УДК 58.082

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАБОРАТОРНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СПИРУЛИНЫ

Медведева С.Н., к.т.н., доцент,
Голобоков С.В., к.т.н., доцент,
Сотников М.В., магистрант
Пензенский государственный университет
Medvedeva Svetlana, PhD, sn-medvedeva@yandex.ru
Golobokov S.V., PhD, golobokov_sv@mail.ru
Sotnikov Michail, mihailfurios7@gmail.com
Penza State University

В работе рассмотрены пути повышения энергоэффективности лабораторного модуля для выращивания микроводоросли «Спирулина». Выбраны фитосветильники и система температурной стабилизации. Выданы рекомендации по режимам работы и применению лабораторного модуля.

Ключевые слова. *«Спирулина», аквамодуль, светодиодный светильник, нагреватель, стабилизация температуры, удельный расход энергии.*

Наша цивилизация в 21 веке столкнулась с рядом проблем, важнейшей из которых является нехватка энергетических ресурсов. Главным направлением развития технических систем является снижение расхода энергоресурсов и повышение энергетической эффективности. Новые образцы техники и технологии должны выполнять экономию энергии и материалов в процессе эксплуатации.

Перспективным направлением развития агропромышленного сектора является аквакультура – выращивание биомассы на акватории мирового океана. В нашей стране это направление не слишком развито в силу географических особенностей. Большая часть береговой линии лежит в зоне холодного климата. Для повышения производительности аквафермы требуется стабильно высокая температура воды и освещенность. В естественных условиях этого добиться невозможно.

Биотехнологии позволяют выращивать многообразие водорослей, которые дают высокие показатели производства биомассы. Одним из популярных видов является водоросль «Спирулина», которая имеет зеленовато-синий цвет [1].

Основные факторы, влияющие на рост «Спирулины»:

1. Питательная среда
2. Температура в диапазоне от 25 до 35 ^{0}С.
3. Освещение спектром, влияющим на рост, мощностью ФАР 120 Вт/м^2.
4. Перемешивание, аэрация воздухом.

Авторским коллективом для создания оптимальных условий и выполнения научных исследований спроектирован и построен лабораторный модуль.

Внешний вид лабораторного модуля представлен на рисунке1.

Рисунок 1. - Конструкция лабораторного модуля

В состав лабораторного модуля входит:

1. Аквариум РИФ-200.
2. Система управления на основе Контроллера «Mega -2560».
3. Система освещения на основе фитосветильников.
4. Система фильтрации с Фильтром «Тетратек EX» для сбора урожая.
5. Система аэрации с аквариумным компрессором «Sera АИР 275R/8814».
6. Система подогрева раствора «Акваэль 200 В платинум 121219».

В модуле заложены конструктивные решения по экономии тепловой энергии. Фитосветильники в количестве 6 шт закрепляются на 3 боковых стенках. При работе светильники нагреваются, вокруг трех боковых стенок создается тепловая подушка и идет частичное нагревание раствора. Теплоотдача в окружающую среду идет только через верхнюю и нижнюю плоскость и через четвертую стенку.

Важнейшим фактором для интенсификации биологических процессов выращивания водорослей является освещение внутреннего пространства аквамодуля. Необходимо выполнить комплекс требований по уровню освещенности, спектральному составу света и времени включения [2]. Для оснащения аквамодуля были выбраны фитосветильники «Glanzen RPD-0001-60-grow». Число светодиодов разного цвета в светильнике определяет спектральную характеристику. В наращивании биомассы участвуют только фотоны красного и синего цвета. Фитосветильники выполняют подсветку емкости в условиях недостаточной освещенности - в пасмурную погоду, зимой, утром и вечером.

Измерения освещенности были выполнены на расстоянии 10 см от обратной стенки аквариума в центра светодиодного светильника, освещенность равна 5760 лкс. Это соответствует освещенности солнечного света примерно 28 тыс. лкс. При сравнительно малой освещенности доля мощности излучения ФАР для таких светильников достигает 80 %. Расчетная мощность ФАР составила 108 Вт/м^2.

Вторым по мощности приемником являются нагреватели раствора. Поддержание заданной температуры является важным условием повышения производительности. По результатам исследований украинских ученых установлено, что оптимальная температура раствора должна быть в диапазоне 20 – 30 ^{0}С [2]. Для изучения влияния температуры окружающей среды составлена математическая модель теплоотдачи вертикальных стенок аквариума в стационарном режиме [3]. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Зависимость температуры раствора от мощности нагревателей

№	Температура воздуха, ^{0}С	Освещение 270 Вт	Нагреватель 100 Вт	Нагреватель 200 Вт	Компрессор 60 Вт
1	10	14	20	28	29
2	15	23	29	36	37
3	20	30	37	43	44
4	25	35	42	49	50
5	30	39	47	52	53

Для проверки адекватности математической модели и подтверждения показателей энергоэффективности модуля выполнен натурный эксперимент. Результаты эксперимента представлены на рис. 2. В ходе эксперимента последовательно повышали мощность нагревателей. Температура в помещении была 20 ^{0}С. Измерение температуры проводилось ртутным термометром в пристеночном слое. Температура в аквариуме стабилизировалась примерно через 30 минут, измерение проводилось через час работы нагревателя.

Анализ данных показывает, что термодинамическая система однородная, с ростом температуры воздуха температура раствора возрастает по линейному закону. Угол наклона графиков расчетной температуры и эксперимента совпадает, адекватность модели подтверждена. Фактическая температура превышает расчетную примерно на 5 ^{0}С. Относительная погрешность составляет 12 %.

Возможной причиной отклонения могут быть разные коэффициенты теплоотдачи. Тепловые потери через основание аквариума меньше чем от его стенок в воздух.

Математическая модель не учитывает затрат энергии на испарение воды при аэрации раствора. Падение температуры раствора при включении компрессора можно объяснить тем, что компрессор закачивает более холодный воздух. Мощности самого компрессора при сжатии воздуха недостаточно для его нагрева.

При включении компрессора падение температуры раствора происходит также за счет испарения воды. Однако компрессор нужен для циркуляции раствора. С целью повышения энегоэффективности рекомендуется включать его циклами.

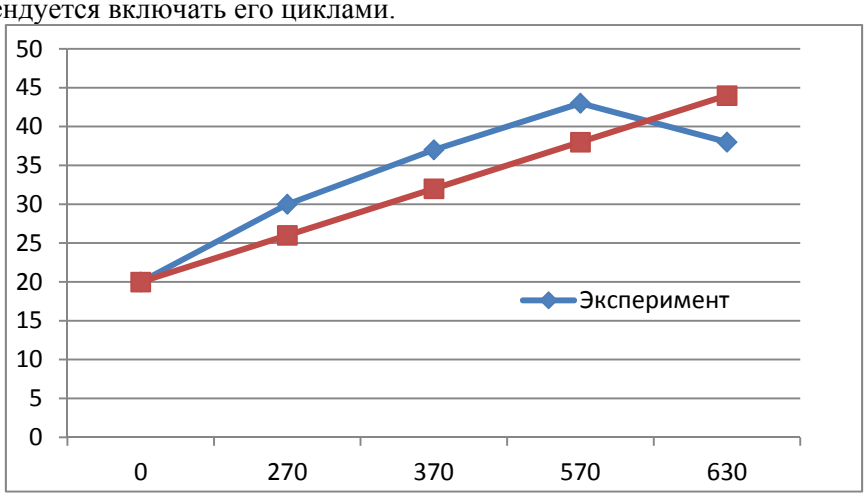

Рисунок 2. – Влияние мощности нагревателей на температуру

Выполним оценку потребления электрической энергии в процессе эксплуатации лабораторного модуля. Максимальная электрическая мощность:

$P_{общ} = P_{св} + P_{нагр} + P_{комп}$ (1)

Где: $P_{св}$ – мощность светильников, равна 270Вт;

$P_{нагр}$ – мощность нагревателей, равна 200 Вт;

$P_{комп}$ – мощность двух компрессоров, равна 60 Вт.

В сутки модуль работает 20 часов. Потребление электрической энергии:

$W_{сут} = P_{общ} \times t = (P_{св} + P_{нагр} + P_{комп}) \times t = 530 \times 20 = 10{,}6$ кВт-ч. (2)

Из перечисленных систем максимальным потреблением энергии обладает система освещения. КПД светильников составляет 40 %. Выделяемое тепло с целью повышения энергоэффективности используется для нагрева раствора и стабилизации температуры, это дает экономию электроэнергию.

В хороших условиях масса «Спирулины» удваивается каждые 2-4 дня, пока не достигнет максимальной концентрации. Оптическая прозрачность раствора в 1,5 см соответствует концентрации 0,5 г высушенной спирулины на литр [1]. В диапазоне видимости от 1,5 до 3,5 см плотность культуры линейно изменяется до величины 0,25 г/литр. Таким образом, процессы образования хлорофилла и роста зеленой массы интенсивно протекают в пристеночной области, не далее 5 см от стекла. В глубину аквариума проникает малая доля светового потока. Внутренние зоны аквариума используются с низкой эффективностью.

Для повышения производительности аквамодуля необходимо запустить рост зеленой массы по всему объему аквариума. Подача воздуха в аквариум по двум аэраторным трубкам вдоль боковых стенок позволяет организовать перемешивание раствора [4]. Раствор с высоким содержанием водорослей из пристеночной зоны вытесняется в центральную зону, а на смену ему в зону высокой освещенности приходит раствор с более низкой концентрацией и высокой оптической прозрачностью. Кроме того аэрация раствора необходима для подачи кислорода, что также способствует росту производительности.

Выполним оценку показателей энергоэффективности лабораторного модуля. Товарным продуктом является сухая спирулина. При концентрации раствора на уровне 0,5 г/литр процесс роста

замедляется, дальнейшая работа модуля малопроизводительная. Требуется собрать урожай, возобновить концентрацию питательных веществ и активировать процесс роста.

В режиме максимальной производительности модуль вырабатывает 80 г сухой массы в сутки. Показателем энергоэффективности принимаем удельный расход электроэнергии на выработку единицы массы продукта. Выполним расчет.

$$q = \frac{W}{m} = \frac{10{,}8}{0{,}08} = 135 \text{ кВт-ч/кг.} \quad (3)$$

В результате проведенных исследований спроектирован и изготовлен лабораторный модуль, предназначенный для выращивания «Спирулины». Модуль оснащен фитосветильниками, которые создают освещенность на боковых стенках аквариума гораздо выше, чем от солнечного света [4]. Это позволяет организовать выращивание «Спирулины» в закрытых помещениях со стабильно высокой скоростью, вне зависимости от погодных условий.

Модуль может применяться в биотехнологических лабораториях для исследований и выращивания различных аквакультур. Лабораторный модуль позволяет менять режимы и отработать технологию выращивания «Спирулины» в учебном заведении, проводить научные исследования. Лабораторный модуль будет применяться в учебном процессе, например в школе или университете.

Список использованных источников

1. Технология производства водорослей Spirulina. – URL: https://studbooks.net/2493625/tovarovedenie/tehnologiya_proizvodstva_vodorosley_spirulina. (дата обращения 04.02.2023) – Текст электронный.

2. Опыт интенсивного выращивания микроводоросли Спирулина (Spirulina). /Л.Г. Гнатченко, И.И.Писаревская, А.П.Иванюта// Труды Южного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии. – 1994. – Т.40. – с.106 - 110. –Текст непосредственный.

3. Калькулятор для аквариума. – URL: https://www.aqua-shop.ru/aqua_ calculators.php. (дата обращения 24.12.2022) – Текст электронный.

4. Лабораторный модуль для выращивания спирулины \С.Н.Медведева, М.В.Сотников, В.Ю.Кирилин, С.В.Голобоков\\ Сб. трудов XV юбилейной международной научно-практической конференции «СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА» 02 – 04 марта 2022 г. Изд. ДГТУ, г. Ростов-на-Дону: 2022. – с.122-126. –Текст непосредственный.