

Применение вышеизложенного алгоритма дает в итоге следующие НК₁ и НК₂:

НК₁ { nE_1, T_1, TT_1, H_1 }: $nE_1=6$,
 $nt=0; T_1[0;L]=1; T_1[0;R]=2; TT_1[0]=1; H_1[0]=(16.51; -3.75; -0.75);$
 $nt=1; T_1[1;L]=3; T_1[1;R]=4; TT_1[1]=1; H_1[1]=(10.59; -0.75; -2.75);$
 $nt=2; T_1[2;L]=-1; T_1[2;R]=-1; TT_1[2]=1; H_1[2]=(-10.884; 2.67; 0.17);$
 $nt=3; T_1[3;L]=-1; T_1[3;R]=5; TT_1[3]=1; H_1[3]=(2.29; -0.33; -0.83);$
 $nt=4; T_1[4;L]=-1; T_1[4;R]=-1; TT_1[4]=1; H_1[4]=(-6.39; -0.00; 2.00);$
 $nt=5; T_1[5;L]=-1; T_1[5;R]=-1; TT_1[5]=1; H_1[5]=(0.13; -1.50; 1.00).$

НК₂ { nE_2, T_2, TT_2, H_2 }: $nE_1=6$,
 $nt=0; T_2[0;L]=1; T_2[0;R]=2; TT_2[0]=0; H_2[0] = \emptyset;$
 $nt=1; T_2[1;L]=3; T_2[1;R]=4; TT_2[1]=0; H_2[1] = \emptyset;$
 $nt=2; T_2[2;L]=-1; T_2[2;R]=-1; TT_2[2]=1; H_2[2] = (10.884; -2.67; -0.17);$
 $nt=3; T_2[3;L]=-1; T_2[3;R]=5; TT_2[3]=1; H_2[3] = (-0.08; 0.33; 0.83);$
 $nt=4; T_2[4;L]=-1; T_2[4;R]=-1; TT_2[4]=1; H_2[4] = (6.39; 0.00; -2.00);$
 $nt=5; T_2[5;L]=-1; T_2[5;R]=-1; TT_2[5]=1; H_2[5] = (-0.13; 1.50; -1.00).$

Положение разделяющих гиперплоскостей (при $n=2$ – прямых) показано на рисунке 3. Стрелками дополнительно указаны положительные полуплоскости.

Построенный общий алгоритм разделения пары множеств может быть применен к решению задачи классификации произвольного числа множеств, заданных наборами своих характерных объектов - прецедентов. Данный алгоритм не требует выполнения большого числа циклов обучения и эффективно за один проход решает довольно сложные задачи разделения, аналогичные рассмотренному выше примеру.

Созданная библиотека расчетных программ практически позволяет применять разработанный метод классификации к любым множествам точек в многомерных пространствах признаков.

Литература

1. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект. –1-е. // Издательский центр «Академия», 2005. с. 176.
2. Гданский Н.И., Крашенинников А.М. Бинарная кластеризация объектов в многомерных пространствах признаков. Труды Социологического конгресса. РГСУ, 2012. –7 с.

Использование алгоритма суперпозиционного микроимпульсного освещения при культивировании фототрофных микроорганизмов

д.т.н. проф. Бирюков В.В., в.н.с. Макеев П.П., к.т.н. доц. Мальцевская Н.В.
 Университет машиностроения
 birval@rambler.ru

Аннотация. Проведён анализ источников света и режимов освещения для культивирования фототрофов. Проведены предварительные исследования по применению суперпозиционного режима освещения.

Ключевые слова: фототрофы, прерывистое освещение, энергосбережение

Большая часть используемых на практике источников энергии сопровождается выделением углекислого газа. Проблема чрезмерной концентрации CO₂ и снижения её уровня в атмосфере привлекает все больше внимания.

Для решения этой проблемы был предложен ряд методов абсорбции углекислого газа из атмосферы, часть проектов была успешно реализована, но поглощение, транспортировка и хранение CO₂ оказываются весьма затратными и подрывают всякую рентабельность данных проектов. Привлекательным выглядит метод биологического поглощения CO₂ через фотосинтез. Одним из методов утилизационного фотосинтеза для сокращения уровня CO₂ является-

ся пропуск выхлопного газа через фотобиореактор, содержащий водоросли. Последние в дальнейшем можно использовать для получения коммерческой выгоды [3, 7, 8].

В настоящее время в мире существует всего несколько крупномасштабных производств: закрытого типа [11, 13, 14, 15, 16, 17], например, Ökologische Produkte GmbH, Германия (биореакторы трубчатого типа) – производство биомассы микроводоросли хлорелла; открытого типа, например, Aquasearch Inc, США, Гавайи – производство биомассы гематококкуса для получения астаксантина и биомассы спирулины; Cyanotech, США, Гавайи – производство биомассы гематококкуса для получения астаксантина и биомассы спирулины [5, 12, 18, 20].

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.

Однако использование искусственных систем сталкивается с: высокими энергетическими затратами на освещение. Причём данные, известные из литературы очень отличаются друг от друга. Так, например, в статье Мельникова С.С. и Мананкиной Е.Е. «Использование хлореллы в кормлении сельскохозяйственных животных» [9], где описываются положительные эффекты применения хлореллы в животноводстве в виде суспензии с содержанием нескольких граммов сухого вещества в 1 л, приводятся следующие данные по получению ценной биомассы хлореллы с применением бассейна объёмом 2 м³. В данной установке использовали 6 люминесцентных ламп TL-D 36 W/54-765 (мощность каждой лампы 36 Вт, световой поток 2500 лм).

В статье Богданова Н.И «Использование хлореллы для выращивания и откорма сельскохозяйственных животных» [2] описана установка КХ-60 с ежедневной продукцией суспензии хлореллы 60 л. В этой установке используют 2 лампы мощностью 250 Вт.

Из других работ по исследованию известно о применении более мощных источников освещения, которые влекут за собой более высокие затраты электроэнергии на получение единицы готового продукта. В своих исследованиях А.А. Ничипорович и В.Е. Семенов [4] применяли установку УИВ-1 с лампой ДРЛ-750 (мощность 750 Вт) для ферментации в 60 стеклянных культуральных сосудах с рабочим объёмом 250 мл.

Таким образом, одной из наиболее актуальных проблем культивирования фототрофных организмов в искусственных системах (пригодных для использования в наших широтах) является проблема осуществления освещения. Для всех выше перечисленных примеров характерны достаточно высокие энергетические затраты на освещение.

Одним из возможных вариантов решения проблемы освещения использование наиболее энергоэффективных источников света. В частности, в настоящее время используются газоразрядные лампы различных типов, для которых характерна высокая светоотдача, которая составляет около 140 – 200 лм/Вт. Принцип действия основан на электролюминесценции (к ним относят ртутные газоразрядные лампы, которые используют газовый разряд в парах ртути для получения света и натриевые лампы используют газовый разряд в парах натрия для получения света). [1, 10]. Ртутные и натриевые лампы обладают инерционностью зажигания и имеют высокую температуру на поверхности при работе. При применении их в глубинных фотобиореакторах необходима дополнительная система охлаждения. Люминесцентная лампа также является газоразрядным источником света, однако световой поток которого определяется в основном свечением люминофоров (за счёт фотолюминесценции). Лампы обладают высокой светоотдачей – до 100 лм/Вт.

Находят всё более широкое применение лампы на основе светодиодных источников света (СД) (полупроводниковые оптические приборы). Для СД ламп также характерна высокая светоотдача (до 100 лм/Вт). Однако, и эти источники света не лишены недостатков – вы-

сокая цена (которая в настоящее время имеет тенденцию снижаться) и необходимость отвода тепла, который осуществляется за счёт использования радиаторов.

Один из вариантов снижения энергетических затрат при культивировании фототрофов является применение импульсного освещения. Для реализации импульсного освещения по своим техническим характеристикам могут применены только СД.

Из литературных источников известно, что процесс фотосинтеза происходит в два этапа – световой и темновой [19]. Причём, световая фаза имеет длительность протекания порядка 0,00001 с, а темновая 0,001 с. Однако, как показали эксперименты [6], применение импульсного освещения с длительностями, соответствующими длительностям фаз фотосинтеза не показало каких-либо положительных результатов.

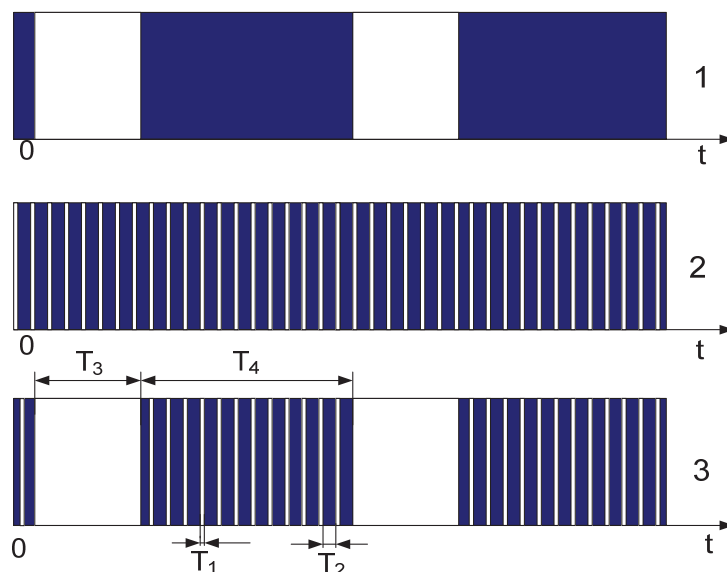


Рисунок 1. Схема получения суперпозиционного освещения:
1 – импульсный режим низкой частоты – «медленный импульс»;
2 – импульсный режим высокой частоты – «быстрый импульс»;
3 – суперпозиционный режим освещения

Были исследованы и другие длительности прерывистого освещения. Оказалось, что имеет смысл поиск прерывистого типа освещения с длительностью светового импульса не менее 0,01 с [7, 8]. С другой стороны, применение прерывистого освещения в качестве ночной подсветки, показало достаточно высокие результаты по энергосбережению [6, 7, 8]. Такой тип освещения (прерывистое в ночной период, постоянное – в дневной) можно назвать частным случаем «суперпозиционного» освещения, т.е. при суперпозиционном режиме существуют два вида микроимпульсного освещения – низкочастотное и высокочастотное. В суперпозиционном режиме «темновые» периоды низкочастотного цикла замещаются на импульсный режим более высокой частоты, что может быть наглядно представлено на рисунке 1.

Эта идея, однако, наталкивается на очень короткие длительности циклов световой фазы фотосинтеза. Это требует осуществления импульсности с высокой частотой (можно реализовать с помощью генераторов импульса). Другая сложность – важно, чтобы столь короткие подачи электрической энергии на осветители быстро превращалась в импульс света (инерционность выдачи света приводит к «смазыванию» и понижению величины амплитуды света с «размазанными» потоками света, а нужны просто яркие короткие импульсы света. Проведённые нами исследования [7] показали, что этот недостаток можно устранить за счёт использования светодиодов, которые обычно имеют «высокие» светодинамические характери-

стики и позволяют реализовывать высокочастотное чередование импульсов. Конечно, при циркадных циклах (соизмеримых с длительностями суточного чередования света-темноты величина медленного низкочастотного цикла

В настоящей работе исследована возможность снижения удельных энергозатрат с помощью использования суперпозиционного импульсного освещения.

Таблица 1

Эксперименты по влиянию длительностей световых и темновых интервалов

№	Быстрая фаза, с		Медленная фаза, с		Относительные удельные энергозатраты
	T ₁ (свет)	T ₂	T ₃ (свет)	T ₄	
1.	0,01	0,5	0, 1	3	2,52
2.	0,03	0,5	0, 5	5	1,60
3.	0,05	0,5	1	10	1,20
4.	0,02	0,5	0, 25	7	3,83
5.	0,01	2	0, 5	10	2,89
6.	0,03	2	0, 1	7	4,20
7.	0,05	2	0, 25	3	3,38
8.	0,02	2	1	5	1,44
9.	0,01	3	1	7	2,82
10.	0,03	3	0, 25	10	5,07
11.	0,05	3	0, 1	5	1,59
12.	0,02	3	0, 5	3	2,05
13.	0, 01	1	0, 25	5	2,68
14.	0,03	1	1	3	0,82
15.	0,05	1	0, 5	7	1,97
16.	0,02	1	0, 1	10	4,35

Материалы и методы

Объектом для исследований была выбрана культура *Chlorella sp.* Культивирование проводили в чашках Петри на агаризированной среде Тамия [3] в течение 10 суток на специальной установке при температуре +25 °С. Концентрацию биомассы, после смыва её с поверхностного слоя питательной среды в чашках Петри, определяли фотометрическим способом на фотоэлектроколориметре КФК-2 (длина волны 750 нм). Для этого предварительно строили калибровочный график зависимости экстинкции от концентрации биомассы.

Для реализации прерывистого освещения использовали светодиодные источники света, обеспечивающие малую инерционность зажигания и затухания светового импульса в сочетании со специально сконструированным генератором импульсов.

Для экспериментального определения параметров суперпозиционного освещения использована схема ортогональных латинских прямоугольников для 4 факторов на 4 уровнях. В ходе эксперимента варьировали длительность темнового периода и светового импульса низкочастотного освещения («медленной фазы») и высокочастотного освещения («быстрой фазы») (см. табл. 1).

Для технической реализации суперпозиционного освещения использовано специально разработанное программное обеспечение на основе компьютерной программы LabVIEW для регулирования длительности импульсов и интервалов между ними на универсальной много-

канальной установке.

Культивирование вели на чашках Петри, при условиях, описанных выше в течение 5 суток. Освещённость во всех опытных и контрольных образцах 5 клк. Начальная оптическая плотность $D_n = 0,01$. По окончании опыта делали смыв биомассы с чашек Петри и определяли оптическую плотность.

Результаты и обсуждения

Условия проведения опыта (длительности светотемновых периодов), а также затраты относительные удельные энергозатраты (постоянного освещения) приведены в таблице 1.

В этих экспериментах затраты электроэнергии в каждой вариантах опытов (в каждой строчке) оценивались как доля к постоянному режиму освещения, а накопление биомассы в опыте с постоянным освещением. Относительные удельные энергозатраты определяли как частное от деления этих двух величин (представлены в последнем столбце таблицы – безразмерная величина). Результаты показывают, что некоторые режимы суперпозиционного импульсного освещения (при длительностях $T_1 = 0,03$, $T_2 = 2,0$, $T_3 = 1$ с, $T_4 = 3$ с) позволяют получить снижение удельных энергозатрат на 18%, что уже является довольно существенной величиной.

Это показывает перспективность суперпозиционного режима освещения и целесообразность его проверки при других наборах соотношений длительностей световых импульсов и интервалов между ними, а также на других штаммах светозависимых микроорганизмов.

Работа выполнена в рамках выполнения государственного контракта № 14.515.11.0054 по теме: «Разработка научно-технических основ технологии энергоэффективной конверсии парниковых газов с помощью фототрофных микроорганизмов в полезные товарные продукты».

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. Богданов Н.И. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н.И. Богданов. - Пенза, 2-е изд. перераб. и доп., 2007. - 48 с.
3. Варфоломеев С.Д., Вассерман Л.А. Микроводоросли – источник биотоплива, пищевых, кормовых и лекарственных продуктов// Биотехнология, №2, 2011
4. Владимирова М.Г., Семененко В.Е. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. Издательство Академии наук СССР, 1962 г.
5. Глушук Л.П. Аппаратурно-технологическое оформление процесса культивирования цианобактерий *Spirulina*. Автореферат диссертации, Москва, 2000
6. Мальцевская Н.В., Бирюков В.В. Влияние прерывистого освещения на процесс роста фототрофного микроорганизма *Chlorella sp.*/ Биотехнология, 2011. – №1. – с. 47–52.
7. Мальцевская Н.В., Бирюков В.В. Мерцающий свет при культивировании микроводорослей как возможный способ снижения энергозатрат при очистки стоков и газовых выбросов/ Вода: химия и экология, 2011. – №2. – с. 13–17.
8. Мальцевская Н.В. Перспективы энергосбережения при биоутилизации газовых выбросов, содержащих CO_2 / Материалы Московской международной научно-практической конференции "Биотехнология: экология крупных городов", М.: ЗАО "Экспо-биохимтехнологии", РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010 – с. 108–109.
9. Минюк Г.С., Дробецкая И.В., Чубчикова И.Н., Терентьева Н.В. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс: обзор// Морской экологический журнал, №2, Г. VII. 2008. - с 5-23.
10. Фунгефиров М.И. Что нужно знать о газоразрядных лампах. М., "Энергия", 1968.

11. Шуберт Ф. /Светодиоды/ Пер. с англ. Под ред. А.Э. Юновича. - 2-е изд. - М.: Физматлит, 2008. - 496 с.
12. Borowitzka M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters //Journal of Biotechnology 70, 313-321. 1999.
13. Borowitzka, M.A., 1996. Closed algal photobioreactors: design considerations for large-scale systems. J. Mar. Biotechnol. 4, 185–191.
14. Chaumont D. Biotechnology of algal biomass production: a review of systems for outdoor mass culture// Journal of Applied Phycology 5: 593-604, 1993.
15. Graham, Linda E. Algae/ Linda E. Graham, Lee Warren Wilcox //Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, 2000.
16. Griehl C., Grewe C., Pfeiffer A. Patent WO2010063256 (DE) Verfahren zur herstellung von carotinoiden unter verwendung von Scenedesmus- oder Tetradesmus-zellen.
17. 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.
18. Yoshimura S., Ranjbar R., Inoue R., Katsuda T., Katoh S. Effective utilization of transmitted light for astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis* //Journal of Bioscience and Bioengineering. Vol. 2, No. 2, 97-101. 2006.
19. Emerson R., Arnold W. The photochemical reaction in photosynthesis / The Joynal of General Physiology. 1932
20. Graham, Linda E. Algae/ Linda E. Graham, Lee Warren Wilcox //Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, 2000.

К термодинамике растворов. Нелокальный подход

д.т.н., проф. Майков В.П., доц. Балунов А.И.

Университет машиностроения,

Ярославский государственный технический университет

8(4852) 44-66-23, balunovai@ystu.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности теории растворов в рамках обобщенной нелокальной (дискретной) термодинамики с привлечением шенноновской энтропии. Обобщение равновесной термодинамики получено на основе гипотезы о квантованности энтропии. На этой гипотезе сформулирован элементарный макроскопический термодинамический объем, который и положен в основу теории растворов. Теория позволяет отказаться от привлечения эмпирических уравнений типа законов Рауля и Дальтона в пользу обобщенного термодинамического метода.

Ключевые слова: нелокальная версия термодинамики, макроячейка, неидеальная система, активность, коэффициент активности

Основная идея обобщения классической термодинамики с отказом от концепции сплошной среды сводится к выдвигению гипотезы о квантованности энтропии с масштабом постоянной Больцмана. На этой основе вводится процедура макроквантования термодинамических параметров подобно использованию постоянной Планка для микроквантования в квантовой механике [1].

Обобщенная термодинамика носит макроквантовый и релятивистский характер и претендует на широкие обобщения. В частности, на ее основе удастся ввести дискретную пространственно-временную метрику. К примеру, такая теория, прогнозируя в области гипервысоких энергий планковские масштабы, объединяет в этом состоянии микро-, макро- и мегауровни.

Если классическая термодинамика постулирует наличие в элементе среды абстрактного