

гими свойствами. Со стороны размещения ламп полоса несет отражающее свет покрытие. Для крепления патронов ламп корпус может быть армирован жесткими ребрами, располагаемыми с внутренней его стороны на выступах, соответствующих углублениям, в которых размещены лампы. С внешней стороны корпус может нести на себе рассеиватель из гибкого полимерного материала.

Управлять положением гибкого корпуса удобно посредством плоской пружины, установленной с внутренней стороны корпуса, стягиванием или отпусканием ее концов с помощью наматываемых на катушку поводков. Возможно отдельное управление половинами корпуса, что позволяет по-разному изменять направление светового потока от двух половин светильника.

Светильник с гибким корпусом желательно оснащать люминесцентными лампами небольшой мощности с групповым пускорегулирующим аппаратом и применять в качестве бра, торшера, настольного светильника.

1. Патент США №5036253, МПК Н 05 В 41/29, 1991.
2. Патент США №5043635, МПК Н 05 В 37/02, 1991.
3. Патент США №5038079, МПК Н 05 В 37/02, 1991.
4. Патент США №4796169, МПК F 21 V 17/02, 1989.
5. Патент США №3738007, МПК F 21 V 21/02, 1989.
6. А.с. СССР №1526217, МПК F 21 S 21/00, 1989.
7. Заявка Великобритании №2219884, МПК G 09 F 19/2, Н 05 В 37/00, 1989.

*Получено 21.01.2002*

УДК 581.132

І.А.ВЕЛИТ, Г.М.КОЖУШКО, канд. техн. наук, Т.В.САХНО  
ВАТ "Полтавський завод газорозрядних ламп"  
С.В.ГАВРИШ  
ВАТ СКТБ "Ксенон", м.Полтава

### **ДЖЕРЕЛА СВІТЛА ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА**

Приводяться спектри ламп, що використовуються для світлокультури рослин. Для регулювання спектрального складу випромінювання установок запропоновано використання різних джерел світла.

Світло є одним з найбільш сильних факторів зовнішнього середовища, що бере участь у фізіологічних функціях рослин. Сонячна радіація, яка досягає поверхні землі, має спектральний склад випромінювання в інтервалі 300-3000нм. Фізіологічно активне для рослин випромінювання, при якому відбуваються фотосинтез, біоценоз пігменту, фотоморфогенез та інші процеси, знаходиться в інтервалі 300-800нм, а спектр поглинання фотосинтетичної активної радіації (ФАР) – в облас-

ті 400-700нм. Причому в області ФАР виділяють три фізіологічно значущі спектральні підобласті: синю (400-500 нм), зелену (500-600 нм) і червону (600-700 нм). Дослідженням дії спектрального складу світла на фотосинтез, ріст і продуктивність рослин присвячено багато робіт [1-10], але це питання залишається актуальним і на сьогодні.

На основі узагальнення результатів досліджень можна зробити ряд висновків:

*Синє світло (СС) (400-500 нм)* гальмує ріст стебла, черешків і площі листя. На синьому світлі в листах рослин виявляється значно більша кількість інгібіторів росту (абсцизової кислоти) в порівнянні з рослинами, вирощеними на червоному й зеленому світлі, що є причиною утворення укорочених стебел та більш товстих, але дрібних листів [2]. Число клітин і хлоропластів та рівень фотосинтезу на одиницю поверхні листа найбільш високої, але через малу листову поверхню навіть більш висока інтенсивність фотосинтезу на синьому світлі не здатна компенсувати гальмування ростових процесів. СС більше активує протеїназну активність мембран тилакоїдів *in vitro*, ніж червоне світло (ЧС), причому це спостерігалось як без додавання екзогенних субстратів фосфорилування, так і при додаванні гістону H1 як субстрату [3]. При опроміненні СС не була встановлена видова специфіка реакції мезоструктури. СС, як і червоне світло, збільшує вміст рибозиду зеатину [4,5].

*При зеленому світлі (ЗС) (500-600 нм)* формуються витягнуті осьові органи з меншим числом клітин і хлоропластів і найбільш низьким фотосинтезом на одиницю поверхні листа, але більш високим в перерахунку на хлоропласт. Продуктивність рослин при ЗС є низькою. Регуляторна дія ЗС близька до регуляторної дії ЧС. Порогові значення дози освітлення, з яких починає виявлятися дія фітохром, для ЗС вище, ніж для червоного [6]. ЗС впливає на ріст рослин. Це виявляється в затримці розподілу і розтяганні кліток, що значною мірою зв'язано з особливостями в становленні гормонального балансу. Регуляторна дія ЗС на фотосинтез виявляється на ранніх етапах формування хлоропласта. У цілому ЗС дає зменшення біологічної продуктивності листа і всієї рослини [7].

*Червоне світло (ЧС) (600-700 нм, особливо важлива область 625-680нм)* сприяє інтенсивному росту листя і осьових органів. ЧС знижує як активність, так і вміст індолілукусусної кислоти, збільшуючи при цьому рівень активності гіббереллінів і вміст рибозиду зеатину [3]. Три тривалій дії червоних променів на лист деструктивні зміни пов'язані в цілому з процесами деградації стовпчастої паренхіми, тоді як убчата паренхіма страждає менше, а для окремих видів рослин (соня-

пник) вона бере на себе основне функціональне навантаження. У рослин огірка наставала адаптація до червоного світла, оскільки в листях верхнього ярусу, що сформувалися, структура хлоропластів практично не відрізнялася від такої на білому світлі [8]. На червоному світлі клітини мали великий розмір, у них раніше починалася реплікація хлоропластних ДНК, а також розподіл хлоропластних нуклеїдів порівняно з клітинами рослин, вирощених на СС [9]. Високий ростовий ефект стимулюється фоторецептором ЧС – фітохромом. Відсутність або низька інтенсивність випромінювання у червоній області спектра визначає формування неповноцінних дегенеративних органів, що дають низький врожай [2].

Таким чином, кожна з трьох основних областей ФАР, взята окремо, малопридатна для вирощування рослин, і тільки випромінювання з визначеним співвідношенням енергії за спектром для даної рослини або з широкосмуговим спектром, що відповідає спектру поглинання рослин, може забезпечити вирощування повноцінних рослин. Усереднений спектр поглинання листя рослин приведений на рис.1 [10].

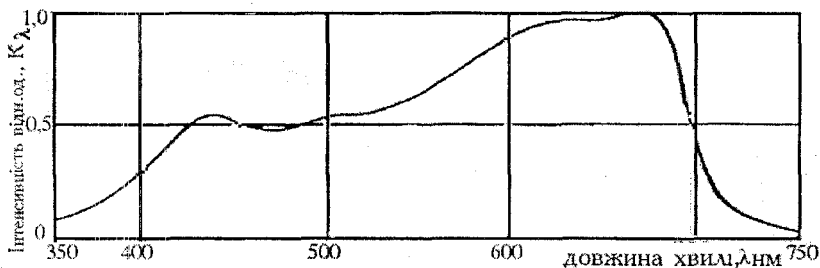


Рис.1 – Усереднений спектр поглинання ФАР листями різних видів рослин (61 вид)

Рівень впливу "якості" світла на фотосинтез і ростові процеси неоднаковий. Швидкість фотосинтезу при вирощуванні рослин у червоній, зеленій або синій ділянці спектра змінюється на 25-30%, а різниця в ростових процесах і накопиченні біомаси може складати 50-90% [11].

У зв'язку з великою значущістю якісних характеристик світла для рослинництва останнім часом підвищуються вимоги не тільки до світлової ефективності й довговічності, але і до спектрального складу штучних джерел світла.

На сьогодні для світлокультури рослин застосовують широкий асортимент джерел світла: лампи розжарювання, розрядні лампи низького тиску, розрядні лампи високого тиску.

Лампи розжарювання через свою низьку світлову ефективність не знаходять широкого використання [12], але для збільшення доли червоного випромінювання можуть застосовуватися при сумісній експлуатації з іншими джерелами світла. Спектр ламп приведений на рис.2, а-1.

Розрядні лампи низького тиску (люмінесцентні лампи) (ЛЛ) мають відносно високу світлову ефективність і широкі можливості для регулювання спектрального складу випромінювання за рахунок застосування різних люмінофорів. Термін роботи ламп в 10-15 разів перевищує цей показник для ламп розжарювання і складає 12000-15000 годин. Головний недолік цих ламп – низька одинична потужність, що потребує застосування великої кількості ламп [13,14]. Спектри випромінювання деяких типів люмінесцентних ламп наведені на рис.2,б.

Розрядні лампи високого тиску (ксенонові, ртутні, металогалогенні, натрієві) завдяки високій світловій ефективності й довговічності набули найбільш широкого вжитку.

Ксенонові лампи високої інтенсивності мають спектр випромінювання, який найближче з усіх джерел нагадує сонячний (рис.2,а-2). Головні недоліки цих ламп – висока вартість, складна схема живлення, відносно низький ККД. Лампи мають низький термін роботи – від 500 до 2000 годин [13,14].

Ртутні лампи високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі (ДРЛФ). Ці лампи мають лінійчатий спектр з великими інтервалами між лініями. Максимальне випромінювання приходить на зелену (500 нм) й синю (436 нм) області спектра. Через відсутність у спектрі цих ламп випромінювання в червоній (640-680 нм) області спектра вони малопридатні для вирощування рослин при штучному опромінуванні. Дослідження показали, що при опроміненні такою лампою рослини пшениці не наливають зерно, спостерігається стерильність пелюці, погано ростуть люцерна, овес, томати, перець та ін. [9]. Але ці лампи знаходять широке використання для освітлення розсади огірків і томатів у теплицях як джерело синьо-фіолетової радіації, якої недостатньо в сонячному спектрі в зимову пору року [12]. Розсада, вирощена із застосуванням цих ламп, має короткі стеблі й черешки, збільшену пластину листа з високим вмістом хлорофілу. Лампи мають низький ККД, по ФАР – 12% [11,13,14]. Лампи типу ДРЛФ надійні, термін їх експлуатації ~10000-12000 годин, мають високу стабільність, спектр випромінювання суттєво не змінюється при зміні типового режиму, напруги мережі й терміну експлуатації. Спектр цих ламп показаний на рис.2,в.

*Натрієві лампи високого тиску* є одним з найбільш ефективних джерел світла. ККД для цих ламп в області ФАР досягає 28-30%. Лампи дуже надійні (середній термін роботи перевищує 10000-12000 годин), мають високу стабільність. Вони випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектра. У спектрі суттєво недостає синього й червоного випромінювання, що є головним недоліком цих ламп. Регулювання спектрального складу випромінювання натрієвих ламп можливе не тільки за рахунок зміни тиску парів натрію: при збільшенні тиску парів натрію має місце розширення резонансних ліній натрію і покращення розподілу випромінювання за зонами, але при цьому значно зменшується ККД (до 20-15%) [13,14,15,16]. Спектр цих ламп наведений на рис.2,д.

*Металогалогенні лампи (МГЛ) високого тиску* мають широкі можливості для регулювання спектра випромінювання за рахунок введення в розряд різних елементів. На сьогодні вони виробляються майже всіма провідними фірмами МГЛ для рослинництва. ККД цих ламп в області ФАР сягає 20-25% при досить ефективному спектральному складі випромінювання (рис.2,д). Головний недолік цих ламп – низька стабільність світлових параметрів у процесі експлуатації, залежність ККД і спектрального складу випромінювання від напруги мережі живлення (від спожитої потужності, що визначає тепловий режим і, відповідно, тиск парів випромінюючих елементів у розрядній трубці) [17,18]. МГЛ мають відносно невеликий як для розрядних ламп термін роботи – 4000-6000 годин [13,14]. Найтиповіші МГЛ (типу ДРИ), що виробляються в промислових обсягах, мають наповнення галогенідів металів трьох типів: Na, Tl, In; Na, Sc Th та галогенідів рідкоземельних елементів, наприклад, Dy, Ho, Tl та ін. Спектри цих типів ламп приведені на рис.2,д. У табл.1 подані оптимальні значення спектрального складу випромінювання для вирощування огірків сорту "Московський тепличний" та томатів сорту "Старфайер" за даними [19].

Таблиця 1 – Рекомендований склад випромінювання для вирощування огірків сорту "Московський тепличний" і томатів сорту "Старфайер"

Культура	Випромінювання в діапазонах спектру, %		
	400-500нм	500-600нм	600-700нм
Огірки	15-20	35-40	40-45
Томати	10-20	15-20	60-75

З усіх приведених джерел штучного світла тільки ксенонові лампи (ДКСТ-5000, ДКСТВ-6000, ДКСТ-20000) за спектральною характеристикою в області ФАР близькі до сонячного світла (рис.2,а-3) і мають майже рівноенергетичний спектр. Для інших джерел необхідне

коригування спектрального складу випромінювання [19]. Це можна зробити багатьма способами. Одним з найбільш простих і доступних для практичної діяльності є сумісне використання в опромінювальних установках різних джерел світла. Ця наша робота являє собою спробу розрахунково-експериментальним шляхом оцінити зміни потоку випромінювання в спектральних діапазонах фітобіологічних процесів при спільному використанні в опромінювальних установках декількох джерел світла. Типи ламп і їх параметри наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Розподіл випромінювання в спектральних діапазонах ФАР

Тип лампи	Випромінювання в діапазонах спектру					
	400-500нм		500-600нм		600-700нм	
	а	б	а	б	а	б
Лампа розж.	0,012	10,2	4,0	31,8	7,2	57,9
ДРЛФ	0,04	28,4	0,08	49,8	0,03	21,8
ЛЛ біла	0,08	23,8	0,06	37,7	0,08	38,5
ЛЛ денна	0,06	35,0	0,1	36,6	0,11	28,4
ДНаГ 400	0,04	10,7	0,2	52,0	0,07	37,3
Ксенонова високого тиску	0,05	38,2	0,04	29,7	0,05	32,1
МГЛ (Na,Tl,In)	0,06	25,1	0,13	49,8	0,06	25,1
МГЛ (Na,Sc,Th)	0,11	33,4	0,16	46,4	0,07	20,3
МГЛ(Dy,Ho,Tl)	0,08	27,5	0,15	48,0	0,08	24,6

Потік випромінювання  $\Phi$  в інтервалі спектра, наприклад,  $\lambda_1 \div \lambda_2$  при використанні в освітлювальній установці  $n$  джерел світла може бути знайдений так:

$$\Phi = \sum_{i=1}^k ((\Phi_{1\lambda_i}(\lambda) + \Phi_{2\lambda_i}(\lambda) + \dots + \Phi_{n\lambda_i}(\lambda)) \times \Delta\lambda,$$

де  $\Phi_{1\lambda_i}(\lambda), \Phi_{2\lambda_i}(\lambda), \dots, \Phi_{n\lambda_i}(\lambda)$  – спектральна щільність потоку випромінювання 1-ї, 2-ї, ...  $n$ -ї лампи в кінцево-малих спектральних інтервалах.

Залежність  $\Phi(\lambda)$  аналітично виразити важко, тому при циклічних розрахунках використовують чисельне інтегрування.

У табл.2 приведені розрахункові параметри потоку випромінювання в синій, зеленій і червоній областях спектра для деяких джерел світла: а – орієнтовна ефективність випромінювання,  $Вт_{\text{випромінювання}} / Вт_{\text{спожитої електроенергії}}$ ; б – доля випромінювання в приведеному спектральному діапазоні, %. Експериментальні перевірки розрахункових даних знайшли задовільну точність (розходження не перевищувало 10%).

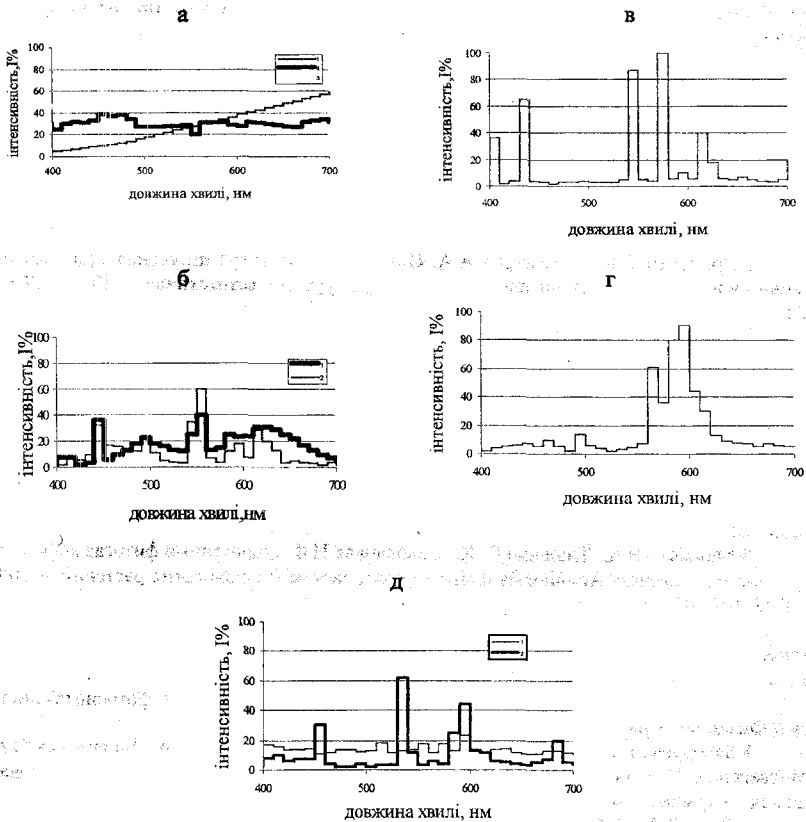


Рис.2 – Спектри випромінювання ламп різних типів в діапазоні 400-700нм:  
 а) лампа розжарювання-1, ксенонова лампа високого тиску-2, сонячний спектр-3;  
 б) люмінесцентна лампа “білого” світла-1, люмінесцентна лампа “денного” світла-2;  
 в) ртутна лампа високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі; г) натрієва лампа високого тиску; д) металогалогенні лампи з добавками галогенідів-1-Na, Sc, Th, 2-Na, Tl, In.

Слід враховувати, що для розрядних ламп цілий ряд факторів може суттєво впливати як на інтегральний променистий потік, так і на спектральний склад випромінювання. Так, для металогалогенних і натрієвих ламп спектральний склад випромінювання залежить від теплового режиму пальника, який, в свою чергу, залежить від потужності, конструкції опромінювальної установки, положення горіння ламп, терміну її роботи і т.д. При відомих закономірностях зміни спектрально-

го складу випромінювання для кожного з джерел можна розрахувати спектральний склад опромінювальної системи в різних режимах експлуатації і планувати цей параметр у процесі всього терміну роботи установки.

Таким чином, шляхом спільного використання різних джерел світла в опромінювальних установках можна регулювати спектральний склад випромінювання в широких діапазонах. Цей шлях є найбільш простим і доступним для практичної реалізації.

1. Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры // Светотехника. – 1992. – №3. – С.5.
2. Протасова Н.Н., Уеллс Дж.М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т.37, №2. – С.386.
3. Романко Е.Г., Селиванкина С.Ю., Дроздова И.С., Воскресенская Н.П. Влияние синего и красного света на протейкиназы, связанные с мембранами тилакоидов хлоропластов // Физиология растений. – 1991. – Т.38, №1. – С.45.
4. Карначук Р.А., Негрецкий В.А., Головацкая И.Ф. Гормональный баланс листа растений на свету разного спектрального состава // Физиология растений. – 1990. – Т.37, №3. – С.527.
5. Карначук Р.А., Тищенко С.Ю., Головацкая И.Ф. Эндогенные фитогармоны и регуляция морфогенеза *Arabidopsis thaliana* синим светом // Физиология растений. – 2001. – Т.48, №2. – С.262.
6. Шапиро Т.Е., Зайцева Т.А. Фитохромная регуляция формирования фотосинтетического аппарата проростков пшеницы в зависимости от дозы предосвещения // Физиология растений. – 1991. – Т.38, №1. – С.40.
7. Карначук Р.А. Регуляторное влияние зеленого света на рост и фотосинтез листьев // Физиология растений. – 1987. – Т.34, №4. – С.765.
8. Заворуева Е.Н., Ушакова С.А., Волкова Э.К., Тихомиров А.А., Могильная О.А., Медведева С.Е. Тонкая структура хлоропластов листьев огурца и гороха, сформированных на красном свете // Физиология растений. – 2000. – Т.47, №6. – С.843.
9. Лось Д.А., Закледер В., Кушцова Е.С., Ксенофонтов А.Л., Маркелова А.Г., Шагипузов Ю.М., Семененко В.Е. Влияние спектрального состава света на репликацию хлоропластной ДНК и деление хлоропластных нуклеоидов зеленой водоросли *DUNALIELLA SALINA* // Физиология растений. – 1990. – Т.37, №6. – С.1045.
10. Tazawa S. Effects of various radiant sources on plant growth. Pt 1 // JARQ. – 1999. – V.33, N 3. – P. 163.
11. Спринчану К., Бутенко Р.Г. Влияние спектрального состава света на рост и развитие черенков полыни лимонной *IN VITRO* // Физиология растений. – 1991. – Т.38, №3. – С.765.
12. Сарыгчев Г.С. Облучательные светотехнические установки. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 241 с.
13. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 427 с.
14. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М. Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
15. Кожушко Г.М., Велит І.А., Сахно Т.В. Дослідження спектральних характеристик натрієвих ламп з покращеними екологічними властивостями для вирощування ово-



чів в закритому ґрунті // 36. наукових праць Полтавського педагогічного університету імені В.Г.Короленка. Серія "Екологія. Біологічні науки. – 2001. – №3 (17). – С.129.

16.Петренко Ю.П., Федюнькин Д.Б., Бахнова К.В. Совершенствование источников излучения для растениеводства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1994. – №7. – С. 23.

17.Рохлин Г.Н., Кожушко Г.М. Характеристики металлогалогенных ламп с различным наполнением // Светотехника. – 1982. – №11. – С.1.

18.Ашурков С.Г., Коптелов И.В., Минаев И.Ф., Прытков Ю.А., Сарычев Г.С. О безртутных металлогалогенных лампах для растениеводства // Светотехника – 1992. – №12. – С.10

19.Сарычев Г.С. Продуктивность ценозов огурцов и томатов в функции спектральных характеристик ОСУ // Светотехника. – 2001. – №2. – С.27.

*Отримано 21.01.2002*

УДК 628.974.7

С.Л.БУХАРИН, канд. техн. наук

*Харьковская государственная академия городского хозяйства*

### **ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОВОДОВ В УСТАНОВКАХ НАРУЖНОЙ РЕКЛАМЫ**

Рассматривается вопрос о применении гибких стеклянных световодов для создания световых рекламных установок.

Современный город трудно представить без световой рекламы, которая, кроме своей основной функции, создает многоцветную динамичную световую среду. Световая реклама в наших городах развита слабо. В настоящее время преобладают рекламные установки с применением софитов с маломощными галогенными лампами, освещающих с небольшого расстояния рекламные плакаты и вывески. Широко используются "лайт боксы" – световые коробки, освещаемые изнутри люминесцентными лампами, и очень мало – газосветные рекламные установки.

Газосветные рекламные установки, обычно называемые неоновой рекламой, имеют ряд достоинств, позволяющих использовать их гораздо шире. Такие установки обладают широкой гаммой возможных цветовых решений. Схемы электропитания позволяют довольно просто осуществить разнообразные динамические эффекты. Газосветная реклама потребляет относительно небольшие мощности. Например, световая линия из газосветных ламп длиной в 12 м потребляет всего 120 Вт. Вместе с тем у газосветной рекламы имеются и недостатки. В производстве газосветных рекламных установок много ручного труда, что увеличивает их стоимость. Питание ламп требует напряжения 3-10 кВ, что повышает требования к технике безопасности при наладке и обслуживании этих установок. Изменение цвета или формы реклам-