, мг/л	10	-	30,0	10,0	32	-	-
Сульфаты, мг /л	30		30,0	30,0	64	-	-
Сухой остаток, мг/л	50	850	50,0	50,0	116	-	-
рН	7,3	6,7	6,5	5,5	7,08	7,2	7,6
Температура, °С	12,2	12	13	17	25	11.5	12,5

Справка о внедрении дана для представления в Диссертационный совет по защите кандидатской диссертации аспирантом Старовойтовым С. В.

Управляющий объекта «Логопарк (Пол)»
ООО «Премим Сервис»

В. Л. Макаров

20.10.2018





Индивидуальный предприниматель **Натопта О. Ф.**
Регистрационное свидетельство ГЕ №
03138 от 1 марта 1995г.
ОГРН 304230616700098; ИНН 230600154261
Факт, адрес: Краснодарский край, г. Ейск, ул. Мичурина 4
Тел/факс: 8 928 42 0000 4; E-mail: eiskpolimer@list.ru

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Рекомендации по совершенствованию технологии очистки вод установок закрытого рыборазведения с использованием светодиодного освещения фиксированного спектра, составленные на основе результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук аспиранта кафедры "Водоснабжение и водоотведение" Донского государственного технического университета Старовойтова Сергея Вадимовича по теме "Энергосберегающие технологии культивирования микроорганизмов для очистки вод с использованием солнечной энергии" приняты ко внедрению в объеме встраиваемого осветительного элемента в биофильтры для очистки вод установок рыборазведения.

Эколого - экономический эффект от использования указанных рекомендаций диссертационной работы складывается из повышения степени очистки вод, более глубокого потребления кормов и увеличения привесов рыб на 15 - 30%, а также за счет снижения платы за сброс очищенных вод и уменьшения затрат электроэнергии.

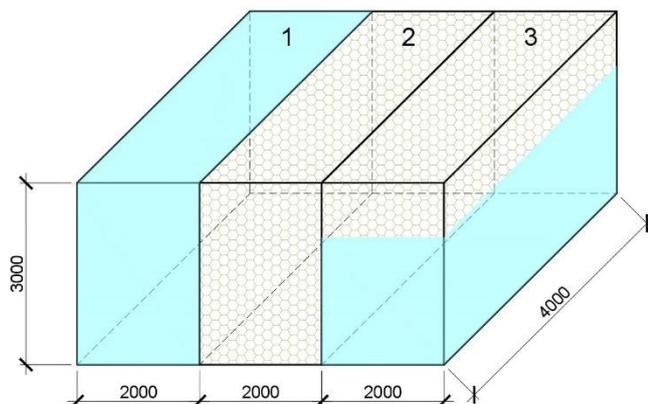
Технолог

Седымов В. В.

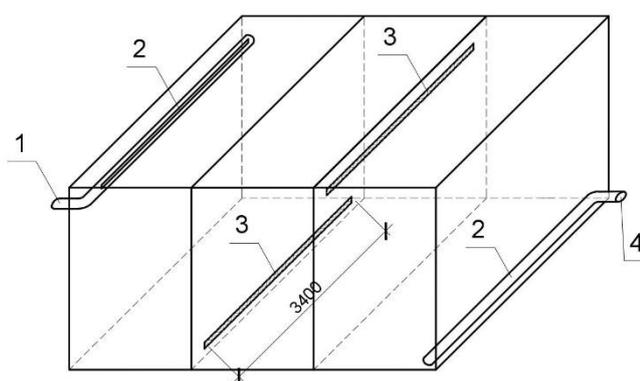
С уважением,
Индивидуальный предприниматель О. Ф. Натопта



Фильтр биологической очистки с предварительной денитрификацией

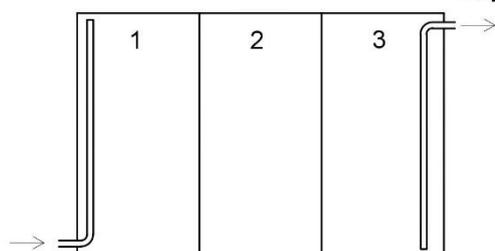


- 1 - денитрификатор;
- 2 - 1ая ступень биофильтра со статичной загрузкой;
- 3 - 2ая ступень биофильтра с плавающей загрузкой

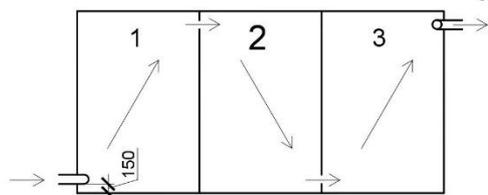


- 1 - падающая магистраль сточных вод в денитрификатор, $d=50\text{мм.}$;
- 2 - щель $h=2\text{см.}$;
- 3 - перепусная щель $h=4\text{см.}$ с защитной сеткой ячейкой 1см. ;
- 4 - отводящая магистраль $d=50\text{мм.}$, с защитной сеткой ячейкой 1см.

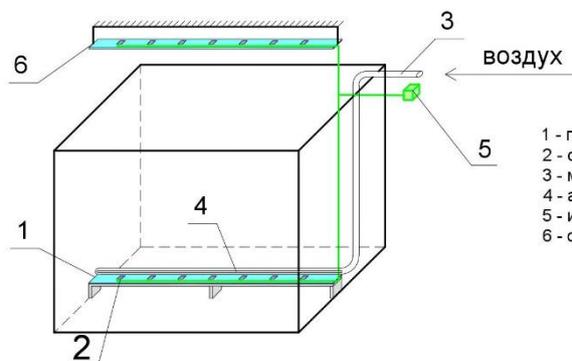
Вид сверху



Вид спереди

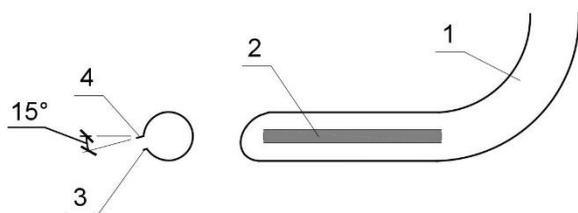


2ая ступень биофильтра с плавающей загрузкой



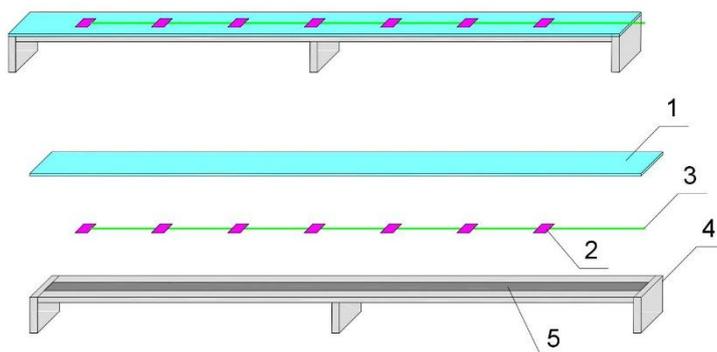
- 1 - панель со строенными светодиодами;
- 2 - светодиодный элемент;
- 3 - магистраль подачи воздуха, $d32\text{мм}$;
- 4 - аэрационная щель $h=2\text{мм}$.;
- 5 - источник питания 12В.;
- 6 - светодиодное освещение

аэрационный элемент



- 1 - магистраль подачи воздуха, $d32\text{мм}$;
- 2 - аэрационная щель, $h=2\text{мм}$.;
- 3 - нижняя направляющая воздушного потока по углом 15° град, $l=1\text{см}$.;
- 4 - верхняя направляющая воздушного потока под углом 15° град, $l=2\text{см}$.

осветительный элемент



- 1 - стекло;
- 2 - светодиодный элемент;
- 3 - силовой кабель;
- 4 - корпус подставки;
- 5 - алюминиевая вставка для охлаждения

ПАТЕНТЫ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2680511

**Способ повышения эффективности работы фильтра
биологической очистки сточных вод**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования "Донской
государственный технический университет", (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Серпокрылов Николай Сергеевич (RU), Старовойтов
Сергей Вадимович (RU), Халил Ахмед Собхи (RU)*

Заявка № 2018108144

Приоритет изобретения 06 марта 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 21 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 06 марта 2038 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 181325

Осветительно-аэрационный элемент

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет", (ДГТУ) (RU)*

Авторы: *Серпокрылов Николай Сергеевич (RU), Старовойтов Сергей Вадимович (RU), Халил Ахмед Собхи (RU)*

Заявка № 2018108121

Приоритет полезной модели 06 марта 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 10 июля 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 06 марта 2028 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

