

$$\text{где: } C_7 = \frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_2+1} \Delta \rho_2 \omega^2 I_{1\text{к}}^* \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2} \right)^{1/n_2}}{2 \frac{12\sigma_{21}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} - \frac{1}{2}; \quad C_8 = \frac{\left(\frac{1}{9} \left(\frac{d_{\text{ч}}}{2} \right)^{n_2+1} \Delta \rho_2 \omega^2 I_{1\text{к}}^* \sin 2\theta_1 \frac{\Psi_{(n_2)}}{k_2} \right)^{1/n_2}}{2 \frac{12\sigma_{21}}{\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}^3}} + \frac{1}{2}.$$

Таким образом, проведенный анализ движения частицы по поверхности вращающейся конической насадки дает возможность определить основные конструктивно-технологические параметры работы центробежного ротора, позволяющие достичь заданных параметров улучшения потребительских свойств гранулированных продуктов.

Литература

1. Дегазация нелинейно-вязкой жидкости при течении по нагретой поверхности конического ротора / Беднарская Е.А., Валентинова В.В., Мишта П.В., Рябчук Г.В., Щукина А.Г. // Теоретические основы химической технологии. 2005. Т. 39. № 2. с. 163-169.
2. Разделение тонкодисперсных суспензий с неньютоновской дисперсионной средой на роторно-пленочных центрифугах / Богданова Ю.Н., Мишта П.В., Щукина А.Г. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 105-108.
3. Двухслойное течение вязкой жидкости по внутренней поверхности вращающейся конической насадки / Блинов Д.С., Гордон В.А., Осокин В.А., Попович Г.А., Рябчук Г.В. // Известия вузов. Химия и химическая технология: науч.-тех. журнал. 2006, Т 49. вып. 6, с. 112-115.
4. Определение меридиональной, тангенциальной и осевой скоростей течения степенной жидкости по внутренней поверхности криволинейной насадки и насадки с произвольным профилем / Никулин И.А., Голованчиков А.Б., Кузнецов А.В., Мишта П.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 26-31.
5. Математическое моделирование процесса течения вязкопластической среды по вращающейся конической насадке / Анохин Д.А., Рябчук Г.В., Балашов В.А., Мишта П.В. // Химическая технология. 2007. Т. 8. № 1. с. 44-47.
6. Определение основных гидродинамических параметров процесса течения степенной жидкости по проницаемой поверхности насадки произвольной формы / Рябчук Г.В., Никулин И.А., Голованчиков А.Б., Попович Г.А., Мишта П.В. // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2010. Т. 1. № 3. с. 20-26.

Изучение интенсивности тепловыделения светодиодных источников света при культивировании светозависимых микроорганизмов

к.т.н. Мальцевская Н.В.

Университет машиностроения
8 (499) 267-12-67, maltsevskaya@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема тепловыделения искусственных источников света (светодиодов) при культивировании светозависимых микроорганизмов. Выполнены практические исследования по данному вопросу на примере культивирования зелёной микроводоросли *Chlorella* sp.

Ключевые слова: тепловыделение, светозависимые микроорганизмы, светодиодные источники света.

Светозависимые микроорганизмы – это, главным образом, микроорганизмы, свет для которых является необходимым фактором их существования (фототрофные микроорганизмы). Существует также группа микроорганизмов, для которых свет является «катализатором» того или иного процесса, например, образования различных ценных веществ (пигментов и пр.).

Спектр применения светозависимых микроорганизмов очень широк. Полученные продукты используются в пищевой, медицинской, химической промышленности и др. В сфере защиты окружающей среды фототрофные микроорганизмы могут быть применены для сокращения содержания парниковых газов (CO_2) в атмосфере. Всё чаще оказываются в центре внимания эти микроорганизмы с точки зрения получения биотоплива – альтернативного варианта ископаемым видам топлива в связи с ужесточением экологических норм, ростом цен на нефть и сокращения природных ресурсов.

В настоящее время в мире существует всего несколько крупномасштабных производств светозависимых микроорганизмов. Производства на основе систем закрытого типа [8, 9, 11], например, Ökologische Produkte GmbH, Германия (биореакторы трубчатого типа) – получение биомассы микроводоросли хлорелла. Промышленные системы открытого типа (пруды), – Aquasearch Inc, США, Гавай – производство биомассы гематококкуса для получения астаксантина и биомассы спирулины; Cyanotech – производство биомассы гематококкуса для получения астаксантина и биомассы спирулины [8, 11].

Использование открытых водоёмов для культивирования микроорганизмов в условиях географического положения стран Северной Европы и России невозможно вследствие низких температур в зимние месяцы и короткой продолжительности светового дня. Поэтому в этих регионах могут быть рекомендованы к использованию лишь закрытые системы культивирования.

Большое количество научных исследований посвящено поиску оптимального варианта систем культивирования закрытого типа (фотобиореакторов) [4, 8]. Например, фотобиореакторы (ФБР) трубчатого, глубинного, плоского типа. Однако во всех вышеперечисленных видах ФБР используются различные искусственные источники света. Однако использование искусственных систем сталкивается с рядом проблем: высокие энергетические затраты на освещение.

Выбор источников света главным образом зависит от их энергоэффективности. Так, в различных работах описываются в опытах по культивированию светозависимых организмов с применением люминесцентных ламп. В своих исследованиях А.А. Ничипорович и В.Е. Семенов [6] применяли установку с лампы типа ДРЛ. В настоящее время используются для культивирования фототрофов газоразрядные лампы разных типов – натриевые, ртутные. Для таких ламп характерна высокая светоотдача, которая составляет около 140–200 лм/Вт. Принцип действия основан на электролюминесценции (в данном случае происходит свечение разряда в присутствии газов и паров). Газоразрядные лампы чувствительны к температуре окружающей среды, номинальный режим устанавливается в них лишь спустя некоторое время после включения. Характерно для них и высокое паразитное тепловыделение.

С выделением тепла борются разными способами: увеличение расстояния между источником света и ФБР, применение специальных теплообменников (холодильников), в которые помещают осветительные приборы. Однако все эти мероприятия ведут к снижению освещённости рабочей поверхности ФБР (а следовательно, и к снижению энергоэффективности источников света и увеличению стоимости готового продукта).

Одним из возможных решений этой проблемы является использование светодиодных источников света (СД) – полупроводниковых оптических приборов. Появившиеся в настоящее время сверхъяркие СД обладают высокими световыми характеристиками. Для СД ламп характерна высокая светоотдача. Однако и эти источники света также не лишены недостатков – высокая цена (которая в настоящее время имеет тенденцию снижаться) и необходимость отвода тепла, который осуществляется за счёт использования радиаторов [1, 7, 10].

Нами была разработана и изготовлена специальная установка для проведения исследований влияния различных режимов освещения (импульсных) на рост и развитие светозависимых микроорганизмов с применением светодиодного освещения.

Важно отметить, что осуществить импульсный тип освещения возможно только при

использовании полупроводниковых источников света, так как, например, в газоразрядных лампах повторное зажигание с разрядом в парах металла при высоком и сверхвысоком давлении без специальных приёмов возможно только по истечении некоторого времени после включения [1].

В качестве объекта исследований была выбрана зелёная микроводоросль *Chlorella sp.* Исследования проводили на чашках Петри на агаризованной среде и в колбах с жидкой питательной средой Тамия. Оптимальная температура культивирования *Chlorella sp.* – 30 °С.

Исследовано прерывистое освещение с различными длительностями импульса света и интервалами между ними. Было показано, что применение прерывистого типа освещения с длительностью светового импульса не менее 0,01 с может привести к экономии затрат на производство готового продукта [5].

В ходе экспериментов по исследованию влияния различных светотемновых периодов на рост и развитие светозависимых микроорганизмов с применением мощных СД источников света (светодиодная лента SMD 3528) выявлено повышение температуры источников света. Повышение температуры привело к полному высыханию агаризованной среды в контрольном варианте (с применением постоянного освещения).

Важно было узнать, какова температура поверхности осветительных устройств при постоянном и периодическом освещении. Нами были проведены исследования по изучению температуры поверхности источников света в зависимости от длительности светотемновых периодов.

Измерения проводили с помощью пирометра X-line pIRO-300. Температура окружающей среды 30 °С. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Температура поверхности источников света

№	Вариант освещения		Температура, °С	Δ, °С
	темновой период	световой импульс		
1.	контроль (постоянный свет);		42,5	12,5
2.	0,01 с	0,01 с	32,8	2,8
3.	0,04 с	0,01 с	32,5	2,5
4.	0,07 с	0,01 с	32,0	2,0
5.	0д с	0,01с	31,7	1,7

Как видно из таблицы 1, разогреваются светодиодные источники света незначительно по отношению к окружающей среде, соответствуя литературным данным [1]. Собственное повышение температуры источников микроимпульсного освещения практически в 10 раз ниже, чем у источников постоянного излучения. Однако такое повышение температуры при культивировании микроорганизмов может оказаться фатальным. Так, в наших опытах повышение температуры источников света с непрерывным режимом освещения приводило к значительному испарению воды из питательных сред. В случае с применением жидких питательных сред (культивирование в колбах) происходит зарастание биомассой микроводорослей дна колбы, появляется «ободок», причём это зарастание весьма сложно удаляется. Эти негативные аспекты ведут к ухудшению светопропускания, а также снижают достоверность полученных в ходе исследований данных. А в условиях проведения экспериментов по культивированию микроводорослей на твёрдой питательной среде (на чашках Петри), высокая температура приводит к практически полному высыханию агаризованной среды. Это также негативно влияет на процесс культивирования.

Таким образом, следует сделать заключение о том, что, несмотря на декларирования фирмами производителями полупроводниковых осветительной техники светодиодов как источников света с низким тепловыделением, проведённые эксперименты показали повышение

температуры на более чем 10 С (для светодиодов повышенной мощности). И, при условии дальнейшего использования для процессов культивирования микроорганизмов подобного типа светодиодов следует учитывать возможное повышение температуры, а также требуется предусматривать мероприятия по отводу тепла. Так, например, можно использовать мало-мощные системы охлаждения, типа небольших вентиляторов, кулеров. Но в данном случае необходимо оставлять некоторый зазор между источником света и культиватором, что будет приводить к снижению фактической светоотдачи осветительных приборов. Наиболее энерго-эффективным методом снижения тепловыделения является применение импульсного освещения, при котором можно располагать культиваторы непосредственно у источников света.

Литература

1. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга 3-е изд. Перераб. и доп. М.: Знак, 2006. - 972 с.
2. Беликов П.С., Дмитриева Г.А. Физиология растений: Учеб. Пособие. - М.: Изд-во РУДН, 1992. - 248 с.
3. Белякова Г.А. и др. Ботаника: в 4 т. Т.2. Водоросли и грибы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / М.: Издательский центр "Академия", 2006. - 320 с.
4. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. М.: КолосС, 2004. - 296 с.
5. Мальцевская Н.В. Бирюков В.В. Применение импульсных светодиодных источников света для снижения энергозатрат при культивировании фотосинтезирующих микроорганизмов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2010. – № 11. – с. 9.
6. Ничипорович А.А., Семенов В.Е., Владимирова. Интенсификация фотосинтетической продуктивности культуры одноклеточных водорослей // Известия академии наук СССР, серия биологическая, 163-172, 1962.
7. Шуберт Ф. Светодиоды. Пер. с англ. Под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.
8. Graham, Linda E. Algae/ Linda E. Graham, Lee Warren Wilcox //Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, 2000.
9. Morais M. G., Vieira Costa J. A.. Carbon dioxide fixation by *Chorella kessleri*, *C. vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* and *Spirulina* sp. Cultivated in flasks and vertical tubular photobioreactors. *Biotechnol Lett* (2007) 29: 1349-1352.
10. LED-Belichting wordt beter, maar we weten (nog) niet alles. URL: <http://digimagazine.ouderglas.nl/2009/9/magazine.html>
11. Yoshimura S. et al. Effective utilization of transmitted light for astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis* // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Vol. 2, № 2, 97-101. 2006.

О направлениях развития фотоэлектрических технологий с учетом ресурсных ограничений

к.т.н. доц. Тюхов И.И.
Университет машиностроения
8 499 267 1017, ityukhov@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены ресурсные ограничения, возникающие при интенсивном развитии возобновляемой энергетики и, в частности, на основе солнечной фотоэлектрической генерации. Показана перспективность фотоэлектрических установок на основе кремниевых солнечных элементов с вертикальными р-п переходами.

Ключевые слова: ресурсные ограничения, возобновляемая энергетика, фотоэлектричество, солнечные элементы, кремниевые технологии.