

БЛОК ЗА ОСВЕТЛЕНИЕ ЗА КОСМИЧЕСКА ОРАНЖЕРИЯ НА БАЗАТА НА МОЩНИ СВЕТОДИОДИ

Таня Иванова¹, Иван Дандолов¹, Димитър Димитров²,
Бойчо Бойчев¹, Огнян Петров¹, Йордан Найденов¹

¹Институт за космически изследвания - Българска академия на науките
²ХАРДСОФТДИЗАЙН ЕООД

LIGHT UNIT FOR SPACE GREENHOUSE BASED ON POWERFUL LEDs

Tania Ivanova¹, Ivan Dandolov¹, Dimitar Dimitrov²,
Boycho Boytchev¹, Ognyan Petrov¹, Yordan Naydenov¹

¹Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
²HardSoft Design LTD
e-mail: tivanova@space.bas.bg

Key words: space greenhouse, Illumination unit, powerful LED

Abstract: The basic requirements for the Illumination Unit (IU) of the future space greenhouses are: to maximize the luminous flux for better plant development ($350\text{--}400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), to work continuously, without failure at least two years, and to build it using light emitting diodes (LED), increasing design flexibility, and minimizing environmental impact. A IU with similar characteristics is in process of development by the Space Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences jointly with the Institute for Medico-Biological Problems (IMBP) – Moscow, in the frame of the project “Greenhouse – Mars” within “Mars-500” experiment. The Photosynthetic Active Radiation (PAR) should be in the boundaries of $350\text{--}400\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for the plant’s normal photosynthesis process to occur. During the research we made, we determined that for the realization of the IU we could use numerous low power LEDs (drive current up to 20 mA) or fewer powerful LEDs, capable of operating with higher drive current - up to 700 mA. To provide the necessary PAR we have chosen the powerful LEDs with higher radiation intensity. They dispense more thermal energy and have higher radiation angle, so compulsory cooling and correction of the radiation angle with a specialized optics will be necessary. Using the developed by us device for the experimental measurement of PAR we selected the most suitable LEDs available on the market - the new series of Cree XLamp XR LED. The combined radiation of red, green and blue LEDs, controlled by a DMX programming device connected with specialized DMX controllers would allow us to simulate different spectral ranges in order to experimentally determine the most suitable conditions for plant growth and optimal plant development.

Въведение

Осъществяването на пилотируем полет до Марс изисква решаването на многочислени проблеми, като ключов се явява проблема за медико-биологичното осигуряване на екипажа, поради това, че човешкият фактор в значителна степен предопределя възможността за успешно завършване на мисията, а в същото време точно човекът се явява и най-уязвимото звено в системата “екипаж – космически кораб”, поради въздействието на неблагоприятните фактори по време на полет. Именно част от тези проблеми ще се опита да реши експериментът Марс-500, който е в процес на активна подготовка в Института по медико-биологични проблеми (ИМБП) – РАН в Москва [1]. По време на експеримента шестима доброволци (на възраст 35-55 години) ще бъдат затворени за повече от 500 дни в наземен експериментален комплекс (НЕК), състоящ се от 5 свързани помежду си херметизирани модула със сумарен обем $550\ \text{m}^3$, като в един от модулите ще бъде разположена голяма оранжерия ($3\ \text{m}^2$). Екипажът на НЕК ще се намира в условия на изкуствена атмосферна среда при нормално барометрично налягане. По време на експеримента ще бъде проучено влиянието на моделираните условия на пилотируема експедиция до Марс върху здравето и работоспособността на екипажа; ще бъдат тествани съвременни технологии и средства за осигуряване нормалното съществуване на човека при подобни условия. В рамките на експеримента Марс-500 е и разработвания съвместен проект между Института за космически изследвания (ИКИ) – БАН и ИМБП – РАН, модул Блок за осветление (БО) за космическа оранжерия под названието “Оранжерия-Марс” [2]. Растенията са основен компонент на разработваните биологични системи за осигуряване на

живота на космонавтите, както като източник на храна, така и за пречистване на въздуха в кабината. Не на последно място е и положителното им психологично въздействие върху членовете на екипажа. Изискванията към блока за осветление на бъдещата космическа оранжерия са: ниско тегло, висока надеждност и дълъг живот. БО изграден на базата на светодиоди удовлетворява най-пълно горните характеристики, предвид тяхната по-голяма яркост, енергоефективност и дълъг живот (до 100 000 часа) в сравнение с конвенционалните източници за осветление.

Състояние на проблема

Разработването на БО за космически оранжерии на базата на светодиоди започва в САЩ през 90-те години за мисиите на космическите совалки [3]. Благодарение на бързото развитие на технологиите, свързани с изготвянето на светодиоди, в момента разполагаме с такива, осигуряващи достатъчно високи нива на осветеност за да позволят нормалното протичане на процесите на фотосинтеза. Светодиоди с максимум на излъчването около 650 nm се явяват възможно най-ефективния източник на фотони, осигуряващи безпроблемно протичане на фотосинтезата при нива на излъчване от порядъка на $0-500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Светлината от синята област на спектъра (400 - 500 nm) и с по-ниски нива на излъчване ($0-80 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) участва в фотоморфогеничните и фототропичните реакции на растението [4]. В този случай изискванията за осветеност могат да бъдат удовлетворени по-лесно. Установено е че, комбинация от червени и сини светодиоди осигуряват нормално протичане на развитието на растенията в установка с управляеми параметри на околната среда. Подобен БО с 90% червена и 10% синя светлина, осигурявана от светодиоди беше използван в американската космическа оранжерия ASTROCULTURE™ по време на 3 мисии на космическата совалка (STS-57, STS-63 и STS-73), а също и в модула ADVASC на Международната космическа станция [5]. Наземните изследвания на светодиоди с различни спектри, показаха недвусмислено, че комбинацията от червена и синя светлина се явява достатъчно ефективна за нормалното развитие на различни култури, а добавянето на зелена светлина придава на растенията вид по-близък до естествения, което е по-добре за екипажа от психологична гледна точка [6]. Допълнителен благоприятен ефект е че светлината с тази дължина на вълната прониква по-дълбоко в листната маса, усилвайки процесите на фотосинтезата в приземните части на растението. Американско експериментално изследване доказва, че растения осветявани със червени и сини светодиоди плюс допълнителна зелена светлина от флуоресцентни лампи произвеждат повече биомаса, отколкото растения отглеждани само под бяла флуоресцентна светлина [7].

Необходимо е да бъдат продължени изследванията в тази област, за да бъдат експериментално определени оптималните спектрални характеристики на бъдещия БО на базата на светодиоди, за да се постигнат максимални добиви от растенията.

Растителни видове, най-вече листови зеленчуци, ще бъдат отглеждани при различни спектрални характеристики. Проби за анализ ще бъдат взимани на определени етапи от развитие на растенията за изследване влиянието на светлинния интензитет и спектралното разпределение върху физиологичните параметри на растенията.

Техническите изисквания, към новия БО

Най-важното изискване към БО е висока надеждност за да се осигури непрекъснатата и безаварийна работа в течение поне на 18 – 24 месеца. Необходимо е да бъдат взети специални мерки за охлаждане, а също и да се поддържат постоянни електрическите и топлинните характеристики на модула БО.

- Размери на осветяваната площ - 33 x 33 cm за технологичния образец. БО с тези размери ще замени стария БО на наземната космическа оранжерия СВЕТ, в която смятаме да проведем изпитанията на новия блок. При тези размери за изграждане на 1 m^2 осветителна площ ще са необходими точно 9 подобни модула;

- Максимално разстояние от осветителния модул до осветяваната площ – 50 cm. Разстоянието ще може да се променя в границите на 50 -20 cm, със стъпка 10 cm, позволявайки, най-пълно да се използва светлинната мощност на блока при различните етапи на развитие на растенията.

- Количество необходима светлинна енергия за безпроблемно протичане на процесите на фотосинтеза (Photosynthetic Active Radiation – PAR) - в границите на $350-400 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

- Спектрални характеристики: син (450 nm), зелен (550 nm), червен (650 nm), $\pm 30 \text{ nm}$.

- Възможности за симулиране на следните спектрални диапазони, чрез промяна на интензивността на светене или броя светещи светодиоди:

- ✓ 50% син, 20% зелен, 30% червен;
- ✓ 30% син, 20% зелен, 50% червен;
- ✓ 10% син, 20% зелен, 70% червен;
- ✓ 10% син, 0% зелен, 90% червен;

Първоначално ще бъдат разработени 2 образца на БО за биотехнологични изпитания и подбор на оптимален спектър след анализи:

- технологичен - за Лабораторията на ИКИ-БАН;
- работен - за тренажора на ИМБП-РАН.

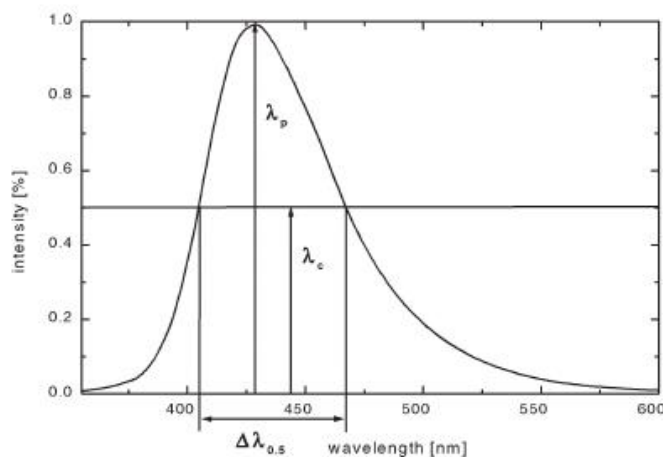
За обезпечаване на зададената стойност на PAR е необходимо прилагането на светодиоди с повишен интензитет и малък ъгъл на излъчване.

Симулирането на зададен спектрален диапазон се осъществява чрез комбинирано излъчване на сини, зелени и червени светодиоди. Тъй като интензитета на излъчване на диодите за съответните спектрални диапазони е различен, ще бъдат използвани различен брой светодиоди за отделните цветове.

Избор на светодиоди

Разработена бе установка за експериментално измерване на PAR, с помощта на която бяха направени серия измервания на интензитета на различни типове предлагани на пазара светодиоди. Тя се състои от два съосни цилиндъра с диаметър на външния - 11 cm, които се приплъзват и влизат плътно един в друг за да може да се променя разстоянието (от 10 до 50 cm) от светодиода до измерителния датчик на уреда (преносима система за измерване на фотоситезата LI-6400 - LI-COR, Lincoln, Neb.). На дъното на единия цилиндър е монтирана скоба за закрепване на осветителното тяло (LED-спот), а на дъното на другия – отвор с фиксатор за закрепване на датчика за измерване на светлинния интензитет.

На базата на направените измервания се спряхме на светодиоди от типа XLamp XR на американската фирма Cree, отговарящи най-точно на поставените технически изисквания [8]. Избраният вариант ще намали чувствително общия брой светодиоди и ще опрости конструкцията на блока за осветление. Диодите от типа XLamp XR LEDs са един от най-новите продукти от семейството XLamp LED. Този тип светодиоди могат да бъдат управлявани с токове от 350 mA (еквивалентно на мощност 1 W) до 700 mA (еквивалентно на мощност до 3 W), което позволява вариране на светлинния интензитет в достатъчно широки граници за постигане целите на планираните експерименти. На базата на дългосрочни тестове за надеждност и стандартизирани методи за прогнозиране, Cree гарантира, че светодиодите от тази серия ще запазят до 70% от светлинния си интензитет след 50 000 часа работа, при условие, че температурата на мястото на спойката не надвиши 80°C.



Фиг. 1.

Призматичната оптична система, разработена и патентована от Polymer Optics Ltd [9], която ще монтираме пред всеки LED спот, ще осигури добро смесване на светлината, създавайки тесен и хомогенен светлинен сноп. Система е съвместима с избрания от нас тип светодиоди XLamp XR LED на фирмата Cree.

Спектралното разпределение на LED се различава по много аспекти от конвенционалните източници на светлина. То не е монохроматично като това на лазера, нито със широк спектър, както при повечето източници на светлина с нажежаема жичка. Спектърът на LED има максимум с определена дължина на вълната, в зависимост от процеса на изготвяне, и типична ширина на спектъра при FWHM (full width at half maximum) от 15 до 60 нанометра (Фиг. 1) В този случай спектралната ширина на излъчване на LED при нормално разпределение ($\Delta\lambda_{0.5}$) се изчислява като се

намери разликата ($\Delta\lambda_{0.5}$) между дължините на вълните, с интензивност $\frac{1}{2}$ от максимума λ_p - съответно $\lambda'_{0.5}$ и $\lambda''_{0.5}$:

$$\Delta\lambda_{0.5} = \lambda'_{0.5} - \lambda''_{0.5}$$

За избраните от нас светодиоди от типа XLamp XR LED се получиха следните стойности на горните параметри:

LED (цвет)	λ_p	$\lambda'_{0.5}$	$\lambda''_{0.5}$	$\Delta\lambda_{0.5}$
Син	468	455	480	25
Зелен	525	505	545	40
Червен	632	625	640	15

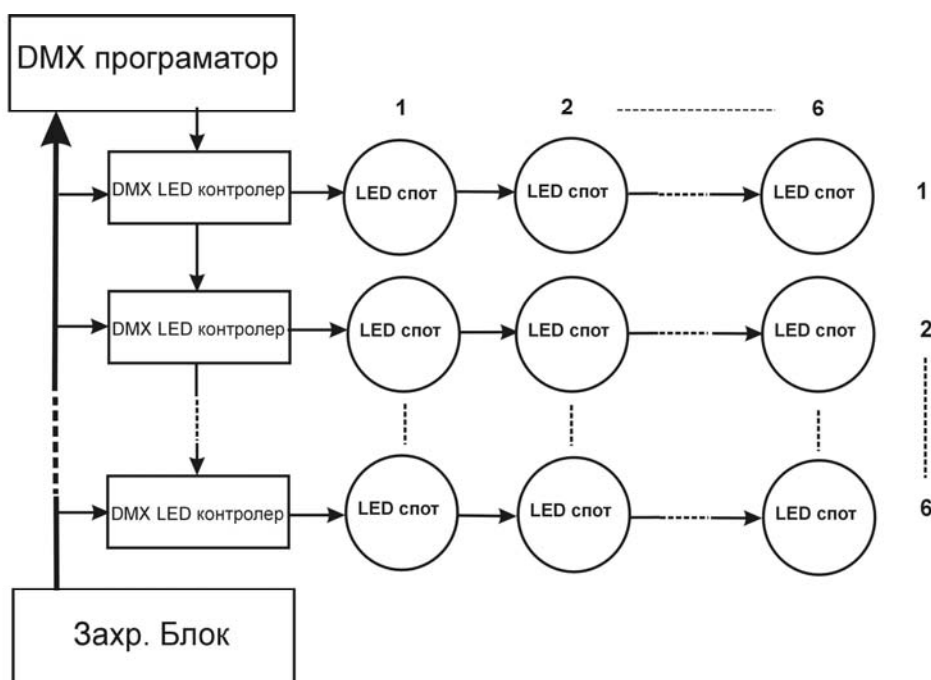
Получава се сравнително припокриване между зададените в техническите изисквания спектри и спектрите на светодиодите, които ще бъдат използвани в БО.

Конструкция и управление на БО

За да можем да опишем по-добре конструкцията и управлението на БО, който разработваме ще въведем следните основни понятия:

- **Светлинен източник (СИ)** – мощен LED с определен цвят (RED, GREEN, BLUE).
- **Елемент** – светлинен източник с уникален идентификационен номер (от 1 до 255). Възможно е няколко елемента да имат един и същ идентификационен номер.
- **LED спот** – осветително тяло съдържащо три елемента, разположени физически в един корпус.
- **Група** – множество от елементи, разпределени в едно или няколко осветителни тела, които се управляват по еднотипен начин. Възможно е да бъдат дефинирани до 255 отделни групи. Всеки елемент може да участва в една или няколко групи едновременно.

Механично блокът за осветление ще бъде изпълнен върху метална плоча с размери 33 см x 33 см, на която ще бъдат монтирани 36 LED спота, като бъдат предвидени съответните радиатори за охлаждане с цел поддържане на оптимална температура при непрекъснатата работа на осветителната система. БО ще използва стандартно захранване на фирмата Mean Well с мощност 500 W, 24 V, 0 ~ 20A [10], като в космически вариант ще бъде включен направо към бордовата система.



Фиг.2. Блоквата схема на системата за управление на БО

Разработеният DMX¹ програматор управлява шест DMX контролера. Към всеки DMX контролер са свързани по шест LED спота. 30 LED спота съдържат зелен, червен и син СИ, а 6 – по 3 червени СИ. Предложената схема на свързване позволява задаване на 255 различни нива на светлинния интензитет на всеки СИ. Всеки елемент може да принадлежи към една или няколко групи в зависимост от изискваната схема за осветление. Предвиден е механизъм за лесна промяна на елементите принадлежащи към всяка от групите.

Тази схема на работа осигурява варирането на спектралните характеристики и светлинния интензитет в широк диапазон, което ще позволи провеждане на много прецизни експерименти с различни култури и намирането на оптималните режими за всяка от тях.

В DMX програматора се записват серия инструкции за управление на спектралните характеристики и светлинния интензитет на БО по предварително зададен график. Всяка инструкция управлява определена група от елементи, като дава възможност елементите от останалите групи да запазват или променят състоянието си.

Основните параметри на една инструкция са както следва:

- Номер на инструкция (0-255);
- Номер на група (0-255);
- Код на стандартна програма (0-5);
- Брой повторения (1-255) – указва колко пъти да бъде повторена съответна инструкция;
- Начален интензитет RED, GREEN, BLUE (0-255);
- Краен интензитет RED, GREEN, BLUE (0-255);;
- Секунден интервал “Включено” (0-25.5 сек)
- Секунден интервал “Изключено” (0-25.5 сек)
- Начало на разрешен прозорец от астрономическо време (от 00:00 до 23:59);
- Край на разрешен прозорец от астрономическо време (от 00:00 до 23:59);
- Задаване на активни дни от седмицата – инструкцията се изпълнява само през активните дни

от седмицата

Стандартните програми за управление на БО

Програма 0 – Всички елементи на групата са в положение “изключено”.

Програма 1 – Елементите запалени с предишната инструкция запазват състоянието си. Всички елементи на групата светват с постоянен интензитет равен на началния интензитет за зададен интервал “включено”.

Програма 2 – Изгася всички елементи запалени с предишната инструкция. Всички елементи на групата светват с постоянен интензитет равен на началния интензитет за зададен интервал “включено”.

Програма 3 - Елементите запалени с предишната инструкция запазват състоянието си. Всички елементи на групата светват с постоянен интензитет равен на началния интензитет за зададен интервал “включено”, а след това биват изгасени за зададен интервал “изключено”.

Програма 4 - Изгася всички елементи запалени с предишната инструкция. Всички елементи на групата светват с постоянен интензитет равен на началния интензитет за зададен интервал “включено”, а след това биват изгасени за зададен интервал “изключено”.

Програма 5 - Елементите запалени с предишната инструкция запазват състоянието си. Всички елементи на групата светват с интензитет равен на началния интензитет за зададен интервал “включено”, а след това - с интензитет равен на крайния интензитет за зададен интервал “изключено”.

Програма 6 - Изгася всички елементи запалени с предишната инструкция. Всички елементи на групата светват с интензитет равен на началния интензитет за зададен интервал “включено”, а след това - с интензитет равен на крайния интензитет за зададен интервал “изключено”.

Резултатите от експериментите, които ще проведем с новия БО ще позволят да бъде създаден спектрално балансирана осветителна система на базата на светодиоди, за намиране на оптималното съотношение изразходвана енергия/добиви от отглежданите растения.

Перспективи за развитие на БО

В по-нататъшен етап се предвижда управлението на спектралните характеристики и светлинния интензитет на БО да се поеме от новата контролно-измервателна система ME-4610 (Meilhaus Electronic GmbH) свързана към КО СВЕТ. Така, в съответствие с концепцията за адаптивно управление на средата, тези параметри на БО ще могат да се променят без намесата на оператор.

¹ DMX (Digital Multiplex) – протокол за еднопосочен пренос на данни от DMX програматора към DMX контролери. Всеки контролер има два конектора **DMX in** и **DMX out**, което позволява последователното свързване към DMX програматора до 255 DMX контролера.

От друга страна, когато се налага “ръчно” управление на параметрите (при наземните експерименти), това ще става по-лесно и бързо и с по-малко грешки, ако се прави посредством дружелюбен програмен интерфейс. Графичното представяне на БО ще позволи директно избиране на области от него и промяна на параметрите на тези области. Може да се предвиди и симулация на резултатното осветление, което ще се получи с новите промени – както визуално, така и с конкретни характеристики на светлината, достигаща листната зона.

Благодарности

Изследванията са осъществени с помощта на частично финансирането от Договор КИ-1-01/03 с МОН. Авторите на статията изказват благодарност и на ръководството на БАН за включването на проекта “Оранжерея-Марс” в рамките на Спогодбата за сътрудничество по ЕБР между БАН и РАН в областта на Фундаменталните космически изследвания.

Литература:

1. О проекте “МАРС – 500”, <http://www.imbp.ru/Mars500/Mars500.html>
2. I v a n o v a T., V. Sychev. Project “Greenhouse - Mars” - Plant Growth Study with Different Spectra LEDs Light Units. Proceedings of the Second Scientific Conference with International Participation **SENS’2006**, 14-16 June 2006, Varna, Bulgaria, CD – Session 7/2; <http://www.space.bas.bg/astro/bulg.html>.
3. B u l a R.J., D.J. T e n n e s s e n, R.C. M o r r o w and T.W. T i b b i t s. Light Emitting Diodes as a Plant Lighting Source. Proceedings of International Lighting in Controlled Environments Workshop, NASA Conference Publication; Kennedy Space Center, Florida, USA, CP-3309, 1994, 255-268.
4. B u l a R.J. and R.W. I g n a t i u s. Providing Controlled Environments for Plant Growth in Space. International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems, Narita Japan, August 26-29, 1996.
5. Z h o u W., R.J. B u l a and N.A. D u f f i e. Performance Evaluation on the Commercial Plant Biotechnology Facility. SAE Technical Paper Series #981666, 28th International Conference on Environmental Systems, Danvers, Massachusetts, July 13-16, 1998.
6. F o l t a K.M., L.L. K o s s, R. M c M o r r o w, H.H. K i m, D. K e n i t z, R.M. W h e e l e r and J.C.S a g e r. Design and Fabrication of Adjustable red-green-blue LED Light Arrays for Plant Research. BMC Plant Biology 2005, 5:17.
7. K i m H.H., G.D.G o i n s, R.M. W h e e l e r and J.C. S a g e r. Green-light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-light-emitting Diodes. HortScience 39(7):1617-1622, 2004.
8. D a t a s h e e t f o r C r e e® X L a m p® X R L E D, <http://cree.com/products/pdf/XLamp7090XR.pdf>
9. P o l y m e r O p t i c s L i m i t e d, Narrow Angle LED Colour Mixer Assembly, <http://www.polymer-optics.co.uk/Cree%20Colour%20Mixer%20Range.pdf>
10. M e a n W e l l E n t e r p r i s e s C o. L t d., 480W Single Output with PFC Function, <http://www.meanwell.com/search/SP-500/default.htm>