

Оглавление

Введение.....	1
1. Обзор литературы	5
1.1 Особенности светового воздействия на объект.....	5
1.2 Анализ существующих систем облучения.....	8
1.3 Применяемые в искусственных системах источники излучения	16
1.3.1 Лампы накаливания	17
1.3.2 Люминесцентные лампы	18
1.3.3 Газоразрядные лампы высокого давления.....	19
1.3.4 Металлогалогенные лампы	19
1.4 Опыт использования светодиодов.....	20
2. Объект и методы исследования	23
2.1 Культивирование хлореллы	23
2.2 Метод подсчета клеток	26
2.3 Спектроскопические методы анализа	28
2.4 Экспериментальный метод подбора спектра облучения.....	31
4. Результаты проведенного исследования.....	38
5. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	40
5.1 Введение.....	40
5.2 Методика проведения сравнительного анализа	40
5.3 Используемые источники излучения	44
5.4 Расчеты и аналитика	45
5.5 Выводы.....	49
6. Раздел «Социальная ответственность»	50
6.1 Введение.....	50
6.2 Техногенная безопасность.....	51
6.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды	51
6.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды	55
6.3 Региональная безопасность	57
6.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	57
6.5 Особенности законодательного регулирования	59
6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	59
Заключение	62
Список публикаций студента.....	63

Список использованных источников	64
Приложение А	
Раздел на иностранном языке	68
Приложение Б	
Журнал эксперимента.....	81

Введение

В современном мире применение микроводорослей в различных областях становится все шире: в сельском хозяйстве, в пищевой промышленности, в медицине и косметологии, для очистки сточных вод, для производства кислорода и биотоплива.

Одной из разновидностей активно используемых водорослей является *Chlorella vulgaris*. Работы со штаммами этой культуры активно велись на протяжении последних десятилетий, но, тем не менее, не утратили своей актуальности. На данный момент ведется огромное количество разработок фотобиореакторов (ФБР), в России и за рубежом, направленных на производство биомассы микроводоросли вида *Chlorella* наиболее эффективным способом. Для этого необходимо учитывать целый ряд факторов, влияющих на развитие и размножение культуры, но наиболее важным из них является свет, т.к. именно он влияет на фотосинтез и развитие хроматофора – основного внутриклеточного образования хлореллы.

Конструкции современных фотобиореакторов предусматривают различные системы облучения, используются как естественные источники световой энергии, так и искусственные [1]. Искусственные источники излучения (ИИ), по сравнению с естественными, обладают рядом преимуществ, важнейшим из которых является возможность управления, позволяющая подбирать наиболее эффективные световые условия при культивировании. Как следствие, появляется возможность получать высокие скорости биосинтеза ценных веществ, входящих в состав хлореллы, что ускоряет размножение и прирост культуры. Однако все технологии, использующие искусственные ИИ, достаточно энергоёмки, что в значительной мере повышает себестоимость конечного продукта.

Оснащение фотобиореактров для микроводорослей твердотельными полупроводниковыми источниками облучения в значительной мере расширяет круг задач, решаемых при проектировании. Светодиоды схемотехнически

просто объединяются в последовательно - параллельные структуры, так же несложно осуществлять управление яркостью. Но главным преимуществом является возможность точно подобрать параметры излучения – длину волны, мощность, спектр необходимые для культивирования водорослей. Светодиоды более экологически безопасны и в отличие от люминесцентных ламп не содержат ртути. Кроме того, светодиоды имеют максимальную светоотдачу, обладают высоким коэффициентом полезного использования электроэнергии (около 80 %) по сравнению с другими источниками, КПД которых не превышает 50 %. Кроме того, конструктивные особенности светодиодных систем позволяют размещать источники света внутри суспензии микроводорослей, что позволяет лучше утилизировать энергию излучения [3]. Поэтому светодиодные ИИ, при правильном применении, могут решить ряд проблем, возникающих при культивировании микроводоросли *Chlorella vulgaris* в искусственных условиях.

Актуальность выполненной выпускной квалификационной работы заключается в решении проблемы увеличения энергопотребления при использовании искусственных ИИ, за счет исследования и оптимизации спектральных характеристик облучения, которые возможны благодаря использованию светодиодных облучателей. Область исследования представлена множеством научных коллективов, вот некоторые из них:

1. Вильнюсский университет, факультет естественных наук, кафедра биохимии и молекулярной биологии, Литва.
2. Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов.
3. Университет Уэльса, факультет химических наук и материаловедения, кафедра альгобиотехнологий, Испания.
4. Вагенингенский Университет, кафедра технологий биопроцессов, Нидерланды.
5. Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь.

6. Институт Физиологии Растений РАН им. К.А. Тимирязева, г. Москва.
7. Некоммерческое учреждение «Научно-исследовательский институт альгобиотехнологии», совместно с ООО НПК «ДЕЛО», г. Пенза.
8. Университет Джорджии, факультет высшего образования, США.

Решение проблемы, положенной в основу данной ВКР, имеет значимость для развития проектов и разработок по созданию фотобиореакторов, т.к. область исследования испытывает дефицит работ, направленных на изучение процесса культивирования со светотехнической стороны.

Целью работы является исследование и изучение оптических свойств микроводоросли *Chlorella vulgaris*, с целью формирования облучательных характеристик для обеспечения эффективного роста хлореллы в искусственных условиях. А также выбор источника излучения, наиболее оптимального не только с технической, но и с экономической точки зрения.

Объектом исследования является процесс культивирования микроводорослей. Понятие культивирование включает в себя управляемое разведение, выращивание растений, злаков, растительных клеток, микроводорослей, тканей, микроорганизмов, а также животных, подразумевающее использование не свойственных, для естественной среды, условий, обеспечиваемых различными технологическими решениями [4].

Предмет исследования – реакция приемника, на различные оптические характеристики источников излучения, основной из которых является спектральный состав. В данной ситуации имеется в виду частный случай культивирования микроводорослей, а именно *Chlorella vulgaris*, которые используются в качестве биологического приемника.

Личный вклад автора заключается в поиске методов для достижения цели работы и решения возникающих задач, в планировании и проведении экспериментов, обработке и анализе полученных данных. Постановка задач, а также обсуждение методов для их решения осуществлялись совместно с

научным руководителем и соавторами, указанными в публикациях по теме данной работы.

Структура и объем работы: работа состоит из введения, 6 глав, заключения, затем идет список публикаций (4 шт.) и список использованной литературы, включающий XX наименований. Работа изложена на XX страницах, содержит XX таблиц, XX рисунка и X приложения.

1. Обзор литературы

1.1 Особенности светового воздействия на объект

Большинство факторов окружающей среды (минеральное питание, газовый состав атмосферы, температура и т.д.) выводятся на уровни, достаточные для жизненных процессов хлореллы в искусственных условиях. Одним из основных параметров в таких условиях является световой фактор. Интенсивность и спектральный состав излучения играют основную роль в формировании составляющих продукционного процесса. Для того чтобы обеспечить необходимый уровень качества световых условий культивирования, необходимо понимать, какое влияние оказывают на развитие, рост, фоторегуляцию и другие процессы различные части спектрального состава излучения [5].

Вся свободная энергия, потребляемая биологическими системами, возникает из лучистой энергии, которая улавливается в процессе фотосинтеза.

Фотосинтез – это процесс образования органических соединений из неорганических, который происходит за счет энергии света [4]. В процессах фотосинтеза основную роль играют фотосинтезирующие пигменты, они обладают уникальным свойством - улавливать и преобразовывать лучистую энергию, в энергию, используемую для синтеза новых веществ.

Механизм фотосинтеза сложен и требует взаимодействия многих компонентов. У зелёных микроводорослей фотосинтез протекает в хроматофоре – структурной единице клеток, отвечающей за процесс обмена веществ, она в основном состоит из хлорофилла. Хлорофилл под действием кванта света теряет электрон и переходит в возбужденное состояние, электроны накапливаются на наружной поверхности мембраны клетки. Одновременно с этим, внутри хроматофора происходит фотолиз - разложение воды под действием видимого излучения, при котором также образуются свободные электроны. Они передаются переносчиками к молекулам хлорофилла и

восстанавливают их, в клетках хлореллы в этот момент образуется вода и свободный кислород, который диффундирует в окружающую среду.

Хроматофор является основным элементом внутриклеточного строения хлореллы. В нем содержится индивидуальный набор пигментов для каждого из десяти (по А. Пашеру) отделов микроводорослей [6]. *Chlorella vulgaris* относится к отделу зеленые водоросли (Chlorophyceae), среди пигментов которых преобладает хлорофилл типа «а» и «b», что объясняет ярко выраженную зеленую окраску. Кроме того, среди пигментов присутствуют каротины и ксантофиллы. Именно пигменты, различных видов, являются фоточувствительными элементами, как в хлорелле, так и в других растительных организмах, способных к фотосинтезу. На рисунке 1.1 приведены спектры поглощения основных и вспомогательных пигментов, а также спектр действия фотосинтеза [7].

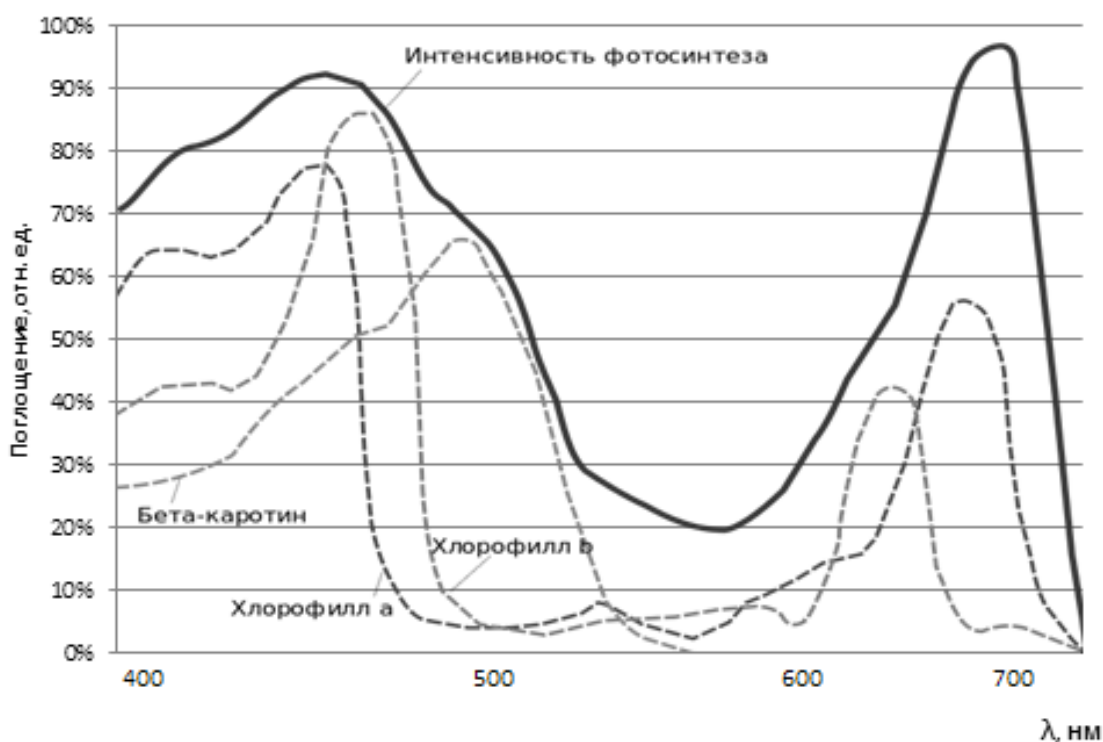


Рисунок 1.1 – Спектр действия фотосинтеза и фотопоглощающих пигментов

Группы фотосинтезирующих пигментов образуют пигмент-белковые комплексы: светособирающие комплексы (ССК) и фотосистемы I, II. Основной процент поглощённой лучистой энергии поступает в клетку благодаря ССК, т.к. более 90 % всего хлорофилла входит в их состав. Функция комплексов

заключается не только в поглощении излучения, они также защищают растительные организмы от фотоповреждений, но главная их задача заключается в последующей миграции энергии, полученной от квантов света к реакционным центрам фотосистем I и II.

Реакционный центр – группа белков, пигментов и других молекул небелковой природы, благодаря взаимодействию которых лучистая энергия переходит в химическую [7]. Данные структурные единицы есть у всех фотосинтезирующих организмов: зелёных растений, водорослей и многих бактерий. Примечательно то, что реакционные центры гомологичные у всех видов, в то время как ССК имеют разный состав в зависимости от вида и световых условий роста. Выделяют четыре типа реакционных центров: пигменты P700 (у высших растений в фотосистеме I), P680 (у высших растений в фотосистеме II), P870 (у пурпурных бактерий) и P840 (у зелёных серобактерий).

Реакционные центры состоят из малого количества хлорофилла «а» (1-3% от общего количества пигментов) по сравнению с другими ССК. Энергия, для того чтобы обеспечить высокую скорость фотохимических реакций, обеспечивается системой миграции энергии, за счет которой поглощенные кванты света концентрируются в реакционные центры фотосистемы II и фотосистемы I. Направленный поток энергии движется от ССК в реакционные центры, этот процесс осуществляется за счет общего принципа: передача энергии идет от пигментов коротковолновых форм к длинноволновым формам (Рисунок 1.2).

Существует несколько механизмов передачи энергии, но все они основаны на резонансном взаимодействии молекул. Передача энергии в ССК происходит даже при крайне низких температурах ($1^{\circ}\text{K} = -272^{\circ}\text{C}$), из этого факта было сделано заключение, что миграция энергии происходит без передачи электронов (при таких низких температурах переход энергии посредством электронов невозможен) [8].

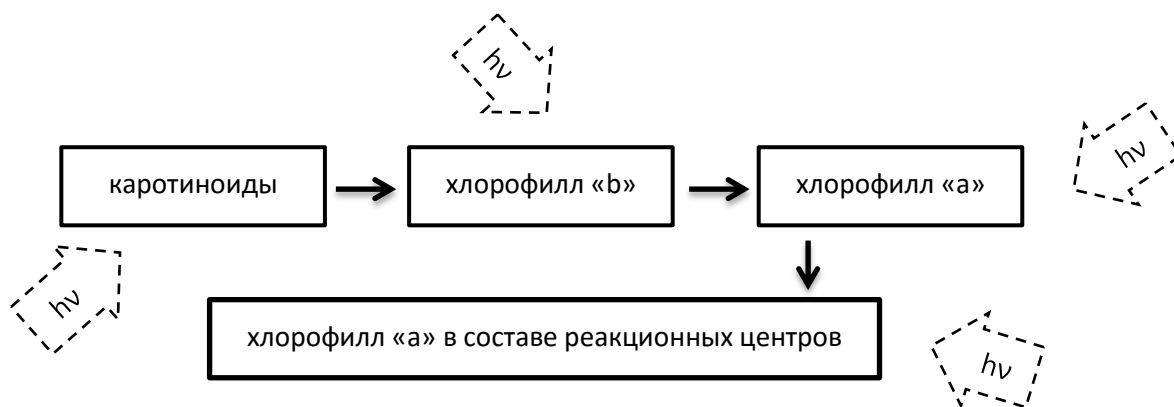


Рисунок 1.2 – Схема типичной миграции энергии

Передача энергии в светособирающих комплексах всегда протекает с некоторыми потерями энергии. Эффективность межпигментной и межкомплексной передачи энергии зависит от природы пигментов, структурной организации фотосинтетического аппарата, условий среды. Например, передача энергии на хлорофилл «а» осуществляется с эффективностью 100 % от хлорофилла «b» и «с», 90 % - от фикобилипротеинов, 50 % - от каротиноидов. В связи этим максимум поглощения пигмента-донора сдвинут в более коротковолновую область, по сравнению с максимумом пигмента-акцептора. Энергия возбуждения пигмента-донора всегда выше, энергии возбуждения пигмента-акцептора.

1.2 Анализ существующих систем облучения

Облучательные установки (ОбЛУ) в своей основе содержат технологические процессы фотобиологического действия. Фотобиологические реакции происходят по схеме первичные фотофизические реакции – первичные фотохимические реакции – биохимические реакции. Облучение охватывает фотосинтез (энергетический процесс) и биосинтез хлорофилла (биосинтетический процесс).

ОбЛУ используют, когда уровень естественной облученности не достаточен для нормального развития культуры.

Облучательные установки состоят из облучательных приборов. Облучательный прибор (ОблП) – это устройство, обеспечивающие необходимое распределение излучения на приемнике и состоит из источника излучения и арматуры. Арматура преобразует излучение источника, перераспределяя световой поток, изменяя спектральный состав и т.д. В арматуру входят все элементы, необходимые для механического крепления источника излучения, подключения его к источнику питания и поддержания нормального функционирования. Арматура защищает ИИ и все элементы электрической коммутации от воздействия окружающей среды и механического повреждения, а также содержит элементы крепления ОблП.

Наиболее важными характеристиками ОблУ являются спектральный состав, облученность, продолжительность суточного облучения и пространственное распределение светового потока.

В спектральном диапазоне выделяют следующие условные участки:

1. Более 1000 нм – только тепловое воздействие;
2. 1000-700 нм – в основном эффект роста;
3. 610-700 нм – участок максимального фотосинтетического эффекта, синтез хлорофилла, увеличение продолжительности светового дня;
4. 315-510 нм – второй пик фотосинтеза, ростовой и формативный эффекты;
5. 280-350 нм – излучение вредно для большинства объектов облучения;
6. менее 280 нм – гибель объекта.

Равномерное распределение облученности обеспечивают благодаря высокой мощности ОблУ, либо используя подвижные установки. При применении подвижных установок возрастает интенсивность фотосинтеза, но

существенным недостатком таких установок является более сложная конструкция, по сравнению со стационарными.

Требования к облучательным установкам:

1. спектральный состав излучения должен в большей степени соответствовать спектральной чувствительности растения и не содержать излучений, угнетающе действующих на растения;
2. облученность должна быть равномерно распределена по облучаемой поверхности, а также быть достаточной, для нормального осуществления фотосинтеза и формирования растений;
3. установки не должны перегревать облучаемые объекты и мешать уходу за ними;
4. устройство и эксплуатация ОбЛУ должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к электрическим устройствам в особо сырых помещениях.

В современном мире существуют два основных способа выращивания микроскопических водорослей: 1) под открытым небом; 2) в искусственных условиях. Ещё в начале 50-х годов двадцатого века были изобретены и описаны различные установки для выращивания микроскопических водорослей под открытым небом. Исследования проводили такие страны как США, Япония, Чехословакия и другие [9]. В Российской Федерации из-за условий климата большинства регионов страны, целесообразно применять устройства для искусственного производства определенных культур микроорганизмов, которые обеспечивают оптимальные условия их жизнедеятельности, данные установки называются – фотобиореакторы [10].

В настоящее время существует много различных установок для выращивания микроводоросли под открытым небом, основные типы данных установок представлены на рисунках 1.2 - 1.5 [9].



Рисунок 1.2 – Установки для выращивания хлореллы под открытым небом

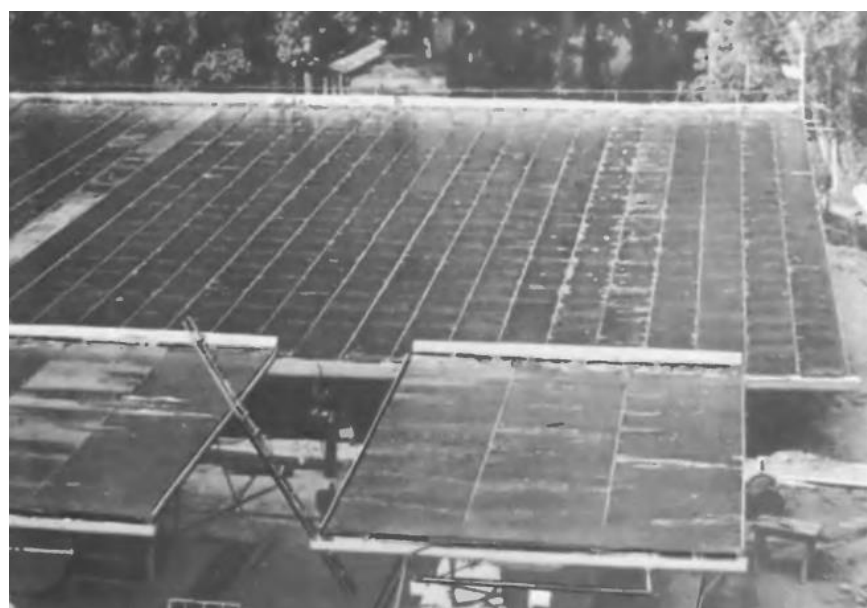


Рисунок 1.3 – Установка для выращивания микроводоросли под открытым небом, расположенная на крыше оранжереи

Открытые установки глубинного типа это круглые или квадратные бассейны, диаметром до 20 м, а так же глубокие ванны. Слой выращиваемой в данных установках суспензии хлореллы составляет до 50 см. Перемешивание суспензии осуществляется механическим способом. Освещение осуществляется за счет солнечной радиации. К достоинствам данных установок можно отнести

высокий выход продукции. К отрицательным моментам можно отнести – сложность конструкции и высокие затраты на создание [11]. Открытые установки неглубинного типа имеют конструкцию лотков, каскадов, неглубоких ванн. Глубина слоя суспензии в данных установках составляет до 25 см. Перемешивание осуществляется в основном насосами. Освещение осуществляется так же, как и в установках глубинного типа за счет солнечной радиации. Хотя открытые установки неглубинного типа просты и недороги, небольшой выход продукции относительно занимаемой площади является их основным недостатком.

Еще один тип конструкций впервые появился в Болгарии. При строительстве в нем были применены местные природные ресурсы, такие как воды источника, богатого минеральными солями и регулирование температуры за счет воды горячих источников [11]. Они представляли собой прозрачные пластиковые трубы небольшого диаметра, расположенные друг над другом (Рисунок 1.4). Перемешивание суспензии, в которых, происходило с помощью насосов, а в качестве источника энергии выступал солнечный свет [12].



Рисунок 1.4 – Открытая циркуляционная установка по выращиванию хлореллы

Данные установки позволяют выращивать чистую среду, осуществлять безопасное перемешивание. Минусами данных установок является

зависимость от погодных условий, и нарастание клеток хлореллы на стенках труб, что требует их очистки, из-за чего усложняется технологический процесс.

Сравнительно новой конструкцией установки, использующей естественное освещение, является система с использованием солнечных трекеров (Рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Адаптируемая к направлению излучения установка для выращивания хлореллы

Данная конструкция, в отличие от остальных, используемых решений, позволяет максимально использовать солнечный свет благодаря тому, что следует за ним с помощью двух независимых приводов в сочетании с датчиком освещенности. Таким образом, устанавливая переднюю стенку резервуара под прямым углом по отношению к падающему излучению.

Несмотря на разнообразие конструкций установок, выращивание под открытым небом имеет низкий коэффициент размножения культуры, таким образом можно считать данный вид культивирования – экстенсивным, при котором получение большого количества урожая возможно лишь при увеличении производственных площадей. Изменчивые погодные условия являются причиной того, что в установках открытого типа невозможно длительное, стабильное снятие урожая, которое существенно зависит от погодных условий. Повысить продуктивность установок под открытым небом

возможно путем создания различных систем для поддержания необходимых условий.

Установки, которые используют искусственное облучение, еще более разнообразны по своему виду. Помимо, таких отличий, как форма резервуара, объем, способ перемешивания суспензии, которые существуют также среди ФБР предыдущего типа, здесь появляются такие характеристики, как мощность, потребляемая установкой, степень ее автоматизации, количество воссоздаваемых условий среды, тип ИИ, расположение приборов в облучательной установке (ОбЛУ) и др.

Рассмотрим, в качестве примера, несколько конструкций фотобиореакторов. Установки закрытой циркуляционной системы являются основным видом систем с контролируемыми параметрами (Рисунок 1.6) [11].



Рисунок 1.6 – Промышленное выращивание в искусственных условиях

В качестве ИИ используются люминесцентные лампы, расположенные между труб циркуляционной системы, что позволяет максимально эффективно использовать лучистую энергию источника для облучения.

На рисунке 1.7 изображена исследовательская установка, в которой в качестве источника излучения также используется люминесцентная лампа (ЛЛ). Использование нескольких резервуаров для суспензии позволяет изучить влияние состава питательной среды, концентрации углекислого газа или др.

параметров на эффективность роста, за счет изолированности образцов в системе.



Рисунок 1.7 – Исследовательская установка для выращивания хлореллы

Еще одной распространенной концепцией установки служит фотобиореактор прямоугольной формы из светопрозрачного материала (Рисунок 1.8). Свою распространенность он получил за счет простоты конструкции. Облучатели в таких установках могут быть расположены разными способами, но наиболее распространенной является система облучения через боковые стенки резервуара.

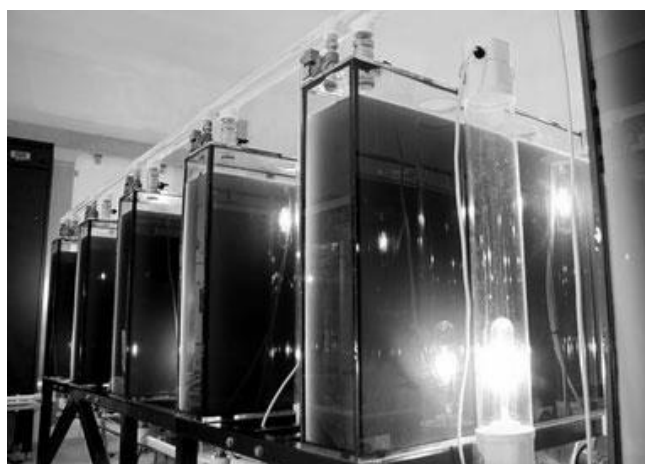


Рисунок 1.8 – Исследовательская установка для выращивания хлореллы

Количество источников, а также их мощность зависит от объема суспензии хлореллы и от толщины облучаемого слоя. Параметры необходимо подбирать так, чтобы клетки хлореллы, находящиеся в дальнем от облучателя

слое, имели возможность получать необходимую порцию лучистой энергии для фотосинтеза. Также при этом следует учитывать, что высокий уровень облученности в ближнем слое суспензии может служить причиной фотоповреждений биологических организмов.

Все установки различаются по форме резервуара с питательной средой, в котором находится хлорелла, по степени изоляции системы от внешних условий, а также по типу облучения. По типу облучения можно разделить все установки на естественные условия и искусственно созданные. ФБР с искусственным облучением в свою очередь делятся на группы в зависимости от используемого источника излучения, от которого зависит спектр облучения.

1.3 Применяемые в искусственных системах источники излучения

Неоспорим тот факт, что все биологические организмы приспособились к спектральному составу естественного света. Но, при использовании искусственного облучения, обеспечить близкий к солнечному спектру диапазон очень тяжело. Значительный объем затрат энергоресурсов на выращивание в искусственных системах культуры *Chlorella vulgaris* приходится на электроэнергию, по этой причине все источники света должны подбираться по соответствию лучистого потока потребностям объекта воздействия и экономической выгоды применения. В большинстве случаев, световая среда формируется выбором моделей и типов светотехнического оборудования. Взятая в отдельности каждая из трех основных областей фотосинтетически активной радиации (ФАР), при сравнительно невысоких уровнях светового потока, не обеспечивают высокую продуктивность растений в светокультуре, однако доказанное положительное влияние на продукционную деятельность растений достаточно высоких уровней облученности в любой области видимого излучения, т.е. высокий уровень облученности даже в области расположения минимума поглощения хлорофилла (500-600 нм), обеспечивает эффективную продукционную деятельность растений [13].

Наиболее распространенными серийными источниками излучения являются люминесцентные лампы, как компактные, так и линейного типа, но также встречаются лампы накаливания (ЛН), металлогалогенные лампы (МГЛ), натриевые газоразрядные лампы (ДНаТ), лампы типа ДРЛФ и др.

1.3.1 Лампы накаливания

Рабочая температура вольфрамовой нити накала примерно вдвое меньше, чем температура внешних слоёв Солнца (около 6000 К), от которых на Землю приходит свет. Поэтому в соответствии с законом Вина максимум плотности излучаемых горячей нитью электромагнитных волн приходится на невидимый глазами свет со средней длиной волны 1 мкм. В основном энергия от лампы накаливания уходит в виде инфракрасного излучения. Только небольшая часть распределения попадает в хорошо воспринимаемый хлореллой диапазон длин волн 410 нм – 520 нм и 650 нм – 720 нм. Как следствие, эффективность использования электрической энергии, которая расходуется на то, чтобы поддерживать температуру нити накала в рабочем режиме, не очень высока.

Лампы накаливания, пригодны для проведения исследований в области культивирования микроводорослей, в качестве облучателей, обеспечивающих возможность организации высоких уровней облученности растений в области ФАР (до 1000Вт/м² ФАР), трудно доступных при использовании других видов источников света.

Световая отдача лампы накаливания изменяется в зависимости от мощности лампы (Таблица 1.1). Срок службы ЛН составляет ~1000 ч. Так как КПД данного источника в области ФАР составляет 2-5% (около 8 % для галогенных ЛН), использование ЛН для целей промышленного культивирования избегается и, в последнее время, практически прекратилось.

Таблица 1.1 – Световая отдача ЛН

Тип	Относительная световая отдача %	Световая отдача(Люмен/Ватт)
Лампа накаливания 40 Вт	1,9 %	12,6
Лампа накаливания 60 Вт	2,1 %	14,5
Лампа накаливания 100 Вт	2,6 %	17,5
Галогенные лампы	2,3 %	16

1.3.2 Люминесцентные лампы

Световая отдача люминесцентных лампы (ЛЛ) ~ 60 – 80 люмен/Вт, срок службы ~ 10 тыс. часов, энергетический КПД (9-12%). Спектр излучения люминесцентных ламп не удовлетворяет потребностей биологических приемников, т.к. является линейчатым и содержит мало красных и ближних инфракрасных лучей, поэтому в облучательных установках с ЛЛ в качестве источника часто применяются также лампы накаливания, которые в комбинации с ЛЛ имеют хороший спектр облучения. КПД люминесцентных ламп в области ФАР выше, чем у ЛН. Общая облученность в установках с ЛЛ невелика и зависит от числа ламп в световом блоке и расстояния между ними. Возможно расположение световых блоков на основе ЛЛ как горизонтально над установками, так и вертикально между ними.

В настоящее время для культивирования хлореллы, при мелкомасштабном производстве, применяются КЛЛ. Эти лампы бывают как со встроенным балластом, так и без него. Лампы со встроенным балластом отличаются от протяженных люминесцентных ламп общего назначения только меньшими габаритами и простотой использования - их можно вкручивать в обычный патрон Е27.

Компактные люминесцентные лампы являются оптимальным выбором для облучения растений при небольшой мощности системы (до 200 Вт

суммарной мощности), что встречается лишь при мелкомасштабном культивировании с малыми объемами.

1.3.3 Газоразрядные лампы высокого давления

В комплекте с пускорегулирующим устройством лампы серии ДРЛФ мощностью 400 Вт известны как облучатели ОТ-400. Светоотдача ламп ДРЛФ400 ~ 40-45 лм/Вт. В спектре излучения лампы ДРЛФ-400 в различной степени представлены все диапазоны ФАР и по этому признаку её можно рассматривать как удовлетворительную лампу для применения, как в области растениеводства, так и для нужд альгологии. При установлении уровня облученности растений свыше 80 Вт/м² ФАР необходима принудительная вентиляция для предотвращения перегрева биологического приемника, применение которой делают неэффективным использование ламп ДРЛФ-400 с тепличными облучателями ОТ400 в современной светокультуре растений [14].

1.3.4 Металлогалогенные лампы

Металлогалогенная лампа (МГЛ) – один из видов газоразрядных ламп (ГРЛ) высокого давления. Отличается от других ГРЛ тем, что для коррекции спектральной характеристики дугового разряда в парах ртути в горелку МГЛ дозируются специальные излучающие добавки (ИД), представляющие собой галогениды некоторых металлов.

Металлогалогенная лампа является сложным электрохимическим прибором, свойства которого тесно связаны с условиями включения и расположения лампы. Световая отдача металлогалогенных ламп высока и лежит в пределах 70-120 лм/Вт, срок службы ламп ДРИ — 8 - 10 тыс. час. Разработаны модификации ламп серии ДРИ, мощностью 250, 400, 700, 1000 и 2000 ватт предназначенные для выращивания растений томата или растений огурца. Излучение ламп ДРИ в различных спектральных участках ФАР дает возможность создания узкоспециализированного светотехнического оборудования для выращивания особо требовательных к световым условиям

культивирования объектов. Однако в спектре излучения ламп типа ДРИ велика доля инфракрасного излучения, поглощаемого и вызывающего перегрев объекта [14,15].

1.3.5 Натриевые лампы высокого давления

Спектр излучения натриевых ламп высокого давления (НЛВД) позволяет использовать их для успешного выращивания разнообразных овощных, декоративных и других культур. Натриевая лампа (НЛВД) — электрический источник света, светящимся телом которого служит газовый разряд в парах натрия. Поэтому преобладающим в спектре таких ламп является резонансное излучение натрия; лампы дают яркий оранжево-жёлтый свет. Эта специфическая особенность НЛВД (монохроматичность излучения в зоне 589,6 нм) вызывает при освещении ими неудовлетворительное качество цветопередачи. Натриевые лампы высокого давления НЛВД имеют срок службы ~ 10 тыс. часов и высокую светоотдачу, причем чем больше мощность натриевой лампы, тем выше ее светоотдача. При мощности ламп ДНаТ 400, 600, 750Вт, светоотдача составляет соответственно 120,140 и 160 лм/Вт и, следовательно, более экономично ее применение в светокультуре растений. Параметры НЛВД стабильны в широком диапазоне внешних условий.

1.4 Опыт использования светодиодов

Использование энергоэффективных светодиодов, генерирующих монохроматический свет, создает возможность эффективно управлять процессами фотосинтеза и фотоморфогенеза, за счет спектра облучения. Путем составления комбинации из светодиодов разных цветовых групп можно получить источник света с практически любым спектральным составом в области видимого излучения и регулировать процессы, протекающие внутри хлореллы, а, как следствие, и качеством получаемой продукции [16,17].

Недостатки светодиодного освещения - стоимость светодиодных облучателей со световым потоком, эквивалентным световому потоку одного

современного светильника с НЛВД 600Вт, превышает стоимость последнего не менее чем в 10 раз. В настоящее время разрабатываются методы комбинирования, заключающиеся в совместном использовании ламп серии ДНаТ и светодиодов. В спектре натриевой лампы средний уровень интенсивности в синей области более чем в три раза ниже, чем уровень интенсивности в красной области. Включение в систему облучения светодиодов, излучающих свет в диапазоне от 450 - 475 нм, значительно улучшает качество светового потока, приближая его к оптимальному соотношению энергий по спектру: 30% – в синей области, 20% – в зеленой и 50% – в красной. Показано, что в комбинаторной светокультуре интенсивность фотосинтеза у растений может быть выше на 20%, по сравнению с использованием только ламп высокого давления [17].

Опыт применения облучателей на основе светоизлучающих диодов для культивирования хлореллы встречается, в основном, в зарубежной литературе [18-20]. В ходе обзора литературы, замечено несколько фактов использования светодиодов. Во всех этих случаях светодиодные облучатели используются из соображений экономии, а также в связи с возросшей популярностью к данному ИИ за последнее время.

Эрико де Маттос из университета Сан-Паулу в Бразилии, под руководством Мигеля Кабрера (Университет Джорджии, факультет высшего образования, США) исследует в своей работе возможность повышения эффективности выращивания культур микроводорослей на поздней стадии процесса, при высокой плотности клеток [18]. Регулировка светового питания и применение слабо поглощаемой зеленой компоненты спектра ФАР позволило добиться необходимого результата, т. к. излучение с зеленым спектром может проникать сквозь большую (в сравнении с другим, поглощаемым спектром) глубину в слое суспензии микроводорослей при высокой плотности клеток и принести пользу на заключительных этапах производства микроводорослей.

Известно также совместное исследование Западного университета Санта-Катарины (Бразилия), департамента химической инженерии,

Федерального университета Санта – Катарины (Бразилия) и Бразильской корпорации сельскохозяйственных исследований [19]. Светодиодные облучатели с монохроматичным длинноволновым спектром и бытовая люминесцентная лампа были использованы для сравнения воздействия источника света на микроводоросль *Chlorella vulgaris* в фотобиореакторах, содержащих разбавленные сточные воды свиноферм в качестве культуральной среды.

Из результатов экспериментов, красный светодиод демонстрировал более высокую удельную скорость роста – 36% в день при условии $148,5 \mu\text{моль м}^{-2} \text{с}^{-1}$ по сравнению с люминесцентным облучением - 30% в день. Эффективность удаления биогенных веществ из культуральной среды существенно зависит от длины волны света. Следовательно, светодиодная система освещения была в два раза более эффективна при удалении N-NH_3^+ (47%) , чем в фотобиореакторе облучение которого осуществлялось по средствам люминесцентных ламп. Таким образом, было определено, что светодиодная система облучения является более эффективной для очищения сточных вод и производства биомассы хлореллы, чем система с использованием люминесцентных ламп.

Исследованием процесса культивирования хлореллы, с использованием светодиодов, занимаются на кафедре альгобиотехнологий в Университете Уэльва, Испания [20]. Предметом исследования являются условия культивирования (влияние конфигурации фотобиореактора, способ перемешивания суспензии, насыщения ее углекислым газом, а также уровень облученности).

Вопрос применения светодиодных облучателей для хлореллы изучен слабо. Возможности, которые открывает использование полупроводниковых источников излучения, использованы не в полной мере. Экспериментальные методы изучения влияния спектрального состава излучения и оптимизация спектральных характеристик облучателя являются актуальными темами для

исследований, результаты которых имеют значительный потенциал в области промышленного культивирования микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

2. Объект и методы исследования

2.1 Культивирование хлореллы

Хлорелла – это одноклеточная микроскопическая планктонная водоросль, широко распространенная в природе. Она образует зеленый налет на влажной почве и предметах находящихся под водой, а в реках и озерах она находится во взвешенном состоянии [21].

Использование микроводорослей в сельском хозяйстве в качестве добавки к кормам всё больше интересует не только ученых, но и производителей сельскохозяйственной продукции. Данный интерес обусловлен богатым химическим составом и его концентрацией в суспензии хлореллы [22]. Хлорелла содержит большое количество белка – 55 %, что вдвое больше чем у растений семейства бобовых [23]. Белок хлореллы превосходит по качеству известные растительные белки, так как он содержит все необходимые аминокислоты, в том числе незаменимые [24]. В суспензии хлореллы присутствуют все известные витамины. Витамины D и B12 не производятся растениями, однако в хлорелле они содержатся. Содержание витамина C в хлорелле соответствует содержанию его в лимоне, и в отличие от высших растений водоросль содержит витамин A в чистом виде. К макроэлементам и микроэлементам, входящим в состав хлореллы относят: фосфор, кальций, калий, магний, цинк, железо, кобальт, марганец, рубидий, цирконий и другие [21].

Сравнив питательную ценность в целом, нашли, что 1 кг биомассы хлореллы равен 4-5 кг сои. По калорийности хлорелла приравнивается к шоколаду, а её белок равноценен белку сухого молока [25]. Таким образом, добавления хлореллы в рацион сельскохозяйственных животных позволит восполнить дефицит аминокислот, витаминов, минеральных веществ и

микроэлементов. Хлореллу могут употреблять все представители животного мира от ракообразных и рыб, до сухопутных животных и птиц [26].

В процессе культивирования на развитие микроводоросли оказывают влияние многие факторы. Необходимо соблюдать условия роста, формирующие среду, в которой она растет. Реакция биологического приема зависит не только от облучения, но и от целого комплекса дополнительных факторов, которые определяют жизнедеятельность хлореллы: температура окружающей среды, концентрация минеральных веществ в культуральном растворе, степень насыщения суспензии углекислым газом, способ и интенсивность перемешивания биомассы микроводорослей.

Для проведения экспериментальных исследований было использовано две различные установки для культивирования. Первая установка была разработана с учетом специфики условий роста используемого нами штамма микроводоросли *Chlorella vulgaris* (Рисунок 2.1).

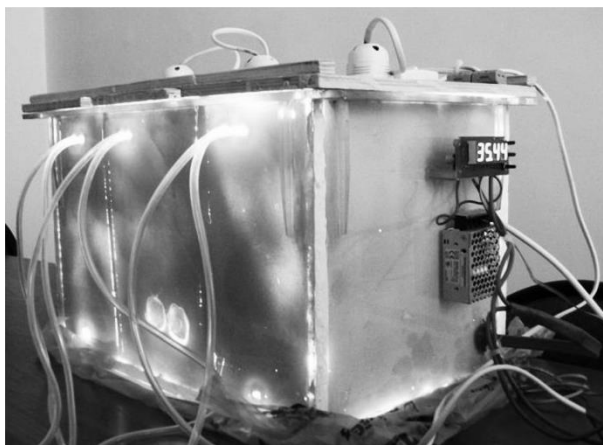


Рисунок 2.1 – Экспериментальная установка для эффективного сравнения спектров облучения хлореллы

Установка представляет собой емкость прямоугольной формы, выполненную из оргстекла, внутренние поверхности которой покрыты белой краской для лучшего распределения излучения. Экспериментальный фотобиореактор позволяет сравнивать эффективность спектров облучения от

трех различных источников. Для того чтобы изолировать излучение облучателей друг от друга установка разделена на три отсека.

Для поддержания необходимых температурных условий фотобиореактор снабжен нагревательным элементом. Управление температурными условиями осуществляется за счет цифрового термостата и датчика температуры. Задача термостата – коммутация нагревательного элемента при отклонении от необходимой температуры среды. Равномерность распределения тепловой энергии осуществляется за счет наполнения фотобиореактора водой и сообщения отсеков между собой.

В каждом отсеке расположено по одному образцу суспензии хлореллы. Перемешивание и обогащение среды углекислым газом обеспечивается по средствам аэрации.

Вторая, используемая для получения данных, установка представляет собой систему фитотронов с интеллектуальным управлением. Так как установка предназначена для работы с растениями, необходимо было приспособить ее для работы с микроводорослями. Необходимым параметром для обеспечения роста культуры является температура окружающей среды – 35-37°C. Это условие удалось обеспечить благодаря использованию водяного нагрева культуры. Контроль, для обеспечения равных температурных условий, осуществлялся посредством термометров, установленных в каждом образце (Рисунок 2.2)



Рисунок 2.2 – Образцы с суспензией хлореллы, установленные в фитотронах

2.2 Метод подсчета клеток

Для определения количества микроорганизмов в 1 мл жидкости производят, подсчет их под микроскопом в счетной камере (Тома-Цейса, Горяева, Бюркера или Предтеченского). Счётные камеры представляют собой устройства, первоначально используемые для подсчёта форменных элементов крови посредством микроскопирования. В настоящее время, область применения данного метода стала шире. Одной из новых сфер использования счетных камер стала альгология.

Подсчет клеток хлореллы проводился по стандартной для световой микроскопии методике [27], с помощью камеры Горяева на микроскопе. Для достоверности, подсчет клеток проводился в трех повторностях. Счетная камера имеет вид толстого предметного стекла, в центре которого находится стеклянная пластинка с выгравированной на ней сеткой, (или 2 сетки на разделенной пополам пластинке). По краям от центральной пластинки находятся две другие с уровнем на 0,1 мм выше (Рисунок 2.3).

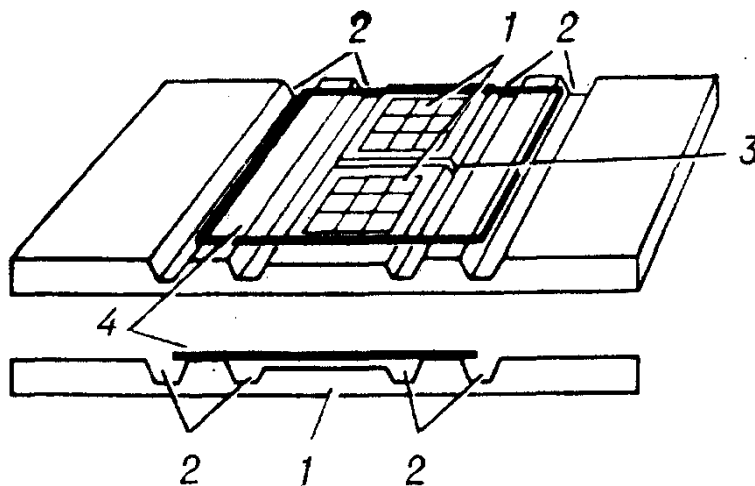


Рисунок 2.3 – Устройство двухсеточной камеры Горяева:

1 — пластинки с выгравированными сетками; 2 — продольные желобки; средняя часть пластинки ниже боковых на 0,1 мм (глубина камеры) и разделена поперечным желобком (3); 4 — покровное стекло.

После тщательного перемешивания исследуемой жидкости берут ее образец и наносят на сетку счетной камеры, накрывают покровным стеклом

размером 18х18 мм толщиной 0,25—0,35 мм и притирают покровное стекло к боковым пластинкам камеры до образования колец Ньютона. Притирают покровное стекло для того, чтобы высота слоя исследуемой жидкости в камере была 0,1 мм.

После заполнения камеры исследуемым образцом, ее помещают на столик микроскопа и находят в его поле зрения сетку. Подсчитывают все клетки микроорганизмов, находящиеся внутри большого квадрата, а также на пограничных линиях, если клетки большей половиной находятся в данном квадрате. Клетки, большая половина которых находится в другом квадрате, не подсчитываются. Если клетки пересекаются пограничной линией пополам, то клетки считают только на двух смежных сторонах квадратов, например, на левой и нижней. В каждом препарате подсчитывают клетки в пяти больших квадратах, например, по углам и в центре сетки. В слишком густых суспензиях считать микроорганизмы трудно, поэтому их следует разбавлять водой и пользоваться такими разведениями, при которых количество клеток в одном большом квадрате будет не более 30.

Для того чтобы результат подсчета был достоверен, необходимо сосчитать не менее 600 микроорганизмов. Количество препаратов, в которых нужно подсчитать микроорганизмы, будет зависеть от количества клеток в них. Так, если в пяти больших квадратах одного препарата содержится около 150 клеток, то нужно приготовить 4 препарата, чтобы общее количество сосчитанных клеток было около 600.

Объем одного большого квадрата во всех счетных камерах равен $1/250 \text{ мм}^3$, соответственно объем 5 квадратов равен $5/250$ или $1/50 \text{ мм}^3$.

Число микроорганизмов в 1 мл исследуемого субстрата удобно определять по формуле:

$$n = N_{\text{б.кв.}} \cdot 2,5 \cdot 10^5, \quad (1)$$

где n — количество клеток на мл;

$N_{\text{б.кв.}}$ — количество клеток над большим квадратом.

2.3 Спектроскопические методы анализа

К спектроскопическим методам анализа относят физические методы, основанные на избирательном поглощении электромагнитного излучения молекулами (или атомами) анализируемого вещества. Данные методы применялись для решения нескольких задач: 1. Определения спектра поглощения хлореллы; 2. Регистрации динамики оптической плотности суспензии в ходе роста и развития культуры.

При пропускании монохроматического светового потока через кювету с раствором, содержащим молекулы или ионы, интенсивность светового потока уменьшается. Это связано с рядом причин: часть света поглощается молекулами или ионами, другая часть – растворителем и примесями, третья – рассеивается и отражается стенками кюветы. Чтобы учесть потери света, связанные с растворителем и кюветой, измерения проводят относительно раствора сравнения, не содержащего исследуемый объект. Обычно в качестве раствора сравнения используют чистый растворитель. Если поместить и фотометрируемый раствор, и раствор сравнения в одинаковые кюветы, а затем через эти кюветы пропускать свет с одной и той же длиной волны λ и одинаковой начальной интенсивностью $I_{нач}$, то потери света на отражение и рассеяние для обеих кювет окажутся одинаковыми. Тогда различие в интенсивности получаемых световых потоков (I и I_0) будет определяться лишь природой и концентрацией объекта.

В качестве аналитического сигнала в молекулярно-абсорбционной спектроскопии используют оптическую плотность (A). Это десятичный логарифм отношения интенсивности монохроматического света, прошедшего через раствор сравнения, к интенсивности света, прошедшего через исследуемый раствор:

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I}, \quad (2)$$

где A – оптическая плотность раствора;

I_0 – интенсивность излучения до прохождения образца;

I – интенсивность излучения после поглощения.

Оптическая плотность – безразмерная величина. Она не зависит от $I_{нач}$, а определяется природой и концентрацией частиц, поглощающих свет на данной длине волны, а также толщиной поглощающего слоя в кювете. Связь этих величин описывает основной закон светопоглощения, который принято называть законом Бугера – Ламберта - Бера:

$$I = I_0 \cdot e^{-xcd}, \quad (3)$$

где C – концентрация раствора;

x – показатель поглощения для раствора единичной концентрации, зависит от природы растворенного вещества и длины волны падающего света.

Графически закон Бугера-Ламберта-Бера можно представить так, как показано на рисунке 2.4.

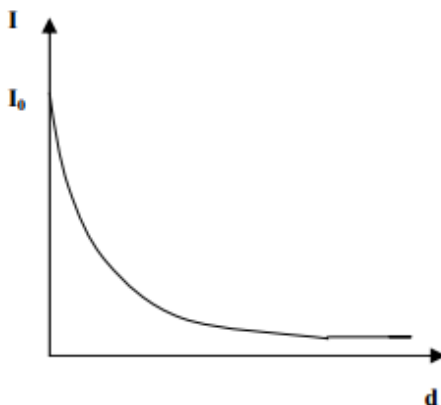


Рисунок 2.4 – Графическое представление закона Бугера – Ламберта – Бера.

В соответствии с этим законом, оптическая плотность раствора, измеренная на некоторой длине волны, прямо пропорциональна концентрации растворенного вещества, поглощающего свет на этой длине волны, и толщине слоя раствора.

Для измерения оптической плотности растворов и регистрации спектров поглощения используют спектрофотометры (рис.3). Важнейшая их часть - монохроматор. Другие узлы - источник света, приемник излучения и регистрирующее устройство.

Для построения спектров поглощения необходима обработка результатов измерений спектров пропускания. Прежде всего, необходимо исключить спектры пропускания кювет, в которых происходят измерения в спектрофотометре, наполненных питательной средой. В таблице 2.1 представлены характеристики кювет, используемых при измерениях.

Таблица 2.1 – Характеристики кювет

Кювета №1				Кювета №2			
Параметр	Показатель	λ , нм	T, %	Параметр	Показатель	λ , нм	T, %
Θ	5'	186	72	Θ	5'	186	72
//	0,01	190	73	//	0,01	190	73
$\perp$	0,02	240	80	$\perp$	0,02	240	80
P	IV	280	85	P	IV	280	85
N	5	320	86	N	5	320	86
ΔN	1	340	87	ΔN	1	340	87
B	10,01	360	88	B	10,01	360	88
		400	88			400	88
Кювета №3				Кювета №4			
Параметр	Показатель	λ , нм	T, %	Параметр	Показатель	λ , нм	T, %
Θ	5'	186	72	Θ	5'	186	72
//	0,01	190	73	//	0,01	190	73
$\perp$	0,02	240	80	$\perp$	0,02	240	80
P	IV	280	85	P	IV	280	85
N	5	320	86	N	5	320	86

ΔN	1	340	87	ΔN	1	340	87
В	10,01	360	88	В	10,01	360	88
		400	88			400	88

Для учета этих характеристик регистрируются спектры пропускания кювет с 50% раствором питательной среды Таммия, после чего необходимо провести корректировку спектров в программном обеспечении, которое управляет работой прибора. Наполнение питательной средой необходимо для исключения спектра поглощения средой и вычленения спектра поглощения хлореллы.

Следующий этап заключается в исправлении спектров пропускания. Для измерений в спектрофотометре используется два источника: дейтериевая лампа для УФ-области спектра и вольфрам-галогенная для видимой области. При измерениях в районе 400 нм происходит замена источника излучения. По этой причине, нередко, на этой границе наблюдается скачок графика, являющейся приборной ошибкой, которую необходимо учитывать. Для этого данные графиков переносят в Microsoft Excel, где проводят все необходимые для этого математические операции.

После исключения приборной ошибки данные коэффициентов пропускания используют для расчетов показателей поглощения по формуле:

$$a = \ln \frac{1}{\alpha/100}, \quad (4)$$

где a – показатель поглощения;

α – коэффициент пропускания.

После расчетов показателей поглощения, данные используются для построения спектров.

2.4 Экспериментальный метод подбора спектра облучения

Цель экспериментальных исследований – выявить влияние фотометрических характеристик источника излучения на эффективность

выращивания. Облучение производилось разными типами источников света: лампой накаливания (ЛН), светодиодной (СД) и люминесцентной (КЛЛ) лампами, светодиодными модулями с настраиваемыми спектрами. Все используемые источники сравнивались по фотосинтетическому фотонному потоку (PPFD).

Методика оценки плотности фотосинтетического потока фотонов светодиодных модулей основана на сравнении спектров излучения исследуемых ИИ со спектрами излучения образцового ИИ с известным распределением спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ).

Эффективность выращивания оценивалась двумя рассмотренными выше методами: 1. Определением динамики оптической плотности; 2. Подсчетом концентрации клеток хлореллы на миллилитр суспензии в процессе роста. Измерения проводились каждый час. Период одного эксперимента составлял от 8 до 16 часов, в зависимости от целей его проведения. Полученные данные заносились в протокол измерений (Приложение Б).

Спектры облучателей, используемых в наиболее важных для результатов исследования экспериментах, представлены на рисунках 2.5 – 2.7.

Культивирование осуществлялось в установках, описанных в разделе 2.1. Все условия окружающей среды, за исключением световых, поддерживались на равном уровне.

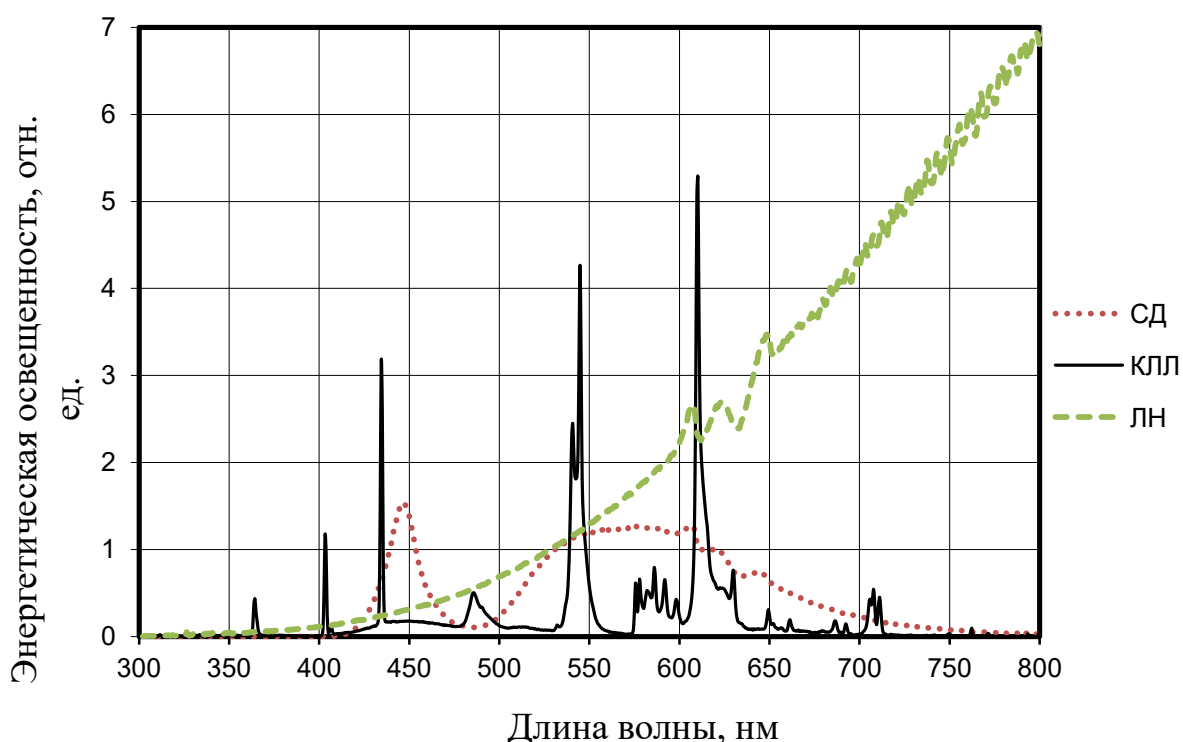


Рисунок 2.5 – Сравнение влияния светодиодного источника с традиционными лампами

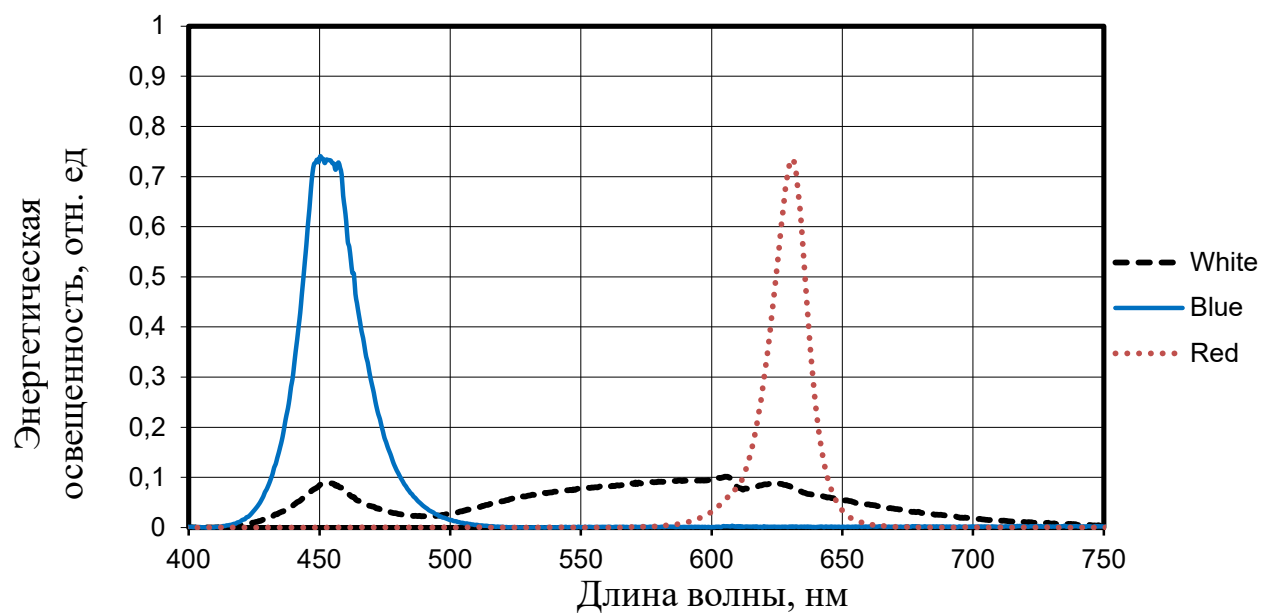


Рисунок 2.6 – Сравнение белого, синего и красного спектров

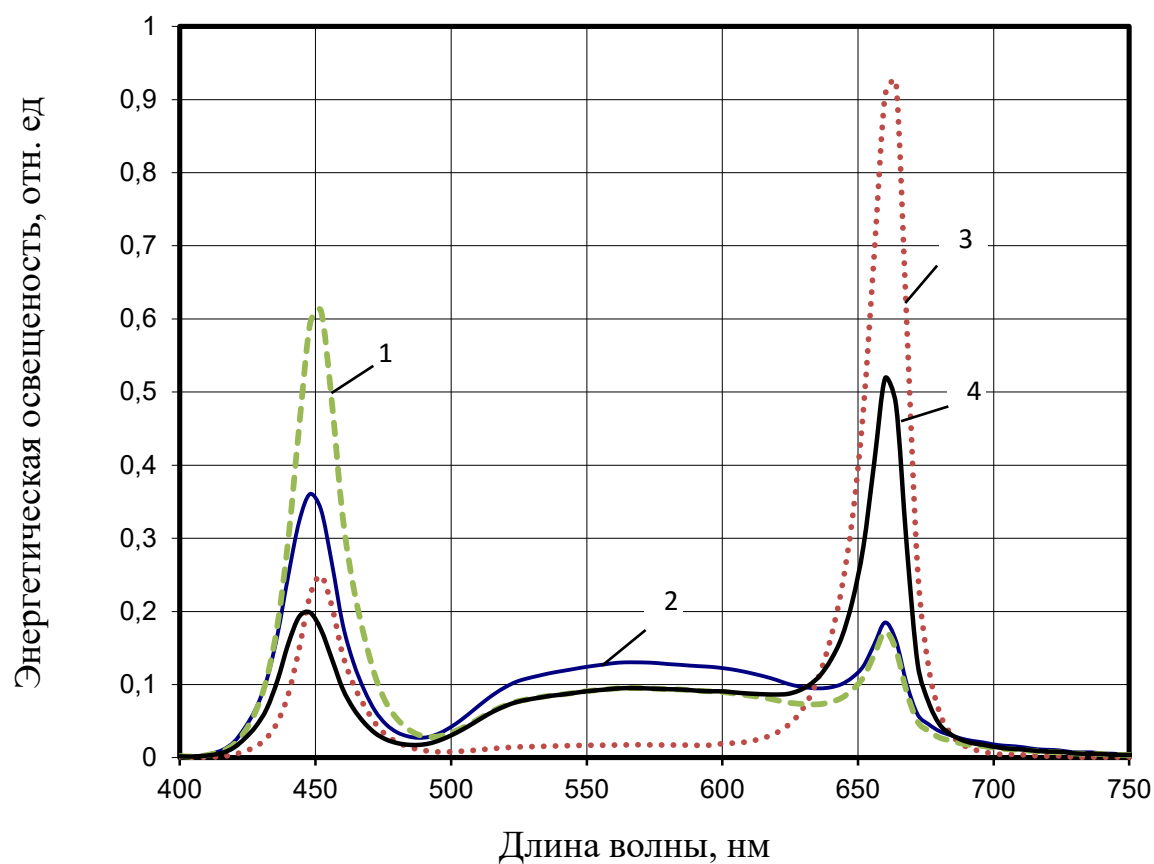


Рисунок 2.7 – Изменение соотношений длинноволновой и коротковолновой компоненты в общем спектре облучения

3. Расчеты и аналитика

Полученные в ходе экспериментов данные позволили рассчитать спектр поглощения используемого штамма микроводоросли *Chlorella vulgaris* (Рисунок 3.1). Методика расчета описана в разделе 2.3.

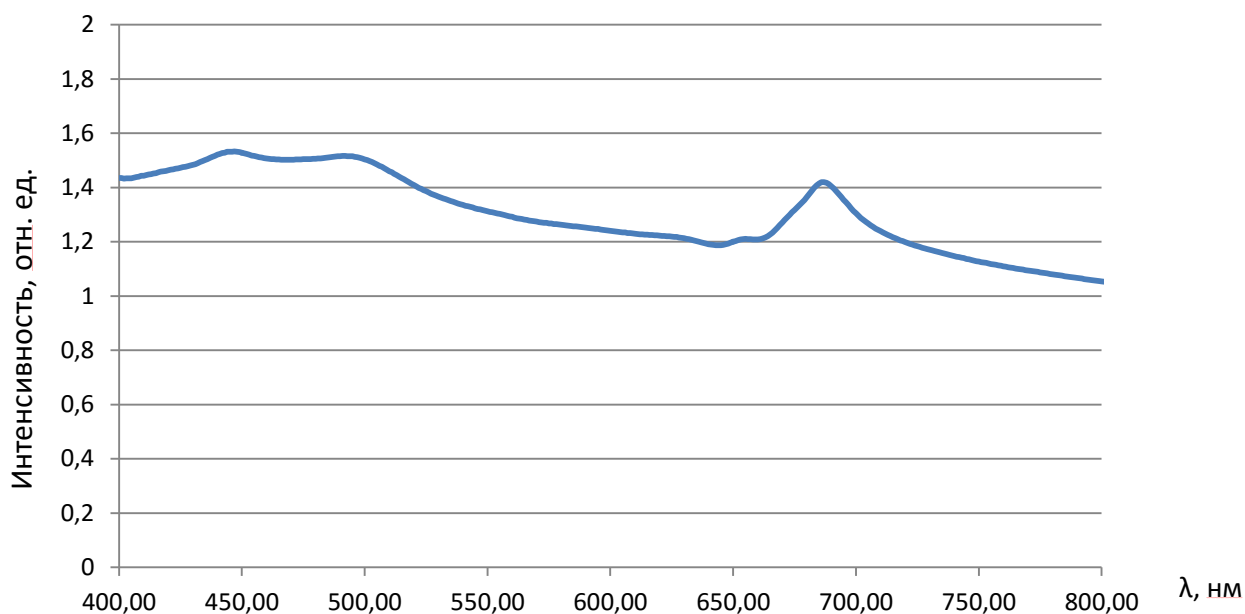


Рисунок 3.1 – Спектр поглощения *Chlorella vulgaris*

Далее представлены результаты полученные экспериментальным методом подбора спектра облучения (см. раздел 2.4).

Динамика оптической плотности, рассчитанная по данным эксперимента с использованием источников, спектры которых указаны на рисунке 2.5, представлена на рисунке 3.2.

Сравнение эффективности коротковолновой и длинноволновой компонент излучения в области ФАР с облучателем белого спектра (рисунок 2.6), можно произвести по рисунку 3.3. Эксперимент проводился трижды, для набора статистики данных.

Рисунки 3.4, 3.5 иллюстрируют результаты расчета эффективности прироста хлореллы при использовании для облучателей спектральных режимов представленных на рисунке 2.7.

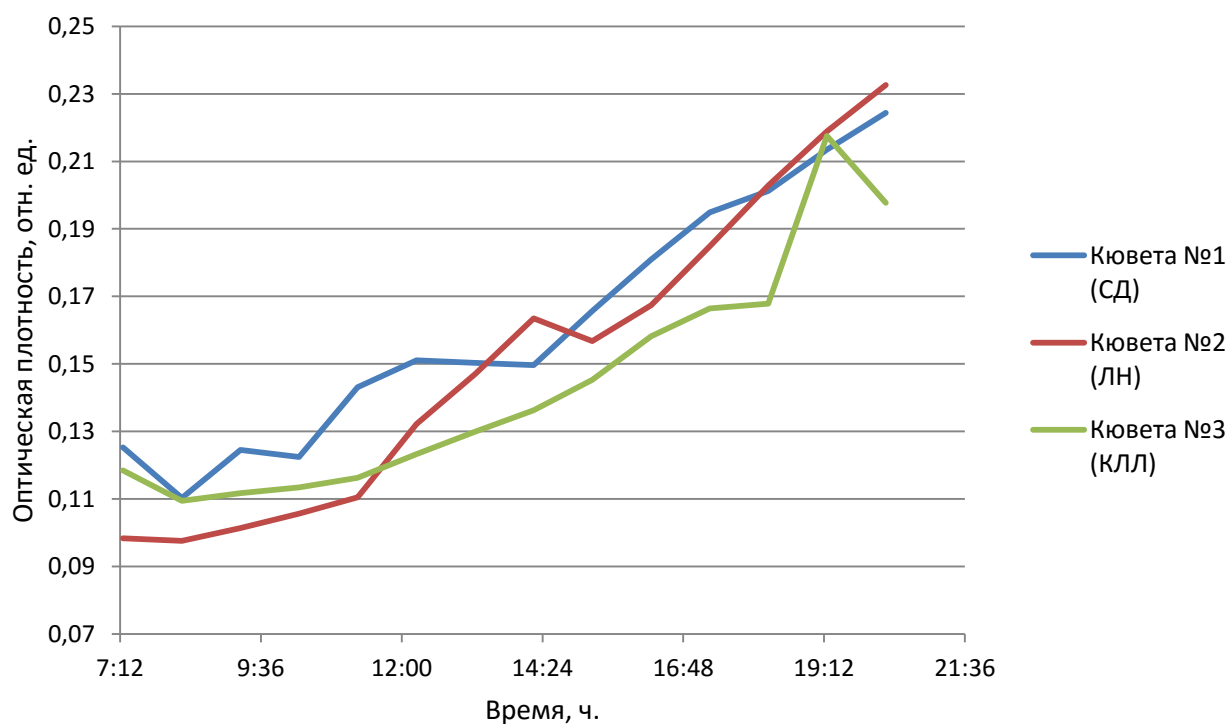


Рисунок 3.2 – Изменение оптической плотности - первый эксперимент

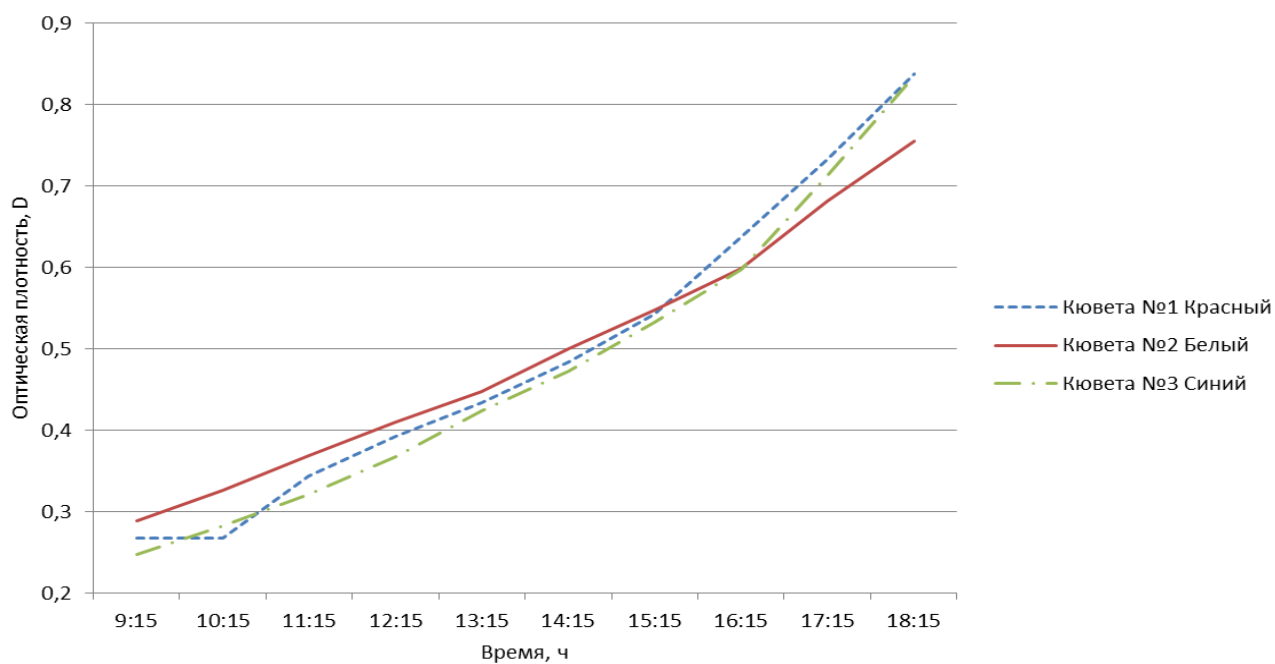


Рисунок 3.3 – Изменение оптической плотности - второй эксперимент

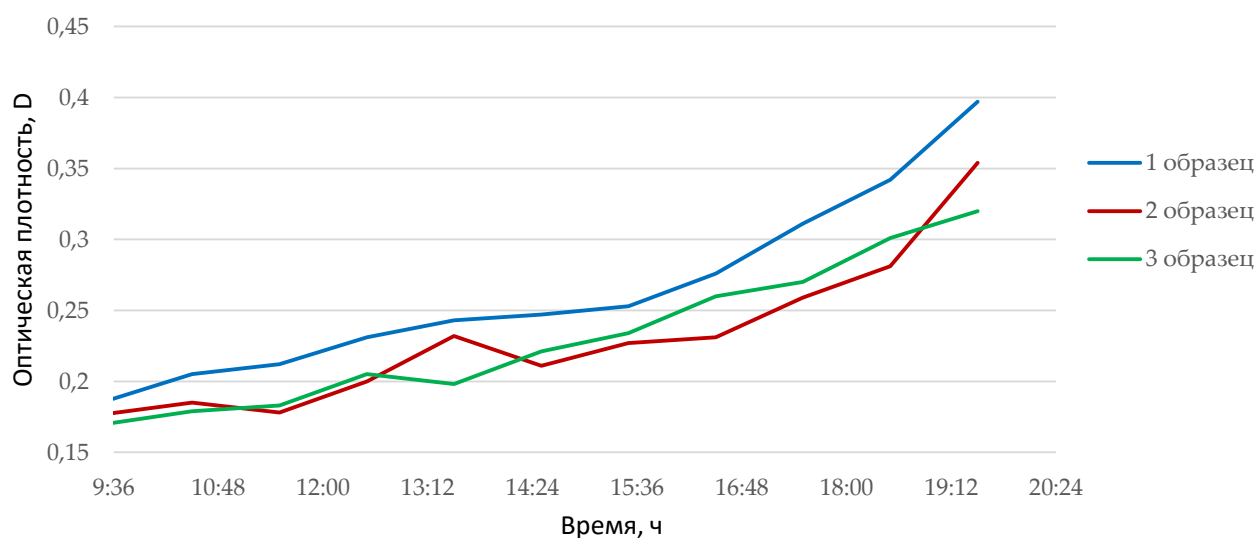


Рисунок 3.4 – Изменение оптической плотности - третий эксперимент

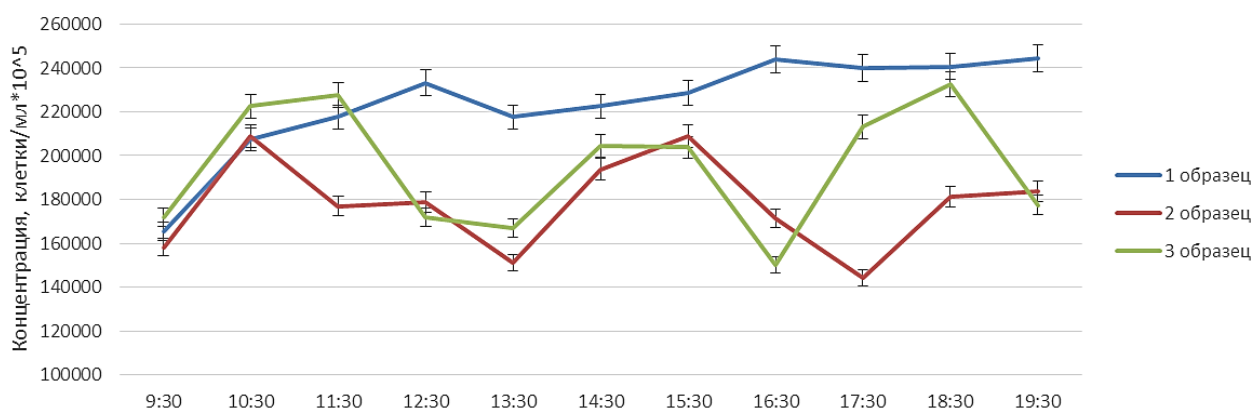


Рисунок 3.5 – Изменение концентрации клеток в суспензии - третий эксперимент

Для первого образца (рис. 3.4, 3.5) на протяжении всего эксперимента использовался спектральный режим под номером (2) (рис. 2.7). Для второго образца – режим (3), также на протяжении всей световой фазы роста хлореллы. Третий образец облучался динамическим спектром, т.е. изменяющимся во времени. Порядок спектральных режимов был следующий:

1. с 9:30 до 11:30 – (1) режим;
2. с 11:30 до 17:30 – (2) режим;
3. с 17:30 до 19:30 – (4) режим.

Перед началом экспериментов были измерены оптические плотность каждой кюветы с суспензией – начальная оптическая плотность(D_0). Конечные же результаты оптической плотности (D) и разница между начальными показателями показана в таблицах 3.1 – 3.3.

Таблица 3.1 – Результаты сравнения СД облучателей с традиционными ИИ

Тип ИИ	D_0	D	$D-D_0$
ЛН	0,098	0,233	0,135
КЛЛ	0,118	0,198	0,080
СД	0,125	0,224	0,099

Таблица 3.2 – Исследование влияния различных областей спектра

Тип ИИ	D_0	D	$D-D_0$
Синий	0,549	0,726	0,177
Белый	0,544	0,707	0,163
Красный	0,480	0,645	0,165

Таблица 3.3 – Исследование влияния комбинированных спектров и сравнение статических режимов работы облучателей с динамическими

Тип ИИ	D_0	D	$D-D_0$
Образец 1	0,215	0,441	0,226
Образец 2	0,186	0,397	0,211
Образец 3	0,182	0,395	0,213

4. Результаты проведенного исследования

По результатам первого эксперимента можно сделать вывод о том, что рост оптической плотности наиболее эффективен при использовании ЛН, наименее эффективный рост наблюдался у образца облучаемом КЛЛ. Данная закономерность объясняется тем, что спектр излучения ЛН наиболее полно охватывает спектр поглощения хлореллы на всех этапах ее роста, а также имеет в своем составе тепловое излучение, которое благоприятно воздействует на эффективность роста термофильного штамма хлореллы.

Спектр КЛЛ, как видно на рис. 2.5, является линейчатым, что негативно сказывается на эффективности роста хлореллы. Спектр излучения данного источника минимально соответствует диапазону длин волн спектра поглощения суспензии.

В задачи эксперимента также входило доказать, что применение светодиодной лампы как источника излучения в облучателях, может быть эффективным. Для эксперимента была использована СД белого света, которая показала средний результат (рис. 3.2). Применение СД имеет большие перспективы в данной области, если при их использовании обеспечить необходимый тепловой режим, и подобрать спектральный состав, который будет соответствовать спектру поглощения суспензии хлореллы. Для решения этой проблемы был проведен ряд экспериментов по исследованию различных областей спектра – белой, синей и красной. Все эксперименты показали, что наибольший прирост биомассы наблюдается при использовании коротковолновой компоненты (430-470 нм) излучения в области ФАР. Прирост, при использовании красной (610-640 нм) и белой областей, заметно отстает от прироста в синем спектре и является менее равномерным.

Полученный результат можно объяснить устройством светопоглощающих комплексов клеток хлореллы и их пигментным составом (см. раздел 1.1). Не смотря на то, что за фотосинтез отвечают реакционные центры, имеющие максимум поглощения в красной области спектра (Р680,

P700), к коротковолновому излучению восприимчиво большее количество светопоглощающих механизмов в хлорелле, чем к длинноволновому. Тот факт, что пигменты имеют свойство направленно передавать поглощенную энергию между собой (Рисунок 1.2) объясняет наиболее активный рост и размножение культуры, даже при полном отсутствии длинноволнового излучения.

Если придерживаться описанной теории, комбинированный спектр, из красной и синей компоненты излучения, должен вызвать наиболее эффективный прирост биомассы. Также, в ходе исследования зависимости прироста средней оптической плотности микроводоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris*) от времени, в нескольких экспериментах удалось выявить характерные участки прироста средней оптической плотности хлореллы, которые могут сигнализировать о необходимости облучения определенным спектром излучения в определенный временной промежуток. Чередование спектров во времени частично схоже со спектром излучения солнца в течение дня: с утра – это синий восход, в полдень - это преимущественно белый спектр, а на заходе этом – это красный закат.

Дальнейшие исследования были направлены на подтверждение выдвинутых теорий. В третьем эксперименте исследовалось влияние динамики спектра облучателя, схожего с динамикой солнечного спектра в течение светового дня и различные спектры сочетающие в себе как коротковолновое, так и длинноволновое излучение (Рисунок 2.7).

По результатам дальнейших экспериментов, можно с достоверностью утверждать, что теория о привязке к строению клеток и их пигментному составу доказана. Однако вторая выявленная закономерность не нашла своего подтверждения. Резкое изменение спектра облучения негативно сказывается на концентрации клеток и оптической плотности суспензии. Возможное объяснение этому заключается в том, что приемник излучения имеет возможность подстраиваться под световые условия, т.к. является биологически активным организмом.

5. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

5.1 Введение

Хлорелла — род одноклеточных зелёных водорослей. Имеет сферическую форму, от 2 до 10 мкм. Для процесса фотосинтеза хлорелле требуются только вода, диоксид углерода, свет, а также небольшое количество минералов для размножения.

Хлорелла является активным продуцентом биомассы с большим процентным содержанием полноценного белка, жиров, углеводов, витаминов, всего более 650-ти веществ в концентрациях, намного превосходящих их содержание в традиционных продуктах питания: мясе, молоке, овощах и фруктах.

Для производства хлореллы в промышленных масштабах используют специальные системы — фотобиореакторы. Конструкции современных фотобиореакторов предусматривают различные системы облучения, используются как естественные источники световой энергии, так и искусственные [1]. Искусственные источники излучения (ИИ), по сравнению с естественными, обладают рядом преимуществ, важнейшим из которых является возможность управления, позволяющая подбирать наиболее эффективные световые условия при культивировании. Однако все технологии, использующие искусственные ИИ, достаточно энергоёмки, что в значительной мере повышает себестоимость конечного продукта.

5.2 Методика проведения сравнительного анализа

На данный момент в большинстве установок используются люминесцентные лампы. Замена этих источников на светодиодные облучатели позволит снизить уровень расходов на электроэнергию. Рассмотрим это утверждение на конкретном примере — установке серии ФБР -150 (Рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Фотобиореактор ФБР – 150

Установка ФБР – 150 состоит из резервуара, выполненного из светопрозрачного материала, к стенкам которого крепятся шесть облучательных приборов (ОблП). В качестве источников излучения используются люминесцентные лампы линейного типа, их потребляемая мощность составляет 20 Вт. В каждом ОблП установлено четыре источника излучения.

Для того, чтобы провести сравнительный анализ источников излучения по экономическим показателям необходимо рассчитать эксплуатационные и капитальные затраты в случае использования альтернативных источников излучения с затратами при использовании установленных на данный момент ламп.

В соответствии с изложенным, примем за критерий экономичности сравниваемых вариантов минимум приведённых (расчётных) затрат Q_{Π} [28]. В общем случае приведённые затраты Q_{Π} определяются выражением:

$$Q_{\Pi} = C + K, \quad (1)$$

где C – годовые эксплуатационные затраты, руб.;

K – начальные вложения (капитальные затраты), руб.

Следует ещё раз отметить, что изложенный метод сравнения вариантов замены облучателей применим только в тех случаях, когда источники имеют схожие фотосинтетические фотонные потоки. Годовые расходы на

эксплуатацию различных вариантов источников света складываются из следующих основных элементов [29]:

$$C = C_{\text{э}} + C_{\text{л}} + C_{\text{а}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость электроэнергии, израсходованной за год, руб.;

$C_{\text{л}}$ – стоимость ламп, сменяемых за год, руб.;

$C_{\text{а}}$ – стоимость амортизации облучательной установки в год, руб.

Стоимость электроэнергии, израсходованной за год, может быть определена как

$$C_{\text{э}} = \alpha \cdot \sum W_{\text{и}} \cdot T \cdot q, \quad (3)$$

где $\sum W_{\text{и}}$ – суммарная установленная мощность источников света, кВт;

T – количество часов работы установки в год, ч/год;

q – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, в расчетах выбрана равной 2,3 руб.;

α – коэффициент, потерь в ПРА (табл. 5.1).

Таблица 5.1 - Потери электроэнергии в ПРА источников света

Тип источника излучения	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы	Светодиодные лампы
Коэффициент α	1,0	1,09	1,06

Стоимость ламп, сменяемых за год:

$$C_{\text{л}} = N \cdot n \cdot \frac{T}{t} \cdot A, \quad (4)$$

где N – количество светильников в данной комнате, шт.;

n – количество ламп в светильнике, шт.;

t – номинальный срок службы лампы, ч;

A – цена одной лампы, руб.

В общем случае, если используется несколько различных типов облучателей, то произведение $N \cdot n$ должно показывать общее количество источников излучения, используемых в системе.

Стоимость амортизации осветительной установки (амортизационные отчисления) определяется как часть первоначальных затрат. Сроки службы отдельных элементов облучателей различны. Однако, учитывая, что сравнению подлежат варианты, различающиеся только источниками света, стоимость элементов осветительной установки (электропроводка, щитки, автоматические выключатели и т. д.) принимаем равной и исключаем из сравнения.

Средний срок службы светильника в быту с некоторым приближением может быть принят независимым от конструкции самого светильника и равным 10 годам. Амортизационные отчисления на осветительную установку в год можно выразить формулой:

$$C_a = 0,1 \cdot N \cdot (B + M), \quad (5)$$

где B – стоимость облучательного прибора, руб;

M – стоимость монтажа, руб.

В нашем примере не производятся замена облучателей и их монтаж, а только замена источников излучения. Следовательно, в выражении (5) значения слагаемых B и M равны нулю. Поэтому выражение для годовых эксплуатационных расходов упрощается и принимает вид

$$C = C_{\text{э}} + C_{\text{л}} = \alpha \cdot \sum W_{\text{и}} \cdot T \cdot q + N \cdot n \cdot \frac{T}{t} \cdot A. \quad (6)$$

Как отмечалось, $W_{\text{и}}$ – суммарная установленная мощность всех источников излучения. Исходя из допущения равенства установленной мощности однотипных источников можно записать, что

$$\sum W_{\text{и}} = N \cdot n \cdot W_{\text{и}}, \quad (7)$$

где $W_{\text{и}}$ – мощность одного источника излучения, Вт.

Тогда выражение (6) перепишем в виде

$$C = N \cdot n \cdot T \cdot \left(\alpha \cdot W_{\text{и}} \cdot q + \frac{A}{t} \right). \quad (8)$$

Полученное соотношение (8) является основным для расчёта годовых эксплуатационных расходов для любых типов ИИ. Для чистоты рассуждений примем, что исходное состояние системы облучения соответствует наличию в приборах новых люминесцентных ламп по цене 60 руб., имеющих средний срок службы 20 000 ч.

Капитальные затраты на замену источников излучения определяются по формуле:

$$K = 1,1 \cdot n \cdot N \cdot A, \quad (9)$$

где коэффициент 1,1 учитывает расходы на доставку.

5.3 Используемые источники излучения

Для сравнительного анализа выбраны следующие типовые источники излучения: 1. люминесцентная лампа (ЛЛ); 2. компактная люминесцентная лампа (КЛЛ); 3. лампа накаливания (ЛН); 4. светодиодная лампа с цоколем G13 в прозрачной колбе (LED-T8R-eco); 5. Светодиодные панели (LP-eco). В задачи исследовательской работы входит определить оптимальный спектр облучения хлореллы. Для его оценки по экономическим показателям, используемые в экспериментах ИИ с заданным спектром также участвуют в сравнительном анализе:

1. Коротковолновый светодиодный облучатель - LED (синий);
2. Светодиодный облучатель смешанного спектра - LED (белый);
3. Длинноволновый светодиодный облучатель - LED (красный);
4. Облучатель, спектор которого подобран для хлореллы - LED (комбинированный).

Для расчёта приведённых затрат по каждому типу источника света необходимо определить величину T , то есть время работы источника в год. Период облучения хлореллы составляет 18 часов в сутки. Рассматриваемая, в качестве примера, установка фотобиореактора является промышленной и работает все рабочие дни в году, примем их количество за 250. Учитывая эти факты, вычислить время работы источника излучения в год не составит труда:

$$18 \cdot 250 = 4500 \text{ ч/год}$$

Другие, необходимые для расчета, характеристики рассматриваемых ИИ указаны в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Характеристики альтернативных источников излучения

Тип ИИ	N, шт	n, шт	$W_{и}$, Вт	t, ч	A, руб
ЛЛ	6	4	20	20000	60
КЛЛ	6	4	20	10000	150
ЛН	6	4	100	1000	32
LED-T8R-eco	6	4	10	50000	193
LP-eco	6	1	42	80000	650
LED (синий)	6	1	28	80000	700
LED (белый)	6	1	40	80000	700
LED (красный)	6	1	21	80000	700
LED (комбинированный)	6	1	36	80000	700

5.4 Расчеты и аналитика

Предположим, что первоначально все люминесцентные лампы закуплены и установлены в светильники одновременно. Найдем капитальные затраты на их приобретение исходя из соотношения (9):

$$K_{лл} = 1,1 \cdot n \cdot N \cdot A = 1,1 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 60 = 1584 \text{ руб.}$$

Из соотношения (8) найдем эксплуатационные затраты при использовании люминесцентных ламп:

$$C_{\text{ЛЛ}} = N \cdot n \cdot T \cdot \left(\alpha \cdot W_{\text{и}} \cdot q + \frac{A}{t} \right) = 6 \cdot 4 \cdot 4500 \cdot \left(1,09 \cdot 20 \cdot 2,3 + \frac{60}{20000} \right) = 5415444 \text{ руб.}$$

Далее находим приведённые затраты $Q_{\text{ЛЛ}}$:

$$Q_{\text{ЛЛ}} = K_{\text{ЛЛ}} + C_{\text{ЛЛ}} = 1584 + 5415444 = 5417028 \text{ руб.}$$

Аналогично находим приведённые годовые затраты при использовании других источников излучения. Расчётные данные сведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Расчетные данные

Тип ИИ	Количество, шт	С, руб	К, руб	Q _п , руб
ЛЛ	24	5415444	1584	5417028
КЛЛ	24	5416740	3960	5420700
ЛН	24	24843456	844,8	24844301
LED-T8R-eco	24	2608617	5095,2	2613712
LP-eco	6	2738829	4290	2743119
LED (синий)	6	1825976	4620	1830596
LED (белый)	6	2608436	4620	2613056
LED (красный)	6	1369541	4620	1374161
LED (комбинированный)	6	2347616	4620	2352236

Из таблицы видно, что наименьшие затраты будут при замене ЛЛ на длинноволновый светодиодный облучатель - LED (красный) (1374161 руб.). Данный тип облучателя имеет низкие эксплуатационные затраты, за счет низкого показателя суммарной установленной мощности ИИ. Значительные капитальные затраты на приобретение светодиодов не мешают рекомендовать их для использования в качестве облучателей хлореллы как энергоэффективные

источники излучения. Результаты расчета показали, что все светодиодные облучатели в той или иной мере являются более экономичными источниками в сравнении с люминесцентными лампами.

Годовые затраты при использовании ламп накаливания на порядок выше всех рассматриваемых источников. Этот факт позволяет утверждать, что использования ЛН в облучательных приборах следует избегать.

Как правило, при сравнении того или иного источника излучения как претендента на использование в осветительной, либо облучательной, установке возникает вопрос о сроках окупаемости предлагаемого решения.

Для оценки срока окупаемости того или иного источника излучения (обозначим эту величину T_0) необходимо учитывать следующее:

1. Срок окупаемости принятого решения определяется моментом, при котором приведённые затраты при использовании старых и новых источников света совпадают.

2. Приведённые затраты являются линейной функцией времени использования осветительной установки. При этом предполагается, что стоимость 1 кВт·ч предоставляемой электроэнергии неизменна в течение всего T_0 . Если это условие не выполняется, то приведённые затраты приобретают нелинейный характер зависимости от времени, что не влияет на выводы, но усложняет анализ.

При сравнении всех рассматриваемых источников может быть установлена графическая зависимость величины приведённых затрат от календарного времени (Рисунок 5.2).

В момент достижения срока окупаемости T_0 в случае замены ЛЛ на LED выполняется равенство:

$$Q_{\text{ЛЛ}} = Q_{\text{LED}}. \quad (10)$$

Раскрывая величины, входящие в (10), получим:

$$K_{\text{ЛЛ}} + C_{\text{ЛЛ}} \cdot T_0 = K_{\text{LED}} + C_{\text{LED}} \cdot T_0 \quad (11)$$

Отсюда

$$T_0 = \frac{K_{LED} - K_{ЛЛ}}{C_{ЛЛ} - C_{LED}} = \frac{4620 - 1584}{5415444 - 1825976} = 0,0008 \text{ года} \approx 7 \text{ часов} \quad (12)$$

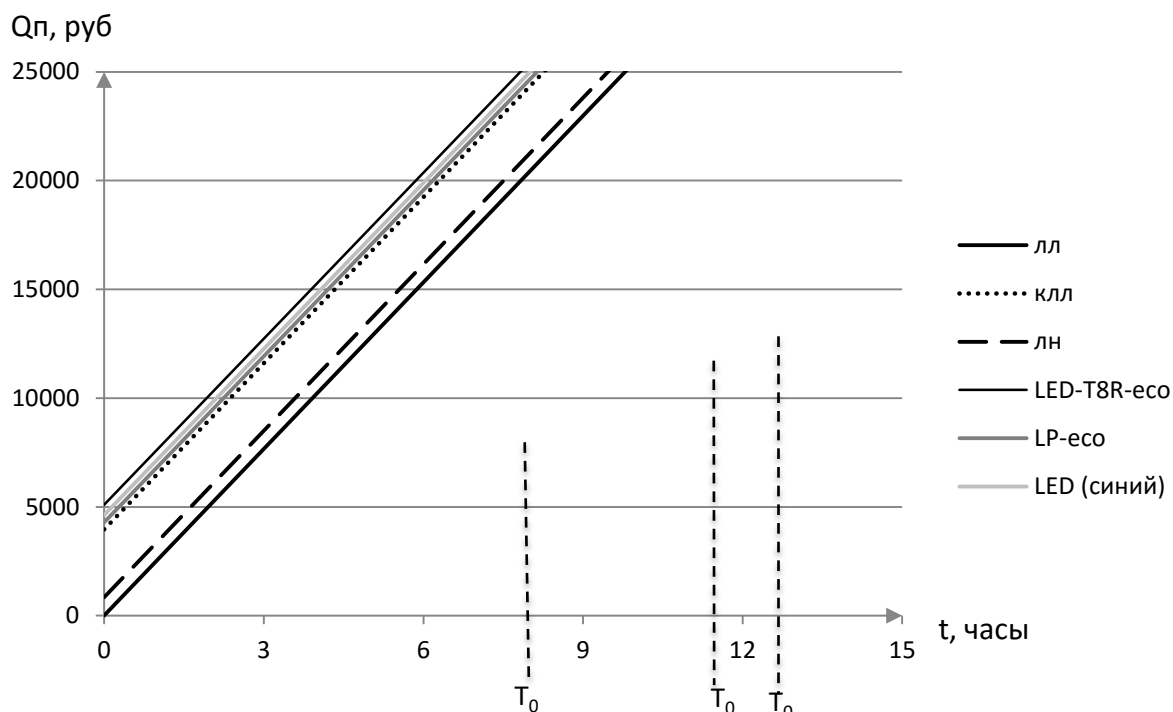


Рисунок 5.2 – График изменения приведённых затрат

Аналогично (12) рассчитаем срок окупаемости для других источников. Данные расчета представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Сроки окупаемости источников излучения

LED-T8R-eco	LP-eco	LED (синий)
13 часов	11,5 часов	7 часов

Из рисунка 5.2 видно, что замена люминесцентных ламп на лампы накаливания, либо компактные люминесцентные лампы экономически не выгодна и не имеет срока окупаемости, т. к. графики изменения приведенных затрат для этих источников не имеют точек пересечения с графиком люминесцентных ламп.

5.5 Выводы

Сравнительный анализ эффективности источников света с такими критериями эффективности, как показатель годовых приведённых затрат и срок окупаемости при замене люминесцентных ламп на альтернативные источники излучения, показывает, что первоначальные капитальные затраты при замене ЛЛ на светодиодные облучатели значительны. Однако они окупаются в короткий промежуток времени (7-13 часов). При замене ЛЛ на компактные люминесцентные лампы или лампы накаливания очевидна экономическая нецелесообразность, т.к. несмотря на низкие капитальные затраты, годовые эксплуатационные расходы превышают расходы используемых источников излучения.

6. Раздел «Социальная ответственность»

6.1 Введение

Объектом исследования является процесс культивирования микроводорослей. Понятие культивирование включает в себя управляемое разведение, выращивание растений, злаков, растительных клеток, микроводорослей, тканей, микроорганизмов, а также животных, подразумевающее использование не свойственных, для естественной среды, условий, обеспечиваемых различными технологическими решениями [30].

В работе исследуется реакция биологического приемника, а именно *Chlorella vulgaris*, на различные оптические характеристики источников излучения.

Одной из основных задач является изучение вопроса о возможности оснащения культиваторов для микроводорослей светодиодами в качестве источников излучения. У светодиодов есть ряд преимуществ по сравнению с традиционными источниками освещения [31], в том числе малый размер светодиодного кристалла даёт возможность, используя RGB-технология, создавать из набора светодиодов источник освещения с любым спектральным составом светового потока. Важной особенностью светодиодов является то, что из всех современных искусственных источников света они обладают самым высоким энергетическим КПД [32]. Поэтому использование светодиодов особенно актуально в промышленных культиваторах при выращивании микроводорослей в условиях искусственного освещения.

По характеру физической нагрузки согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа инженера-исследователя относится к разряду легких (категория I) с энергозатратами до 174 Вт, но она сопряжена с большой умственной и нервно-психологической нагрузкой [33]. Длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха, плохом освещении неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

Рабочей зоной являлось помещение лаборатории площадью 28 м², включающее 8 персональных компьютеров. Так как работа осуществлялась в различных пунктах рабочей зоны, то постоянным рабочим местом является вся рабочая зона [33], а также рабочее место оператора ПК.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

6.2 Техногенная безопасность

6.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды

На производительность труда инженера-исследователя, находящегося на рабочем месте, влияют следующие вредные производственные факторы [34]:

1. Отклонение температуры и влажности воздуха от нормы.
2. Недостаточная освещенность рабочего места.
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений.

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура, подвижность и влажность воздуха.

Отклонение данных параметров от нормы приводит к ухудшению самочувствия работника, снижению производительности труда и к возникновению различных заболеваний.

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего [35].

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении [35]. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88 (Таблица 13).

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

Среди технических требований к рабочему месту инженера особенно важным является требование к освещенности, которое значительно влияет на эффективность трудового процесса. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения.

Естественное освещение должно удовлетворять [36]. Нормы естественного освещения установлены с учетом обязательной регулярной очистки стекол световых проемов не реже двух раз в год (для помещений с незначительным выделением пыли, дыма и копоти). Учитывая, что солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека, необходимо максимально продолжительно использовать естественное освещение.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места по [36] должна быть 200 Лк – общая освещенность и 300 лк — комбинированное освещение.

Таблица 13 –Комплекс требований для нормального протекания трудового процесса

Характеристика помещения и категория работ	Период года	Оптимальные		Допустимые	
		$T_{\text{воздуха}}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, %	$T_{\text{воздуха}}, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, %
Помещения, характеризующиеся незначительными избытками явной теплоты	Холодный период года (температура наружного воздуха меньше 10°C)	20-22	60-30	17-22	не более 75
Категория работ - легкая	Теплый период года (температура наружного воздуха выше 10°C)	22-25	60-30	Не более, чем на 3°C выше средней температуры наружного воздуха в 13 часов самого жаркого месяца, но не более 25°C	При 28°C - не более 55; при 27°C - не более 60; при 24°C - не более 75.

Выпускная классификационная работа выполнялась с применением персональных компьютеров (ПЭВМ) типа IBM PC. Основным вредным фактором, воздействию которого подвергается инженер-исследователь при работе за компьютером, является электромагнитное излучение. Оно пагубно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также способствует ослаблению памяти и возникновению онкологических заболеваний.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03[37] и представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

С целью снижения вредного влияния электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования [30]:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10÷20 мин, в зависимости от возраста. В процессе работы желательно менять тип и содержание деятельности, например, чередовать редактирование и ввод данных и их считывание. Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в работе на ПК, во время которых рекомендуется делать простейшие упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.
2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева. При наличии нескольких компьютеров расстояние между экраном одного

монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 60÷70 см, но не ближе 50 см

3. Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные фильтры (экраны).

6.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 [34] инженер-исследователь при работе в лаборатории может быть подвергнут действию следующих опасных факторов:

1. опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием, питающимся от сети ~220 В 50 Гц
2. возникновение пожаров в результате короткого замыкания.

Основными причинами воздействия тока на человека являются [30]:

1. Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
2. Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
3. Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;
4. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
5. Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;
6. Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 [38] предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1 мА

соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Настоящая инструкция распространяется на всех лиц, выполняющих работы с установками и приборами:

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группы допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.

4. Перекоммутацию кабелей, соединяющих периферийные устройства с ЭВМ, а также установку плат дополнительных устройств (модемов, портов ввода-вывода и т.д.) в слоты шины расширения компьютера необходимо осуществлять только при отключенном питании.

5. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к заземленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

6. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от электрического тока.

С точки зрения электробезопасности, оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено или занулено. Зануление – более эффективная мера, чем защитное заземление, поскольку в критическом случае ток короткого замыкания при занулении больше, чем при заземлении,

следствием чего является более быстрое срабатывание предохранительных устройств. Во многих случаях это позволяет сберечь дорогостоящее оборудование от повреждений. Соединяющие проводники электрооборудования изготавливают из медного провода сечением 1,5 мм², покрытым изоляционным слоем лака для защиты от окисления. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита.

Меры профилактики и средства защиты от пожаров рассмотрены в подразделе чрезвычайные ситуации.

6.3 Региональная безопасность

Предлагаемые в ВКР конструкторские и технологические инновации направлены на устранение в имеющихся решениях источников загрязнения окружающей среды. Объект исследования – микроводоросль хлорелла также не имеет негативного воздействия на окружающую среду, напротив, она имеет свойство потреблять большое количество углекислого газа и перерабатывать его в кислород, что благотворно влияет на атмосферу. Хлорелла используется в качестве экологически чистой добавки при кормлении животных и является заменой химических удобрений, что также положительно влияет на окружающую среду.

6.4 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места.

Рабочее место – это часть помещения предприятия (организации), имеющая площадь и объем, достаточный для размещения инженера и необходимого оборудования (рабочего стола, стула, контрольно-измерительных приборов, станков, а также справочных и рабочих материалов, инструментов, вычислительной техники и т.д.).

Рабочее место должно соответствовать следующим требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [39]:

а) рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество;

б) рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

в) рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СН-245-71 [40] в помещении должен быть организован воздухообмен. Это осуществляется с помощью вентиляции.

Для улучшения воздухообмена в помещении необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования:

1. Общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки;
2. Правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции,

Расчет необходимого воздухообмена ведется по следующим факторам: по количеству работающих, влаговыведению, теплоизбыткам, поступлению в воздух рабочей зоны вредных газов, паров и пыли.

Исходя из того, что три последних фактора не оказывают существенного влияния на микроклимат лаборатории, то расчет воздухообмена проводится исходя из количества работающих:

$$L = n \cdot L_0,$$

где n – число работников;

L_0 - расход воздуха на одного работающего, принимаемый в зависимости от объема помещения на одного работающего.

Согласно СН-245-71 [40] объем производственных помещений должен быть таким, чтобы на одного работающего приходилось не менее 15 м^3 свободного пространства и не менее 6 м^2 площади. Следовательно, согласно СП

2.2.1.1312–03 [11] при наличии естественной вентиляции следует проектировать подачу наружного воздуха в количестве не менее 30 м³/ч на каждого работающего.

6.5 Особенности законодательного регулирования

Исследования направлены на реализацию проекта по созданию установки фотобиореактора. Планируется установка конструкции на животноводческой ферме, т.к. данная установка разрабатывается на данный момент под нужды сельского хозяйства. Установка не требует оформления разрешений. Потребление электричества от сети составляет 220В. Конструкция установки дает возможность самостоятельного монтажа, демонтажа и настройки системы, а установленный дифференциальный автомат позволит мгновенно обесточить систему при перепадах напряжения, тем самым предупредив возгорание установки. В том числе, отсутствие в потребности горюче-смазочных материалов и простота в эксплуатации позволяет сделать вывод о том, что проектное решение не требует дополнительных законодательных разрешений.

6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В лаборатории НИ ТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ), отравляющими веществами (ОВ), биологически (бактериологически) опасными и радиоактивными веществами. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях (ТЭЦ, АЭС, ЛЭП и др.), авариями в коммунальном

жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т. д [32].

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения (пенсионеры, инвалиды, больные и т.д.) всеми видами имеющегося транспорта.

Рассредоточение и эвакуация населения комбинированным способом осуществляется по территориально-производственному принципу. Это значит, что вывод населения организуется через предприятия, учреждения, учебные заведения и домоуправление по месту жительства.

Ведение спасательных работ в районах производственных аварий существенно различаются в зависимости от размеров и опасности аварий и катастроф. Однако, ряд требований к организации спасательных работ является общим.

Работы надо начинать немедленно, чтобы не дать возможности аварии разрастись до катастрофических размеров. Очень важно обеспечить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований гражданской обороны (ГО) к месту аварий. Формирования охраны общественного порядка должны приступить к работе в первую очередь.

Очень важны действия аварийно технических формирований, которые

немедленно должны отключить еще не поврежденные энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

Спасательные формирования ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы.

При недостатке сил своего объекта для спасательных работ распоряжением старшего начальника могут привлекаться территориальные формирования ГО и другие силы. Чем организованней, быстрее сработают все подразделения различных служб, тем меньше материального ущерба и человеческих жизней унесет авария.

Неотъемлемой частью комплекса защитных мероприятий на рабочем месте является мероприятия, направленные на обеспечение противопожарной безопасности. Используемый технологический процесс в условиях лаборатории НИ ТПУ согласно СНиП 11-2-80 относится к категории Д, так как использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Существует 5 степеней огнестойкости зданий, сооружений. Помещение лаборатории можно отнести к первой степени огнестойкости.

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности 123-ФЗ): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

- составление планов эвакуации;
- назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;
- ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте.

Заключение

Целью работы являлось исследование и изучение оптических свойств микроводоросли *Chlorella vulgaris*, с целью формирования облучательных характеристик для обеспечения эффективного роста хлореллы в искусственных условиях. А также выбор источника излучения, наиболее оптимального не только с технической, но и с экономической точки зрения.

Работа содержит результаты исследований по всем необходимым пунктам. Предпочтительными источниками излучения являются светодиодные модули, которые имеют возможность подстройки спектра облучения, под различные требования. Выбор обоснован как с технической (Глава 4), так и с экономической точки зрения (Глава 5).

Расчеты показали, что переход на светодиодные облучатели имеет кратчайший срок окупаемости, который составил от 7 до 13 часов для рассматриваемого примера фотобиореактора. Если сравнивать между собой типовые светодиодные облучатели и облучатели с избирательным подходом к спектру излучения, можно сделать вывод, об экономической целесообразности использования установленных спектральных характеристик.

По результатам работы сделан вывод, о влиянии строения клеток микроводоросли *Chlorella Vulgaris* на оптимальные спектральные характеристики облучателя, определен наиболее эффективный, из рассмотренных, спектр облучения. Также выявлена закономерность зависимости эффективного спектра от фазы развития объекта, которая требует проведения большего количества экспериментальных исследований для своего подтверждения. Необходимо подробнее изучить вопрос возможности хлореллы подстраиваться под заданные световые условия. Работа над этой проблемой планируется в дальнейших исследованиях.

Список публикаций студента

1. Алексеев М. А. , Арьянова Э. Д. , Иванова С. С. , Карпова О. С. , Коршунов К. О. , Трофимчук О. А. , Шевченко И. Г. Исследование условий культивирования хлореллы с использованием светодиодных облучателей // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: материалы XII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Саранск, 28-29 Мая 2015. - Саранск: Афанасьев В.С., 2015 - С. 255-260;
2. Алексеев М. А. , Арьянова Э. Д. , Иванова С. С. , Карпова О. С. , Коршунов К. О. , Трофимчук О. А. , Шевченко И. Г. Установка для культивирования микроводоросли хлореллы [Электронный ресурс] // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, Томск, 22-24 Апреля 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 377-381 - <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C08/C08.pdf>;
3. Арьянова Э. Д. , Иванова С. С. , Карпова О. С. , Трофимчук О. А. , Шевченко И. Г. , Алексеев М. А. , Коршунов К. О. Культиватор для выращивания хлореллы в искусственных условиях // Архитекторы будущего: сборник научных трудов Всероссийской научной школы по инженерному изобретательству, проектированию и разработке инноваций, Томск, 28-30 Ноября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 18-23;
4. Алексеев М. А. , Арьянова Э. Д. , Иванова С. С. , Карпова О. С. , Коршунов К. О. , Трофимчук О. А. , Шевченко И. Г. Фотобиореактор для культивирования хлореллы // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. - 2015 - №. 3. - С. 221-223

Список использованных источников

1. Аманов, Ч. А. Температурный и радиационный режимы промышленных фотореакторов по производству хлореллы / Ч. А. Аманов; Академия наук Туркменской ССР. — Ашхабад: Ылым, 1989. — 308 с.: ил. — Библиогр.: с. 289-302. — ISBN 5-8338-0215-6.
2. Шуберт Ф. Светодиоды/Пер.с англ.под ред. А.Э. Юновича – 2-е изд. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 496с.
3. Геворгиз Р.Г., Щепачёв С.Г. Предельная оценка продуктивности микроводорослей в условиях естественного и искусственного освещения // Экология моря. – 2010. – Вып. 80. – С. 29-33.
4. Крысин, Леонид Петрович. Толковый словарь иноязычных слов : свыше 25 000 слов и словосочетаний / Л. П. Крысин; Российская академия наук (РАН), Институт русского языка им. В. В. Виноградова (ИРЯ). — Москва: Эксмо, 2010. — 944 с. — Библиотека словарей Эксмо. — ISBN 978-5-699-41919-7.
5. Тихомиров А.А., Лисовский Т.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука (Сибирское отд.), 1991, – 168 с.
6. Горбунова Н.П. Альгология: Учеб. пособие для вузов по спец. «Ботаника» - М.: Высш. шк., 1991. – 256 с.
7. Либерт Э. Физиология растений. Издательство «Мир»; Москва 1976, 560 с.
8. Физиология растений, Автор: Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др. / Под ред. И. П. Ермакова Издательство: Москва. "Academia" Год: 2005 Страниц: 640.
9. Сальникова, М.Я. Хлорелла – новый вид корма / М.Я. Сальникова – М.: «Колос», 1977. – 156 с.

10. Культивирование микроводорослей в биореакторе [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://biofuellab.ru/micro/fito.php> Дата обращения 04.03.15.
11. Методы массового культивирования микроскопических водорослей [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biology/1433/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B. Дата обращения: 18.09.2015.
12. Биомасса источник энергии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bio-x.ru/articles/biomassa-istochnik-energii-chast-1>. Дата обращения: 18.09.2015.
13. Мошков Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении. — Л.: «Колос», 1966, - 288 с
14. Ключкова МП., Судаков ВЛ. Зависимость собственной температуры растений от интенсивности лучистого потока газоразрядных ламп. // Сб. трудов по агрофизике. 1981. Л.: АФИ—С 130—136.
15. Тихомиров А.А., Шарупич В.П. Методы оценки фотобиологической эффективности источников облучения для интенсивной светокультуры. Красноярск, 1991. —110 с.
16. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // Современные технологии автоматизации. 2010. № 2., С.76–82.
17. Гужов С., Полищук А., Туркин А. Концепция применения светильников со светодиодами совместно с традиционными источниками света //Современные технологии автоматизации, 2008. № 1.
18. mattos_erico_r_201308_phd.pdf
19. <http://www.congresso2015.solabiaa.com.br/arquivo/downloadpublic?q=YToyOntzOjY6InBhcmFtcyI7czozNDoiYTToxOntzOjEwOiJJRF9BUlFVSzVZPIjtzOjM6IjU2OSI7fSI7czoxOiJoIjtzOjMyOiI5YjJmODIyMWRjMTVlMjA5YzYyMGY1ZGE1ZjEyMjdmNCI7fQ%3D%3D>

20. PRODUCTIVITY OF *Chlorella sorokiniana*
21. Сальникова, М.Я. Хлорелла – новый вид корма / М.Я. Сальникова – М.: «Колос», 1977. – с. 5.
22. Митишев, А.В. Микроводоросль хлорелла – источник резиноида / А.В. Митишев // Актуальные проблемы биохимии и бионанотехнологии: мат. международной научной интернет-конференции. – Казань: ИП Синяев Д.Н. – 2013. – Т 2. – с. 24 – 27.
23. Богданов, Н.И. Использование хлореллы для выращивания и откорма сельскохозяйственных животных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.chlorella-v.narod.ru/alga1.pdf>. Дата обращения: 08.08.2014.
24. Богданова, А.А. Влияние различных концентраций питательной среды на увеличение биомассы микроводоросли штамма ИФР № С-111 / А.А. Богданова, Е.А. Флерова // Сборник научных трудов по материалам XVI Международной научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых ФГБОУ ВПО «Ярославская ГСХА», Ярославль : Ярославская ГСХА. – 2013. – С. 18-22.
25. О хлорелле [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.xn--80ajrbapo1b.xn--p1ai/about-chlorella.html>. Дата обращения: 08.08.2015
26. Казьмин, В.Д. Морские сокровища / В.Д. Казьмин // – М.: «Пищевая промышленность». – 1972. – 188 с.
27. Методика подсчета общего количества микроорганизмов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.atmractica.ru/promishlennost/metodikapodschetaobshchegokolichestvamikroorganizmov.html>. Дата обращения: 10.04.2016.
28. Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2008. – 952 с.
29. Епанешников М. М. Электрическое освещение. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.

30. Крысин, Леонид Петрович. Толковый словарь иноязычных слов : свыше 25 000 слов и словосочетаний / Л. П. Крысин; Российская академия наук (РАН), Институт русского языка им. В. В. Виноградова (ИРЯ). — Москва: Эксмо, 2010. — 944 с. — Библиотека словарей Эксмо. — ISBN 978-5-699-41919-7.
- 31.2. Шуберт Ф. Светодиоды/Пер.с англ.под ред. А.Э. Юновича – 2-е изд. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2008 – 496с.
- 32.3. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 33.4. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 34.5. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие.- 35.Томск: Изд – во ТПУ, 2010. – 144с.
- 36.6. СП 52.13330.2011 «СНиП 23-05-95*». Естественное и искусственное освещение.
- 37..7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 38.8. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 39.9. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ 40.сидя. Общие эргономические требования.
- 41.10. СН 245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
- 42.11. СП 2.2.1.1312-03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий.

Приложение А
Раздел на иностранном языке
(обязательное)

Раздел 1
Литературный обзор

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4ВМ4А	Шевченко Ирина Григорьевна		

Консультант кафедры ЛИСТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Карнаухова А. А.			

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ботова А. Л.			

1.2 Analysis of existing exposure systems

Irradiation facilities (IF) basically comprise processes photobiological action. Photobiological reactions occur according to the scheme the primary photophysical response - the primary photochemical reactions - biochemical reactions. Exposure encompasses photosynthesis (process energy) and chlorophyll biosynthesis (biosynthetic process).

Irradiated used when the level of natural irradiation is not sufficient for normal development of culture.

Irradiation facilities consist of irradiation devices. Irradiation device (ID) - a device that provides the necessary distribution of radiation on the receiver and consists of a radiation source and fixtures. Armature converts the radiation source, redistributing light flux by changing the spectral composition, etc. The fittings include all the elements necessary for the mechanical fastening of the radiation source, connect it to a power source and to maintain normal functioning. Reinforcement protects radiation source and all the elements of an electrical switching from environmental influences and mechanical damage, but also contains elements ID attachment.

The most important characteristics are irradiated spectral composition, irradiance, duration of daily exposure and the spatial distribution of the light flux.

In the spectral range are the following conditional sections:

More than 1000 nm - only thermal impact;

1000-700 nm - mainly growth effect;

610-700 nm - section maximum photosynthetic effect the synthesis of chlorophyll, longer daylight hours;

315-510 nm - the second peak photosynthesis, growth and formative effects;

280-350 nm - radiation is harmful to most objects of irradiation;

less than 280 nanometers - the death of the object.

Uniform irradiance distribution is ensured by high-power irradiated, or using the mobile unit. In the application of mobile units increases the rate of photosynthesis, but significant disadvantage of such systems is more complicated structure, compared with stationary.

To the irradiation facility requirements:

1. The spectral composition of the radiation should be more consistent with the spectral sensitivity of plants and contain no radiation, a depressing effect on the plants;
2. irradiance must be evenly distributed over the exposed surface, and be sufficient for normal photosynthesis and plant formation;
3. The installation should not overheat the irradiated object and interfere with the care of them;
4. The device and operation irradiated must satisfy the requirements of the electrical devices in very damp areas.

There are two main ways of cultivation of microalgae in the modern world: 1) in the open air; 2) in vitro. Back in the early 50s of the twentieth century have been invented and are described in various settings for the cultivation of micro-algae in the open air. Investigations were carried out countries such as the US, Japan, Czechoslovakia and other [9]. In the Russian Federation due to the climate conditions of the majority of regions of the country, it is advisable to use the device for the artificial production of certain microbial cultures that provide optimal conditions for their livelihoods, the settings are called - photobioreactors [10].

Currently, there are many different systems for the cultivation of microalgae in the open air, the main types of these settings are shown in Figures 1.2 - 1.5 [9].

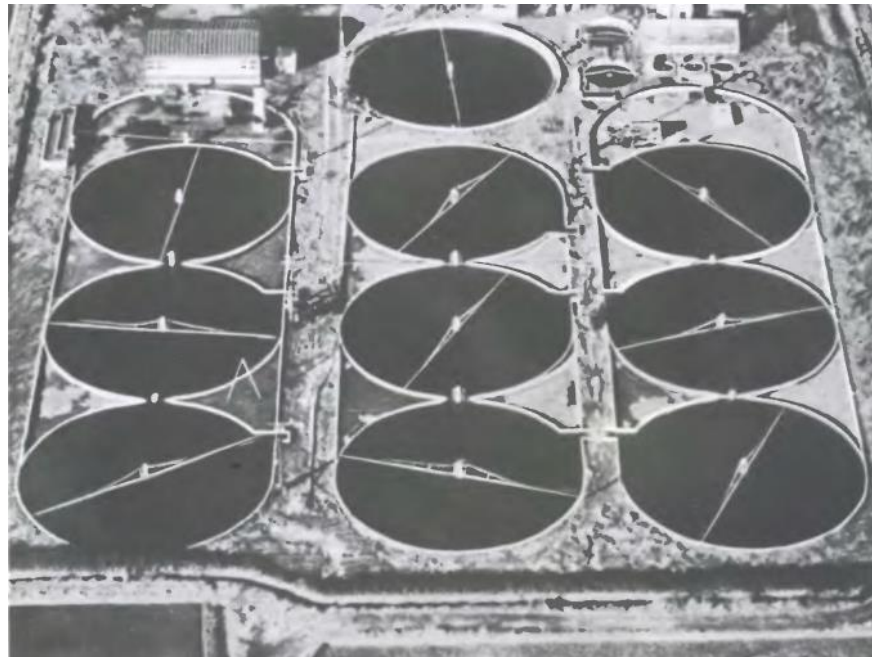


Figure 1.2 - Installations for cultivation in the open air of chlorella

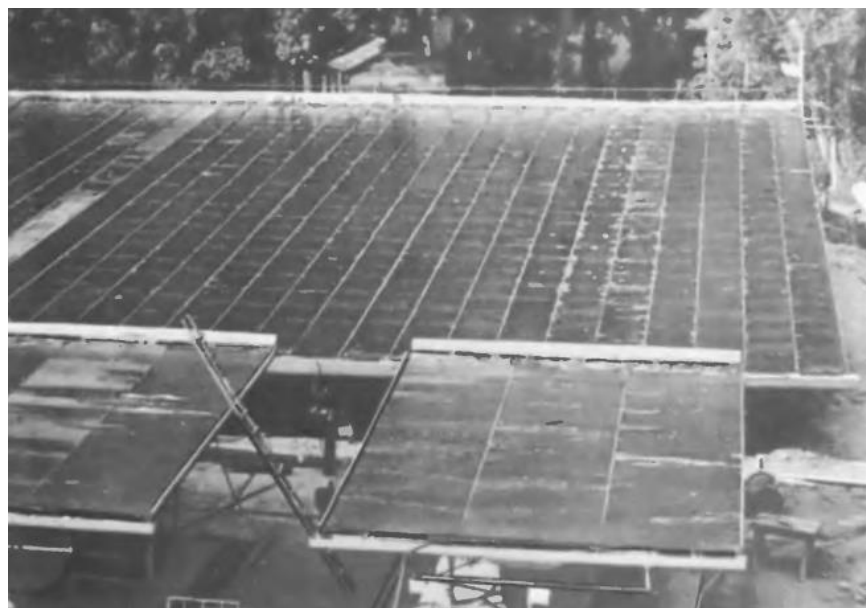


Figure 1.3 - Installation for the cultivation of microalgae in the open air, located on the roof of the greenhouse

Open the installation depth type is round or square pools with a diameter of up to 20 m, as well as deep baths. Layer grown in suspension chlorella data units up to 50 cm. Stirring is carried out mechanically suspension. Lighting is done by solar radiation. By setting these advantages include high yield. Negative points include - design complexity and high costs of establishment [11] . Open installation types are designed chutes, cascades, shallow baths. The depth of the slurry layer into data units

up to 25 cm. Stirring is carried out mainly pumps. Illumination is the same as in the deep type plants due to solar radiation. Although the open-type installation simple and inexpensive, low yield relative to footprint is their main drawback.

Another type of designs first appeared in Bulgaria. During construction it local natural resources have been applied, such as a water source, rich in mineral salts and temperature control by water hot springs [11]. They were a clear plastic tube of small diameter, located one above the other (Figure 1.4).Stirring slurry, which occurred with the use of pumps and energy source as sunlight performed [12].



Figure 1.4 - Open circulating systems for the cultivation of chlorella

These settings allow you to grow a clean environment, to carry out without paddles stirring. Minuses data units is dependent on the weather conditions and the growth of chlorella cells on the walls of pipes, which requires their purification, which is why complicated process.

Relatively new installation design, using natural lighting, a system using solar trackers (Figure 1.5).



Figure 1.5 - Adaptable to the radiation direction of installation for cultivation of chlorella

This design, unlike the others, used solutions maximizes the sunlight because it follows by two independent actuators in combination with a light sensor. Thus, by setting the front wall of the tank at a right angle relative to the incident radiation.

Despite the variety of designs plants growing in the open air has a low rate of reproduction of culture, so we can assume this type of cultivation - extensive, in which a large amount of harvest is possible only by increasing the production area. Unstable weather conditions are the reason that the plants cannot be open-ended long-term, stable removal of the crop, which essentially depends on the weather conditions. Increase the open-air setting productivity possible through the creation of various systems for the maintenance of the necessary conditions.

Plants that use artificial irradiation, even more varied in appearance. Apart from such difference, as a form of reservoir volume, a method of stirring a slurry, which also exist among the previous type FBI, here there are such features as the power consumed by the installation, the degree of automation, the number of reconstituted environmental conditions AI type arrangement of devices in the irradiator installation (irradiated), and others.

Consider, as an example, several designs photobioreactors. Plants closed circulatory system are the main type of systems with controlled parameters (Figure 1.6) [11].



Figure 1.6 - Industrial cultivation in artificial conditions

As the AI used fluorescent lamps located between the pipes of the circulation system that allows you to maximize the use of radiant energy source for exposure.

Figure 1.7 shows the research setting, which in the fluorescent lamp (LL) is also used as a radiation source. The use of several reservoirs for the suspension allows to study the influence of culture medium composition, the concentration of carbon dioxide or the like. Parameters on the efficiency of growth, due to the isolation of the samples in the system.

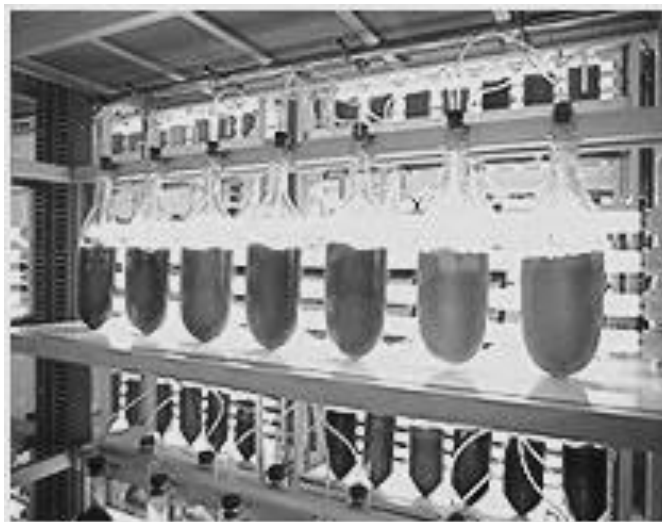


Figure 1.7 - A research facility for cultivating chlorella

Another common concept of installation is a photobioreactor rectangular shape of the translucent material (Figure 1.8). Its prevalence it has received due to simplicity of design. Reflectors in such devices can be arranged in different ways, but the most common is the exposure system through the lateral wall of the tank.

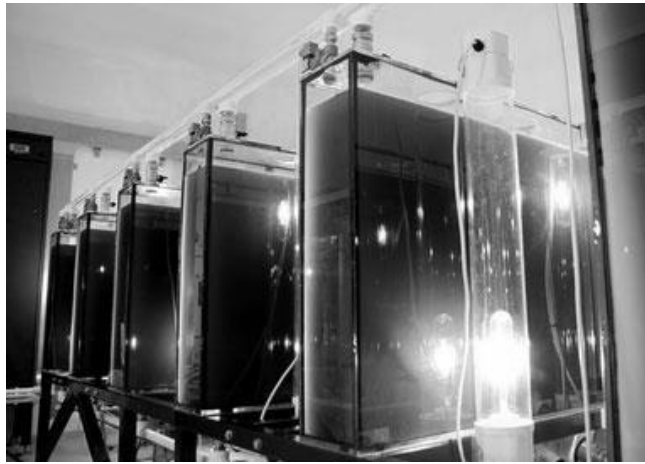


Figure 1.8 - A research facility for cultivating chlorella

The number of sources, and their output depends on the volume of the suspension of chlorella and the thickness of the irradiated layer. The parameters should be selected so that Chlorella cells located in the far from the feed layer, had the opportunity to receive the necessary portion of the radiant energy for photosynthesis. Also, it should be borne in mind that a high level of irradiance in the near-bed suspensions may cause photodamage biological organisms.

All units are distinguished by the shape of the tank with a nutrient medium in which the chlorella, the degree of isolation of the system from the external environment, as well as on the type of exposure. According to the type of radiation can be divided all the settings on the natural environment and man-made. PBS artificial irradiation in turn are divided into groups depending on the radiation source, which determines the spectrum of irradiation.

1.3 As used in artificial systems of radiation sources

It is undeniable that all biological organisms have adapted to the spectral composition of natural light. However, the use of artificial irradiation, to provide close to the solar spectrum range is very difficult. A significant amount of the cultivation of energy costs in vitro culture systems Chlorella vulgaris is necessary for electricity, for this reason, all light sources shall be selected by matching the needs of the radiant flux of the object and effects of the economic profitability of the application. In most cases, visual environment is formed choice of models and types of lighting equipment. Taken individually, each of the three main areas of

photosynthetically active radiation (PAR), at relatively low levels of light flux, do not provide the high productivity of plants photoculture, however, proved a positive influence on a production activity of the plant sufficiently high irradiance levels in any area of visible light, that is. e. a high level of irradiance, even in the field of chlorophyll absorption minimum location (500-600 nm), provides effective activity of a production plant. [13]

The most common serial radiation sources are fluorescent lamps, both compact and linear type, but there are also an incandescent lamp (IL), metal halide (IPF), sodium discharge lamps (HPS) lamp type DRLF and others.

1.3.1 Incandescent

The operating temperature of the tungsten filament of about half that of the temperature of the outer layers of the Sun (about 6000 K), from which the light comes to Earth. Therefore, in accordance with the law Wines maximum density emitted by a hot filament electromagnetic waves falls on the invisible light with an average wavelength of 1 micron. Basically, the energy of incandescent bulbs out in the form of infrared radiation. Only a small part of the distribution falls into a well-perceived chlorella wavelength range 410 nm - 520 nm and 650 nm - 720 nm. As a result, efficiency of electric power which is consumed for that, not very high in order to maintain the filament temperature in the operating mode.

Incandescent lamps, suitable for the cultivation of microalgae in the research, as illuminators, enabling the organization of high levels of irradiance plants in the PAR (up to 1000W / m² PAR), hard to reach with other types of light sources.

Incandescent lamp luminous efficacy varies depending on the lamp power (Table 1.1). LN service life of about 1,000 hours.

Table 1.1 - The light output LN

A type	Relative light output %	The light output (lumens/ watt)
Bulb 40W	1.9%	12.6
Bulb 60W	2.1%	14.5
Incandescent 100 W	2.6%	17.5
Halogen lamps	2.3%	16

Since the efficiency of the source in the PAR is 2-5% (8% for halogen LN), the use of IL for industrial cultivation purposes is avoided and, in recent years, almost stopped.

1.3.2 Fluorescent lamps

The light output of fluorescent lamps (LL) ~ 60 - 80 lm / W, life of about 10 thousand hours, energy efficiency (9-12%).. The emission spectrum of fluorescent lamps do not meet the biological needs of the receivers, because It is ruled and low in red and near-infrared rays, so irradiators with LL as the source is often used as an incandescent lamp, which in combination with LL has a good range of exposure. Efficiency fluorescent lamps in FAR higher than LN. The total irradiance in installations with LL is small and depends on the number of lamps in the light box and the distance between them. Perhaps the location of light units based on LL horizontally over settings, and vertically between them.

Currently, for the cultivation of chlorella in small-scale production, CFLs are used. These lamps can be both with built-in ballast, and without it. Lamps with integrated ballast different from extended fluorescent lamps general purpose only smaller and easy to use - they can be screwed into a conventional E27 cartridge.

Compact fluorescent lamps are the best choice for plant irradiation at low power systems (up to 200 W of total power), which is found only in small-scale cultivation with small volumes.

1.3.3 High-pressure discharge lamps

Complete with ballast DRLF lamp series 400W illuminators are known as RT-400. The light output of lamps DRLF400 $\sim 40\text{-}45 \text{ lm} / \text{W}$. The lamp emission spectrum DRLF-400 to varying degrees, presents all the ranges of PAR and on this basis it can be considered as satisfactory the lamp for use as a crop in the field, and for the needs of algology. In establishing the level of irradiance plant more than $80 \text{ W} / \text{m}^2$ PAR need mechanical ventilation to prevent overheating of the biological receiver, the application of which makes inefficient use DRLF-400 lamps with greenhouse irradiators OT400 in modern photoculture plants [14].

1.3.4 Metal halide lamps

Metal halide (IPF) - a type of gas-discharge lamp (GRL) of high pressure. It differs from other GRL in that for the correction of the spectral characteristics of the arc in mercury vapor in the burner IPF dosed special radiating additives (ID), which represent some of the metal halides.

Metal halide is a complicated electrochemical device, the properties of which are closely linked to the conditions on and the lamp position. The light output of metal halide lamps, and high ranges of $70\text{-}120 \text{ lm} / \text{W}$, the service life of lamps DRI - 8 -. 10 th hour. Developed modifications lamps DRI series, rated at 250, 400, 700, 1000 and 2000 watts intended for growing tomato plants or cucumber plants. Radiation lamps DRI in different spectral regions PAR allows the creation of highly specialized lighting equipment to grow the most demanding to the light conditions of cultivation facilities. However, in the spectrum of the radiation lamps such as DRI high proportion of infrared radiation absorbed and causes overheating of the object [14,15].

1.3.5 High Pressure Sodium Lamps

The emission spectrum of high pressure sodium lamps (NLVD) allows you to use them for successful cultivation of various vegetables, ornamentals and other crops. Sodium lamp (NLVD) - an electric light source, luminous body which serves as a gas discharge in sodium vapor. So dominant in the spectrum of these lamps is the

sodium resonance radiation; lamps give a bright orange-yellow light. This particular feature NLVD (monochromaticity of radiation in the area of 589.6 nm) is illuminated by them poor color quality. NLVD high-pressure sodium lamps have a lifespan of about 10 thousand. Hours and high luminous efficiency, and the more power sodium lamp, the higher the light output. An output of HPS lamps 400, 600, 750W, respectively, the light output is 120.140 and 160 lm / W and thus more economical in its use photoculture plants. Parameters NLVD stable over a wide range of environmental conditions.

1.4 Experience in the use of LEDs

Use energy-efficient light-emitting diodes that generate monochromatic light, it makes it possible to effectively manage the process of photosynthesis and photomorphogenesis, at the expense of spectral radiation. By drawing a combination of LEDs of different color groups can be obtained with a light source virtually any spectral composition of the radiation in the visible and regulate processes taking place within the Chlorella and as a result, and the quality of the products obtained [16,17].

Disadvantages of LED lighting - the cost of LED illuminators with a luminous flux, luminous flux equivalent to a modern lamp with NLVD 600W, exceeds the cost of the latter is not less than 10 times. It is being developed to combine methods, consisting in sharing HPS lamps and LED series. The sodium lamp spectrum average level of intensity in the blue region is more than three times lower than the level of intensity in the red region. Inclusion irradiation LED system emitting light in the range of 450 - 475 nm, significantly improves the quality of the luminous flux to be near optimum ratio energies range: 30% - in the blue region, 20% - in the green and 50% - in the red. It is shown that the intensity in combinatorial photoculture photosynthesis in plants may be 20% higher, compared to using only high-pressure tubes [17].

Experience with feed elements based on light emitting diodes for culturing chlorella is found mainly in the foreign literature [18-21]. Eric de Mattos at the University of Sao Paulo in Brazil, under the leadership of Miguel Cabrera (University

of Georgia, Department of Higher Education, USA) explores in his work the opportunity to improve the efficiency of crop cultivation of microalgae at a late stage of the process, at high cell density [18]. Adjusting the light power and the use of poorly absorbed by the green parts of the spectrum PAR allowed to achieve the desired result, i.e. A. Light with the green spectrum can penetrate the most (in comparison with the others, absorbed spectrum) depth in the layer of algae slurry at high cell density and the benefit to the final stages of production of microalgae.

It is known as a collaborative study of the University of the West of Santa Catarina (Brazil), Department of Chemical Engineering, Federal University of Santa - Catarina (Brazil) and the Brazilian Agricultural Research Corporation. [19] LED illuminators with monochromatic long-wave spectrum and household fluorescent lamp were used to compare the impact of the light source on *Chlorella vulgaris* in photobioreactors containing wastewater diluted pig as a culture medium.

From the results of experiments, the red LED showed higher specific growth rate - 36% per day under the condition of $148.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ to } -1$ compared to luminescent radiation - 30% per day. Efficiency of removal of nutrients from the culture medium greatly depends on the wavelength of light. Therefore, LED lighting system was more than twice as effective in removing N-NH_3^+ (47%) than in the photobioreactor irradiation is carried out by means of fluorescent lamps. Thus, it was determined that the LED irradiation system is more effective for the purification of sewage and production of biomass *Chlorella* than the system using fluorescent lamps.

Приложение Б
Журнал эксперимента
(обязательное)

Кювета №1 – СД, Кювета №2 – ЛН, Кювета №3 - КЛЛ

7:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,125228	0,098316	0,118443
t⁰	36,7	36,6	36,7
pH контр. образца	5	5	5
Измерения провел: Малахов А.			
8:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,1103	0,09761	0,109409
t⁰	34	35	34
pH контр. образца	5	5	5
Измерения провел: Карпова О.			
9:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,12449	0,101329	0,111673
t⁰	35	36	35
pH контр. образца	5	5	5
Измерения провел: Карпова О.			
10:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,122371	0,10566	0,113372
t⁰	35	36	35
pH контр. образца	5	5	5
Измерения провел: Карпова О.			
11:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,143107	0,110471	0,116232
t⁰	37	37	36,5
pH контр. образца	5	5	5
Измерения провел: Арьянова Э.			
12:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,151038	0,132215	0,123314
t⁰	36,5	37	37
pH контр. образца	5	5	5
Измерения провел: Арьянова Э.			
13:15			
№ образца	1	2	3
Оптич. плотность	0,150258	0,146971	0,129926
t⁰	36,5	36,5	36,5
pH контр. образца	5	5	5

				Измерения провел: Шевченко И.
Кювета №1 – СД, Кювета №2 – ЛН, Кювета №3 - КЛЛ				
14:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,149649	0,163482	0,1363	
t^0	36,5	36,5	37	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Шевченко И.
15:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,165679	0,156718	0,14525	
t^0	36,8	37,5	37	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Шевченко И.
16:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,180957	0,167369	0,158184	
t^0	37	37	36,8	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Арьянова Э.
17:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,194837	0,184797	0,166379	
t^0	37	37	36,5	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Иванова С.
18:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,201265	0,2028	0,167843	
t^0	37,5	37	36,5	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Иванова С.
19:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,213488	0,218877	0,217557	
t^0	37	36,5	36,5	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Иванова С.
20:15				
№ образца	1	2	3	
Оптич. плотность	0,224424	0,232626	0,197737	
t^0	37,5	36,5	36,5	
pH контр. образца	5	5	5	
				Измерения провел: Иванова С.