

## ОПРОМІНЕННЯ ОВОЧІВ В УМОВАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА З ВИПРОМІНЮЮЧИМИ ДОБАВКАМИ

**I. А. Велит**

Полтавський державний аграрний університет

**ORCID: 0000-0002-7872-5007**

В роботі розглянуті особливості використання джерел штучного освітлення з ефективним спектральним складом випромінювання для умов закритого ґрунту. Досліджувались високоінтенсивні натрієві лампи (ДНАТ400), високоінтенсивні джерела зі складом амальгами натрію з добавками цезію (Hg-20 %, Na-7 5%, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %). В результаті експериментів визначено, що спектральний склад випромінювання ламп з добавками Cs, K, Rb має меншу інтенсивність випромінювання в порівнянні зі стандартними натрієвими лампами високого тиску (ДНАТ) в області 500-600 нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700 нм) та ближній інфрачервоній областях. В експерименті були використані томати, які були додатково освітлені лампами ДНАТ400, високоінтенсивними джерелами світла с наповненнями розрядної трубки (20ат. % Hg, 77ат. % Na, 3ат. % Cs20); (20ат. % Hg, 75ат. % Na, 5ат. % Cs); (20ат. % Hg, 73ат. % Na, 7ат. % Cs); (20ат. % Hg, 70ат. % Na, 10ат. % Cs). Встановлені відмінності в реакціях рослин томатів на накопичення пігментів та їх співвідношення. Сумарний вміст хлорофілу у помідорах при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з добавками цезію є вищим в 1,4÷2,5 рази, ніж при опроміненні ДНАТ400. При додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20ат. % Hg, 75ат. % Na, 5ат. % Cs), вирощування рослин томатів на перших етапах розвитку є найбільш ефективним.

**Ключові слова:** рослини томатів, закритий ґрунт, високоефективні джерела світла, цезій.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Підвищення врожайності продукції в умовах закритого ґрунту одна з важливіших задач виробників. Вирішення цієї задачі можливо за рахунок використання нових технологій та спеціальних енергоефективних джерел світла для світлокультури рослин.

Найважливішим завданням досягнення прибуткового виробництва овочів в умовах закритого ґрунту є встановлення і оптимізація основних параметрів оптичного випромінювання (спектр, освітлення, фотоперіод). На даний час застосовують різноманітні технології вирощування рослин в тепличних господарствах. Для підвищення врожайності використовують світлодіоди (LED), які мають спектральний діапазон від ближнього інфрачервоного (ІЧ) до ближнього ультрафіолетового (УФ), широко застосовують, як в якості основного, так і додаткового освітлення. Вони можуть бути налаштовані для конкретних культур, оптимізовані для максимальної продуктивності без значних витрат енергії. Автори в роботі [1] показали, що ріст томатів був підвищений за рахунок впливу спектрального випромінювання світлодіодів додаткового ультрафіолетового (380 нм) світла з основними синім, червоним світлом. Але така технологія високо коштувна, її використовують не часто.

Застосування високоефективних джерел світла з поліпшеним спектральним складом випромінювання дає змогу підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки систем для опромінення рослин в тепличному господарстві. Як відомо, натрієві ламп високого тиску (НЛВТ) є одні з найефективніших джерел світла. НЛВТ мають найвищу світлову віддачу 100-150 лм / Вт, ККД цих ламп в області фотосинтетичної активності радіації (ФАР) досягає 27%, що в 1,4-2 рази більше, ніж люмінесцентних ламп низького тиску, в 2,2-2,5 рази більше, ніж ламп високого тиску, типу ДРЛФ та ксенонових ламп, в 7-

8 разів більше за ККД ламп розжарювання. Лампи дуже надійні (середній термін роботи перевищує 12000 годин), мають високу стабільність. Спектр випромінювання НЛВТ містить досить розширені лінії натрію. Натрієві лампи високого тиску випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектру. [2]. В спектрі суттєво не вистачає синього та червоного випромінювання, що є головним недоліком цих ламп.

Науковцями досліджувались процеси в НЛВТ та з'ясувалися шляхи їх вдосконалення. В роботі [3] проведено аналіз факторів, що впливають на параметри НЛВТ. Виходячи з того, що випромінювання НЛВТ в ІЧ області спектру складає 32 %, а випромінювання D-дуплету Na – 25 %, зміна спектрального складу випромінювання можлива за рахунок зменшення частки ІЧ випромінювання, або за рахунок зменшення теплового потоку з відповідним перетворенням енергії в видиме випромінювання. Фактори, котрі впливають на перерозподіл енергії між складовими енергетичного балансу є діаметр розрядної трубки, температура її стінок і температура розряду. Взаємозв'язок цих факторів потребує їх оптимального вибору.

Поліпшення спектрального складу може бути досягнуто введенням у склад амальгами добавок лужних металів. Такі дослідження проводились і представлені в роботах [4, 5, 6]. Автори використовували лужні метали калій, рубідій, цезій, потенціал іонізації близькій до  $\phi_{Na}$ . Резонансні лінії випромінювання цих металів лежать у ближній інфрачервоній ділянці. Термодинамічні властивості складних амальгам розглянуто в роботі [7]. У натрієвих ламп високого тиску (ДНАТ400) джерелом випромінювання виступає амальгама натрію, зі вмістом натрію (25±1) ваг.%. Така амальгама характеризується точкою плавлення 60-63°C. При температурах нижче 34 °C із такої амальгами виділяється металод Na<sub>3</sub>Hg. Введення третього

компонента, лужного металу, у натрієву амальгаму веде до зміни температур плавлення, які можуть змінюватися в широких межах залежно від співвідношення в сплавах натрію й лужного металу.

Метою роботи є дослідження спектральних характеристик джерел штучного освітлення з ефективним спектральним складом випромінювання для світлокультури рослин. Обґрунтування вибору амальгами високоінтенсивних джерел світла з добавками лужних металів цезію, калію, рубідію. Встановити відмінності в реакції рослин томатів на накопичення пігментів та їх співвідношення при додатковому освітленні лампами ДНАТ 400, високоінтенсивними джерелами світла з наповненнями розрядної трубки (20ат.%Hg, 77ат.%Na, 3ат.%Cs20); (20ат.%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs); (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs). Запропонувати високоінтенсивні джерела світла з визначеними добавками цезію в амальгамі для вирощування томатів для мовох закритого ґрунту.

#### МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Однією з перспективних груп металів-добавок є лужні метали-літій, калій, рубідій і цезій. Резонансні лінії випромінювання цих металів (крім літію) лежать у ближній інфрачервоній ділянці. Однак спектри випромінювання цих металів мають багато ліній у червоній ділянці спектру з порівняно низькими потенціалами збудження цих ліній. До того ж фізико-хімічні характеристики цих металів багато в чому близькі до таких, як натрій; тому введення в розряд навіть невеликих добавок лужних металів призводить до істотних змін спектрів випромінювання.

Лампи з добавками літію пропрацювали досить нетривалий час через високу активність літію стосовно полікору (через кілька годин роботи на поверхні розрядної трубки з'являються тріщини і лампи виходять з ладу), хоча спектр випромінювання ламп і містив велику кількість випромінювання в червоній ділянці спектру – резонансні лінії літію лежать у червоній ділянці і (610.4 і 670.8 нм).

Досліджувались натрієві лампи високого тиску з розрядними трубками з полікристалічного окису алюмінію – зовнішній діаметр 8,9 мм, міжелектродна відстань – близько 85мм, наповнювались 25 мг амальгами і ксеоном при холодному тиску близько 20 мм.рт.ст. Склад амальгами натрію з добавками: цезію (Hg-20 %, Na-75 %, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %).

Амальгами Na - Hg - Me були виготовлені з точністю дозування основних компонентів  $\pm 0,5$  %. Для одержання амальгами використовувались натрій високої чистоти (ТУ-48-03-54-79) і ртуть марки Р – 000. Вміст добавок в амальгамі був від 1 до 10 ат.%. Усього виготовлялося по 5 зразків ламп з амальгамою кожного складу. Для стабілізації електричних світлових параметрів лампи перед вимірами відпалювались протягом 100 годин. Вимір електричних та світлових параметрів проводили відповідно до [8]. Похибка виміру електричних і світлових параметрів не перевищує 5 %. Виміри спектральних характеристик проводили за допомогою спектрометра ИСП-51 із приймачем – ФЭУ-22 (чуттєвий у діапазоні 400-1200 нм), реєстрацію фотострумів – за допомогою потенціометра КСП-4 та цифрового вольтметра В7-27. Градування установки по спектральній чутливості проводилась за допомогою лампи СИРШ-8,5-200 вольфрамовою стрічкою. Виміри параметрів ламп проводились при зміні потужності лампи  $P_d$  від 250 до 600 Вт, перекриваючи діапазон традиційних для стандартних НЛВТ питомих потужностей ( $P_1 = 40 \pm 60$  Вт/см).

Об'єктом дослідження служили рослини томатів. Рослини опромінені світлом ламп із різним спектральним складом випромінювання. Фотоперіод склав 16 годин. Рослини опромінювались протягом 28 днів. Як джерела світла були обрані натрієві лампи високого тиску з добавками цезію, а також для порівняння, натрієві лампи високого тиску ДНАТ400. Інтенсивність опромінення складала 120 Вт/м<sup>2</sup>. Вміст пігментів визначали спектрофотометричним методом з використанням спектрофотометра UV-Vis (UV-1800; Shimadzu). Концентрація хлорофілу була розрахована з використанням рівнянь, отриманих автором [9].

В результаті проведених експериментів отримані наступні результати. Спектральний склад випромінювання ламп з добавками Cs, K, Rb має дещо меншу (в порівнянні зі стандартними натрієвими лампами високого тиску) в області 500-600 нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700 нм) та ближній інфрачервоній областях. До того ж фізико-хімічні характеристики цих металів багато в чому близькі до таких, як натрій; тому введення в розряд навіть невеликих добавок лужних металів призводить до істотних змін спектрів випромінювання. Спектри ламп із добавками калію, рубідію і цезію зображено на рис. 1 – 3.

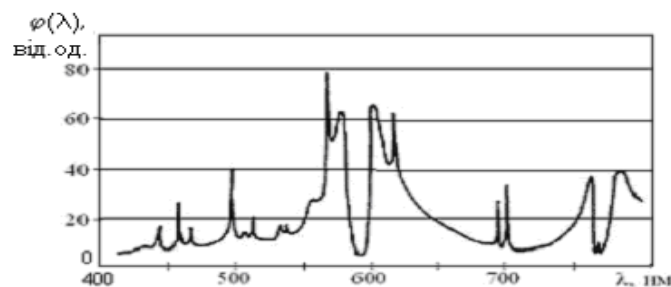


Рисунок 1 – Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання НЛВТ із добавками калію

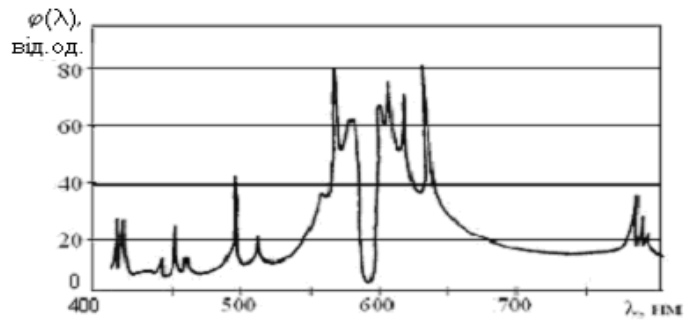


Рисунок 2 – Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання НЛВТ із добавками рубідію

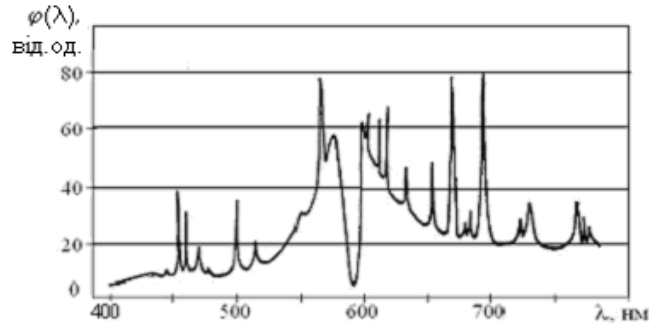


Рисунок 3 – Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання НЛВТ із добавками цезію

Вміст добавок в амальгамі становив 1-10 ат.%. Для усіх варіантів добавок загальним є ріст випромінювання в червоній ділянці спектра за рахунок ліній лужних металів (максимальне – для добавки цезію), у синій ділянці (420-460нм) з'являється також трохи слабких ліній добавок, підсилюється безупинний фон випромінювання, резонансні лінії натрію стають більш розширеними і самообертеними. Найбільш інтенсивні лінії для НЛВТ із добавками калію: короткохвильове крило резонансної лінії 766.5; 696.5; 693.6; 534.536; 509 нм; рубідію: 629.9; 607.1; 421.6; 420.2; цезії: 455.5; 459.3; 540.3; 541.9; 601.0; 621.3; 632.6; 658.6; 672.3; 687.0; 697.3; 722.9; 728.0 нм.

Світлова віддача (СВ) ламп із добавками лужних металів, природно, знижена як через збільшення теплових витрат розряду, так і за рахунок випромінювання добавок у червоній ділянці спектра. Найбільш придатними для поліпшення якості передачі

кольору НЛВТ є добавки цезію, оскільки лампи з добавками цезію мають найбільшу кількість ліній у червоній ділянці спектра (і, частково, в синьо-зеленій); збільшені (у порівнянні з К, Rb ) безупинний фон і ширина самообертання резонансних ліній натрію.

Досліджені фізико-хімічні властивості системи натрій-цезій-ртуть. Визначені температури плавлення потрійних сплавів, термодинамічні властивості розплавів потрійної системи Na-Cs-Hg та подвійної системи Na-Hg системи. Розраховані параметри порційних тисків парів компонентів

Обрано склад амальгами розрядної трубки, в якій співвідношення концентрацій натрію і ртуті близьке до відповідного співвідношення у стандартній натрієвій лампі, а добавки цезію змінюються в межах від 5 до 10 ат. %. Виготовлено лампи ДНаТ400 з добавками Na-Cs-Hg, а також проведено їх випробування (табл. 1)[10].

Таблиця 1 – Світлові й електричні характеристики ламп ДНаТ400, заповнених сплавами системи Na-Cs-Hg

№за п.	Na		Cs		Hg		Ум., В	Ул., В	Іл., А	Рл., Вт	Ф, лм	Н, лм/Вт
	Ваг. %	Ат. %	Ваг. %	Ат. %	Ваг. %	Ат. %						
1	28,6	77	6,4	3	64,9	20	220	120	4,8	380	23940	63
2	28,9	75	10,4	5	62,7	20	220	120	4,9	380	26220	69
3	25,4	73	14,6	7	62,8	20	220	123	5,1	380	24320	64
4	23,1	70	19,1	10	61,0	20	220	124	5,2	380	22800	60

Щоб оцінити приблизні межі раціональних складів амальгами, для яких поліпшення спектрального складу ламп досягається при збереженні досить

високої СВ, було розглянуто вплив вмісту цезію в амальгамі на світлові і колірні параметри ламп, які представлені на рис.4.

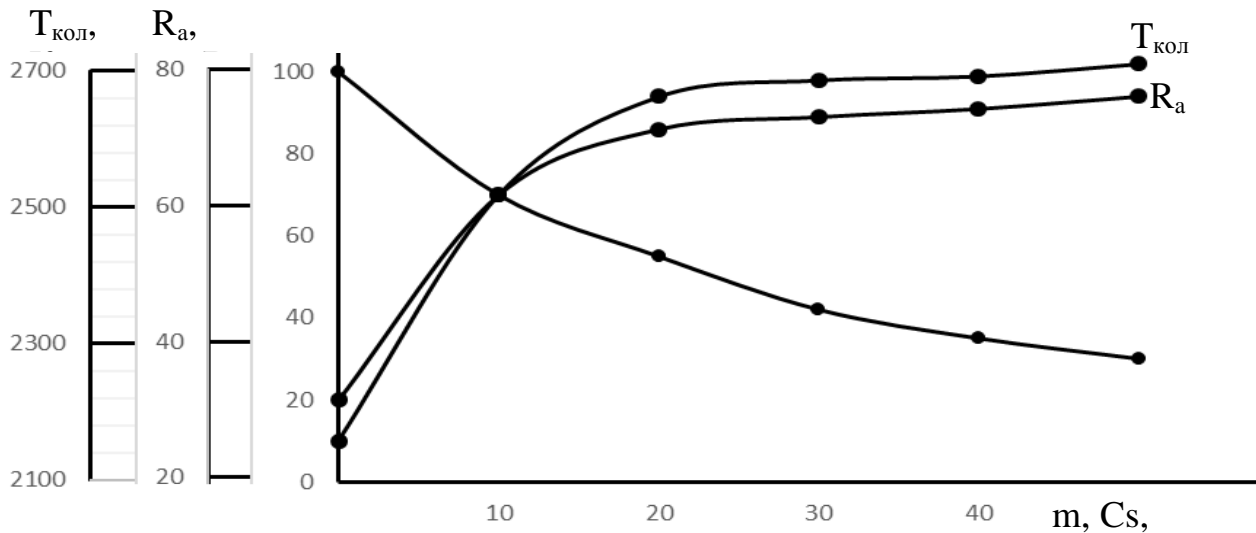


Рисунок 4 – Вплив вмісту цезію в амальгамі на світлові та кольорові параметри ламп

Із наведених залежностей видно, що при невеликих концентраціях цезію в амальгамі світлові і кольорні параметри ламп міняються досить відчутно, що не цілком виправдано з точки зору відтворюваності світлових і кольорних параметрів ламп. При значних концентраціях цезію в амальгамі кольорні параметри можуть досягати досить високих значень ( $R_a = 80 \div 85$ ), однак СВ при цьому значно падає, наближаючись до СВ чисто цезієвого розряду (20÷30 лм / Вт). Колірна температура випромінювання не перевищує 3000°К (як у ламп розжарювання), що пояснюється, головним чином, ростом випромінювання цезію в червоній ділянці спектра. З цих залежностей можна також зробити висновок про те, що вміст цезію в амальгамі не повинен перевищувати 10-20 ваг. % для збереження спектральних характеристик в червоній зоні.

Проаналізувавши ріст рослин при додатковому освітленні натрієвими лампами високого тиску з добавками цезію різного складу амальгам, представимо залежність ефективності освітлення рослин від складу амальгам (рис. 5).

Встановлені відмінності в реакціях рослин томатів на накопичення пігментів та їх співвідношення. Сумарний вміст хлорофілу у томатах при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з добавками цезію є вищим в 1,4÷2,5 рази, ніж при опроміненні ДнаТ400. При додатковому освітленні високо інтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20ат. % Hg, 75ат. % Na, 5ат. % Cs), вирощування рослин томатів на перших етапах розвитку є найбільш ефективним.

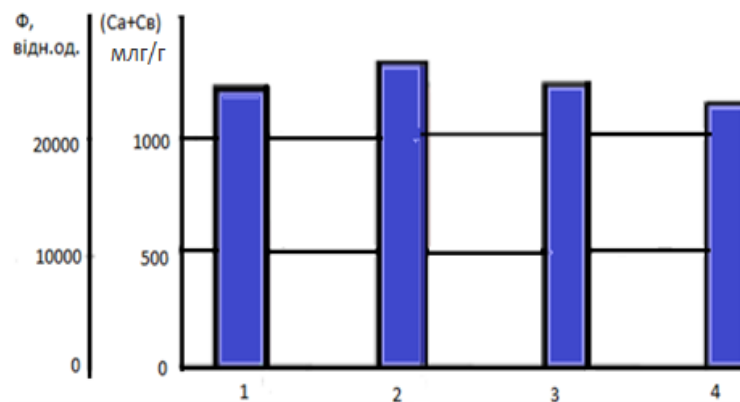


Рисунок 5 – Вміст пігментів у листках рослин томатів при опроміненні натрієвими лампами з різним наповненням :

- 1 – (20ат.%Hg, 77ат.%Na, 3ат.%Cs);
  - 2 – (20ат.%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs);
  - 3 – (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs);
  - 4 – (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs);
- $\Phi$  – світловий потік випромінювання, відн.од.;  
 $Ca+Cb$  – сумарний вміст пігментів, мг/г

**ВИСНОВКИ.** В умовах тепличного господарства використовуються різні технології додаткового освітлення рослин та різні види джерел світла. Найбільш ефективним джерелом світла є натрієві лампи високого тиску (ДНАТ 400), але недоліком є те, що лампи випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектру.

Досліджено спектр випромінювання високоінтенсивної натрієвої лампи (ДНАТ400), високоінтенсивних джерел зі складом амальгами натрію з добавками цезію (Hg-20 %, Na-7 5%, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %). В результаті експериментів визначено, що спектральний склад випромінювання ламп з добавками Cs, K, Rb має меншу інтенсивність випромінювання в порівнянні зі стандартними натрієвими лампами високого тиску (ДНАТ400) в області 500-600 нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700 нм) та ближній інфрачервоній областях. Для збереження досить високих значень СВ вміст цезію в амальгамі не повинен перевищувати 10 ат. %, кількість ртуті повинна бути не менша 10 ат. % для одержання при робочих температурах необхідного значення градієнта потенціалу (10-15 В / см).

Досліджувались рослини томатів, які додатково освітлювались НЛВТ з різним наповненням розрядної трубки. Встановлено, що сумарний вміст хлорофілу у рослин томатів при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з добавками цезію є вищим в 1,4÷2,5 рази, ніж при опроміненні ДНАТ400. Скореговано вибір високоінтенсивного джерела світла з наповненнями розрядної трубки амальгами (20ат. % Hg, 77ат.% Na, 3ат. % Cs); (20ат. % Hg, 75ат. % Na, 5ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs). Показано, що при додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20 ат. % Hg, 75 ат. % Na, 5 ат. % Cs), вирощування рослин томатів на перших етапах розвитку найбільш ефективний

## ЛІТЕРАТУРА

1. Brazaitytė A. The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2010. V. 97. N. 2. P. 89–98.
2. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике/ под ред. Ю. Б. Айзенберга. Москва: Энергоатомиздат. 1995. 528с.
3. Pichler G, Zivcec V, Beuc R, Mrzljak Z., Ban T, Skenderovic H. Visible and IR Spectrum of the Cs High Pressure Lamp. *Physica Scripta*. 2003. Vol. TXX. P 1-3.
4. Сайто Н., Таминага Д., Цуцуми С. НЛВД с улучшенной цветностью излучения Заявка № 63-2243 (Япония). Заявл. 20.06.86, №61-145333; опубл. 07.01.88. МКИ НОІ J61/22.
5. Кавасима Кодзо. Натриевая лампа: пат. №51-39473 (Япония). заявл. 30.11.71. № 45-96456; опубл. 28.10.76. МКИ НОІ J 61/22.
6. Харуо К., Ясабура Т., Ясуо Х. Натриевая лампа высокого давления Заявка № 60-107256 (Япония); заявл. 15.11.83; № 58-215216; опубл. 12.06.85 МКИ НОІ J 61/56.
7. Goodman D. Thermodynamic models of multicomponent sodium alloys . *High Temp. Lamp Chem. Proc. Symp.Sci. and Technol.* Toronto. 1985. P. 193-203.
8. Wellburn, A. The spectral determination of chlorophylls a, and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 1994. 144. P. 307–313.
9. ГОСТ 17616-82. Лампы разрядные. Методы измерения электрических и световых параметров.
10. Велит І. А. Вплив складу амальгами натрій – цезій - ртуть на спектральні характеристики натрієвих ламп високого тиску для умов тепличного господарств. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія «Технічні науки»*. Мелітополь 2018. Том 29 (68). №1. С. 72-76.

## IRRADIATION OF VEGETABLES UNDER CONDITIONS OF CLOSED GROUND WITH LIGHT SOURCES WITH EMITTING ADDITIVES

**I. Velyt**

Poltava State Agrarian University

**ORCID: 0000-0002-7872-5007**

**Purpose.** The paper considers peculiarities of using artificial illumination sources with effective spectral composition of radiation for conditions of closed soil. **Methodology.** High-intensity sodium lamps (DNaT400), high-intensity sources with composition of sodium amalgam with cesium additives were investigated (Hg-20%, Na-7 5%, Cs-5%), potassium (Hg-20%, Na-79%, K-1%). **Results.** As a result of experiments, it was determined that the spectral radiation composition of lamps with additives Cs, K, Rb has a lower radiation intensity compared to standard high pressure sodium lamps (DNaT) in the region of 500-600 nm and significantly higher intensity in red (600-700 nm) and near infrared regions. The physicochemical properties of the sodium-cesium-mercury system have been studied. Melting points of ternary alloys, thermodynamic properties of melts of ternary system Na-Cs-Hg and double system of Na-Hg system are determined. The parameters of batch pressures of component vapors are calculated. The composition of the discharge tube amalgam is selected, in which the ratio of sodium and mercury concentrations is close to the corresponding ratio in a standard sodium lamp, and cesium additives vary in the range from 5 to 10 atm. %. The influence of cesium content in amalgams on light and color parameters of lamps is considered. Tomatoes were used in the experiment, which were additionally illuminated with lamps DNaT400, high intensity discharge tube filled light sources (20at.% Hg, 77at.% Na, 3at.% Cs); (20at.% Hg, 75at.% Na, 5at. % Cs); (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs)

Cs); (20 at. % Hg, 70 at. % Na, 10 at. % Cs). **Originality.** In the use of high-pressure sodium lamps with a filling of the discharge tube in different weight ratios of Hg, Na, Cs. **Practical value.** When using high-intensity light sources with additives Cs having amalgam composition (20 at.% Hg, 75 at.% Na, 5 at.% Cs), growing tomato plants in the early stages of development is most effective. The total content of chlorophyll in tomatoes when irradiated with a high-pressure sodium lamp with cesium additives is 1.4 ÷ 2.5 times higher than when irradiated. DNaT400..

**Key words:** plants, closed ground, high-efficiency light sources, cesium.

## REFERENCES

1. Brazaitytė, A. (2010), The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants [Vplyv osvitlennya svitlodiodiv na zrostannya peresadky tomativ] *Zemdirbyste-Agriculture*. V. 97. N. 2. P. 89–98. [in Lithuania].
2. Aisenberg, Yu.B. (1995), Reference book on lighting engineering. Yu.B. Aisenberg (Ed). Moscow: Enegroatomizdat. [in Russia].
3. Pichler, G, Zivcec, V, Beuc, R, Mrzljak, Z., Ban, T, Skenderovic, H. (2003), Visible and IR Spectrum of the Cs High Pressure Lamp. *Physica Scripta*. Vol. TXX. 1-3. [in Sweden].
4. Saito, N., Taminaga, D., Tsutsumi, S. (1988), NLVD with improved chromaticity of radiation Application No. 63-2243 Appl. 20.06.86, No. 61-145333; publ. 07.01.88. MKI NOI J61 / 22. [in Japan].
5. Kawashima, Kozo. (1976), Sodium lamp: US Pat. No. 51-39473. declared 11.30.71. No. 45-96456; publ. 10.28.76. MKI NOI J 61/22. [in Japan].
6. Haruo, K., Yasaburo, T., Yasuo, H. (1985), High pressure sodium lamp Application. No. 60-107256; declared 11/15/83; No. 58-215216; publ. 06/12/85 MKI NOI J 61/56. [in Japan].
7. Goodman, D. (1985), Thermodynamic models of multicomponent sodium alloys. High Temp. Lamp Chem. Proc. Symp. S. ci. and Technol. Toronto. P. 193-203. [in Canada]
8. Wellburn, A. (1994), The spectral determination of chlorophylls a, and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. 144. P.307–313. [in USA.].
9. GOST 17616-82. Discharge lamps. Methods for measuring electrical and light parameters.
10. Velyt, I. A. (2018), Injected into the warehouse with sodium amalgam - cesium - mercury on the spectral characteristics of sodium lamps in a high vise for the minds of the greenhouse gospodarstav. Introductory notes of the Taurian National University. Series "Tekhnichni nauki". Melitopol. Vol. 29 (68). № 1. P. 72-76

Стаття надійшла 16.07.2021.