

Велит І.А.

Полтавська державна аграрна академія

ВПЛИВ СКЛАДУ АМАЛЬГАМИ НАТРІЙ-ЦЕЗІЙ-РТУТЬ НА СПЕКТРАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТРІЄВИХ ЛАМП ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ УМОВ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

У статті подано результати досліджень потрійної системи натрій-цезій-ртуть амальгами натрієвих ламп високого тиску. Установлено температури плавлення амальгам. Розраховано й виміряно тиск пар компонентів. Проаналізовано ріст рослин при додатковому освітленні натрієвими лампами високого тиску з різним складом амальгами.

Ключові слова: амальгама, цезій, натрієві лампи високого тиску, рослини.

Постановка проблеми. Сучасне суспільство вимагає від сільгоспвиробників збільшення виробництва овочів у зимових умовах. Однак вирішення цього дуже важливого завдання полягає у використанні спеціальних енергоефективних джерел світла для вирощування овочів в умовах закритого ґрунту. В Україні такі джерела не випускаються, унаслідок чого стримується вирішення завдання соціальної та економічної ваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із напрямів підвищення врожайності овочів при зниженні енерговитрат в умовах закритого ґрунту є застосування ефективного опромінення рослин штучним світлом. Енергетичну ефективність опромінювальних систем для рослинництва можна досягти використанням високоефективних джерел світла зі спектральним складом випромінювання, який сприятливо впливає на біологічні процеси в рослинах. Натрієві ламп високого тиску є одним із найефективніших джерел світла. Основним недоліком цих ламп є те, що в спектрі суттєво не вистачає синього та червоного випромінювання, що є головним недоліком цих ламп. Регулювання спектрального складу випромінювання натрієвих ламп можливе за рахунок зміни тиску парів натрію: при збільшенні тиску парів натрію має місце самообертання та розширення резонансних ліній натрію й поліпшення розподілу випромінювання по зонах, але при цьому значно зменшується світлова віддача (до 20–15%) [1; 2; 3]. Значний інтерес становить поліпшення спектрального випромінювання НЛВД у такий

спосіб, як уведення в розряд різних добавок. Більшість публікацій, присвячених добавкам, є патентною документацією [4] на можливі добавки і статтями про дослідження термодинамічних властивостей складних амальгам [5]. Усі основні метали-добавки, які випробували у НЛВД [6], умовно можна розподілити на основні групи: кадмій, цинк; індій, галій, талій; рідкоземельні метали – ітрій, самарій; лужні метали – калій, рубідій, цезій.

Існує кілька патентів [7; 8], згідно з якими пропонується використовувати добавки – лужні метали (K, Rb, Cs). Невеликі добавки лужних металів призводять до значних змін у спектрі лампи: з'являються лінії добавок у червоній ділянці спектру, збільшуються безперервний фон і ширина самообертання резонансних ліній натрію.

При серійному виробництві натрієвих ламп високого тиску ДНаТ400 джерелом випромінювання є амальгама натрію з умістом натрію (25±1) ваг. %. Така амальгама характеризується точкою плавлення 60–63°C. При температурах нижче 34°C із такої амальгами виділяється металоїд Na₃Hg. Уведення третього компонента, цезію, у натрієву амальгаму призводить до зміни температур плавлення, які можуть змінюватися в широких межах залежно від співвідношення в сплавах натрію й цезію.

Постановка проблеми. Мета статті – дослідження складу амальгам натрій-цезій-ртуть для НЛВД з метою отримання іншого спектрального складу випромінювання, що значно збільшує сферу використання ламп.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі досліджені потрійні сплави системи натрій-цезій-ртуть для ізоконцентратів із постійним умістом ртуті 0,2 м. д. Зразки для виміру готувалися безпосереднім змішуванням компонентів в ампулах у боксі, в атмосфері очищеного й осушеного аргону. Після заповнення металами ампули вакуумувалися та запаювалися. Сплави гомогенізували в осередках, у печі при температурах, вищих за температуру плавлення натрію.

Дослідження світлових і спектральних характеристик проводили з натрієвими лампами потужністю 400 Вт, що мають такі геометричні розміри розрядної трубки: $d_{\text{внутр.}}=7$ мм, $d_{\text{нар.}}=9$ мм, l труб.=11,3 мм.

Розрядна трубка виконана з полікристалічного окису алюмінію. Амальгами системи натрій-цезій-ртуть готувалися прямою сплав-

кою компонентів у боксі з інертною атмосферою, а потім використовувалися для заповнення під вакуумом тонкої ніобієвої трубки. Зразки амальгами захищені від окислювання. Дозування амальгами здійснюється через ніобієвий штенгель розрядної трубки безпосередньо перед відкачкою трубки. Надалі лампа проходила весь технологічний цикл виготовлення. Готові лампи піддавалися тренуванню й іспитам.

Вимір світлової віддачі експериментальних зразків проводився у світломірній кулі діаметром 1,5 м. Приймач – селеновий фотоелемент із корегуючим і нейтральними фільтрами. Еталон – натрієва лампа високого тиску. Для запису спектральних характеристик використовувався спектрофотометр ИСП-51.

Тиск пару компонентів у потрійній амальгамній системі Na-Cs-Hg узяті нами з роботи [1],

Таблица 1

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

№№ з/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

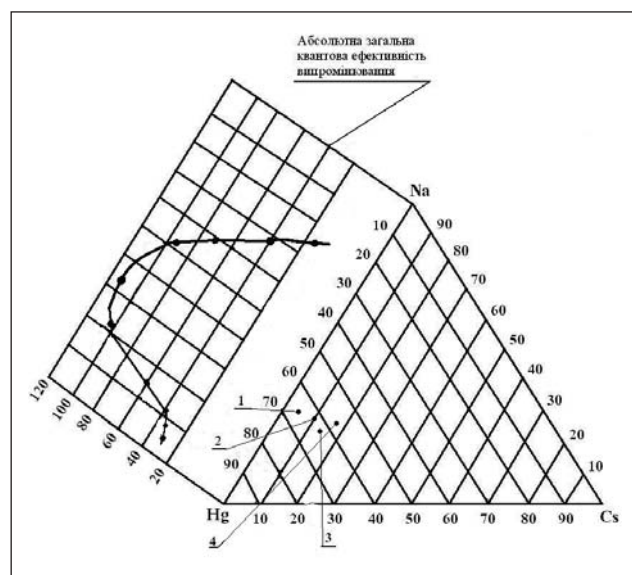


Рис. 1. Залежність абсолютної квантової ефективності випромінювання в системі Na-Hg від вмісту натрію й розташування обраних амальгам на концентраційному трикутнику (1-Na-28,6 ваг. %, Cs-6,4 ваг. %, Hg-65 ваг. %; 2-Na-29 ваг. %, Cs-10,4 ваг. %, Hg-62,7 ваг. %; 3-Na-22,6 ваг. %, Cs-14,6 ваг. %, Hg-62,8 ваг. %; 4-Na-23,1 ваг. %, Cs-19,1 ваг. %, Hg-57,8 ваг. %)

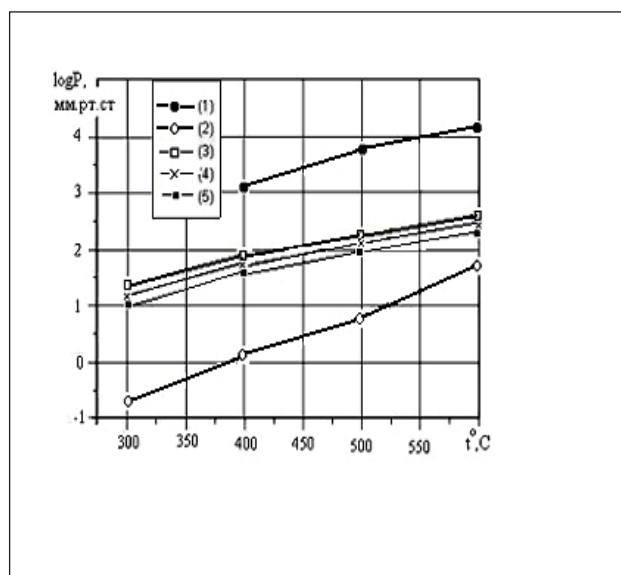


Рис. 2. Залежність тиску парів (P) від температури (t) для сплавів із різним вмістом компонентів: 1 – Hg; 2 – (Na-78ат.%, Hg-22ат. %); 3 – (Na-30 ат.%, Cs-50 ат.%, Hg-20ат. %); 4 – (Na-50 ат.%, Cs-30ат.%, Hg-20 ат. %); 5 – (Na-60 ат.%, Cs-20ат.%, Hg-20 ат. %)

де дослідження термодинамічних властивостей системи Na-Cs-Hg робили методом виміру тиску насиченої пари ртуті (ізотеніскопний). $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-LiNO}_3$, температура плавлення якої 110°C .

Вибір складу амальгам здійснювався на підставі відомих даних про квантову ефективність випромінювання натрій-ртутних пар під дією випромінювання ртуті (253.7 нм) [2].

Відповідно до цих даних, вибирали склади амальгам, у яких уміст ртуті залишався постійним і рівним 40 ваг. %, а відношення концентрацій натрію і цезію мінялося в широких межах. На рис. 1 приведені крапки на концентраційному трикутнику, що відповідають складу обраним амальгам для іспитів у лампах ДНаТ400, і приведені значення абсолютної квантової ефективності для бінарної системи натрій-ртуть.

У результаті дослідження фізико-хімічних властивостей системи Na-Cs-Hg обрано найефективніший склад амальгам. Установлено, що тиск парів компонентів є визначальним параметром для світлових і спектральних характеристик розрядних ламп високого тиску в інтервалі температур від 250 до 530°C при постійному вмісті в сплавах ртуті і співвідношенні в сплавах натрію й цезію 4:1. Розраховано тиски насичених парів для різних температур і зіставлені з тисками парів у бінарній системі Na-Hg (рис. 2).

Обрано склад амальгами розрядної трубки, в якій співвідношення концентрацій натрію і ртуті близьке до відповідного співвідношення в стандартній натрієвій лампі, а добавки цезію зміню-

ються в межах від 5 до 10 ат. %. Виготовлено лампи ДНаТ400 з добавками Na-Cs-Hg, а також проведено їх промислові випробування (таблиця 1).

На рис. 3 наведено залежність характеристик потоку випромінювання пальника ламп із між-електродною відстанню 8,5 см і різними добавками від питомої потужності (P_1). Результати досліджень свідчать, що Фе в лампах із добавкою Cs(5%) вищий, ніж у лампах із добавками Cs(5%)-K(1%). Світлова ефективність (η) при збільшенні P_1 ламп зростає, причому для натрій-ртутних ламп при P_1 (25–60 Вт/см) η є вищою, ніж для ламп із добавками Cs, K, Rb, а при P_1 , більшій $60\div 65$ Вт/см, η вища для ламп із наповненням Na-Cs-Hg і Na-Cs-K-Hg і становить $29\div 2\%$.

Установлено, що зі збільшенням P_1 і температури холодної зони (t_{xz}) зростання Фе випромінювання відбувається переважно за рахунок зростання його червоної та інфрачервоної ділянок. Відповідно до рис. 4, де показано залежність потоку випромінювання і світлових потоків (Φ) від питомої потужності й температури холодної зони для ламп із наповненням Na-Cs-Hg і Na-Cs-K-Hg, кращі показники мають лампи з добавками цезію. Отже, для світлокультури рослин при $P_1 > 58\div 60$ Вт/см ефективнішими є натрієві лампи високого тиску з добавками цезію.

Досліджено спектральний склад випромінювання ламп зі складом амальгами натрію й добавки цезію (Hg-20%, Na-75%, Cs-5%). Спектральний склад випромінювання має меншу, ніж стандартні натрієві лампи високого тиску, інтен-

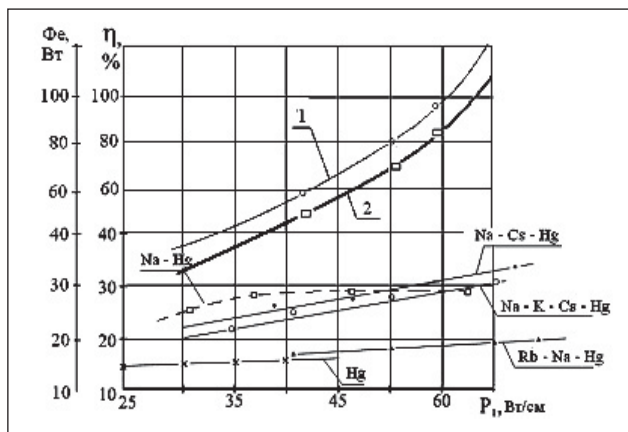


Рис. 3. Залежність енергетичного потоку випромінювання (Фе) з різними добавками (1-Cs(5%); 2-K(1%), Cs(5%)) та світлової ефективності (η) ламп із різним наповненням (□ – Na-Hg, о – Na-K-Cs-Hg, • – Na-Cs-Hg, × – Hg, ▲ – Rb-Na-Hg) від питомої потужності ламп (P_1)

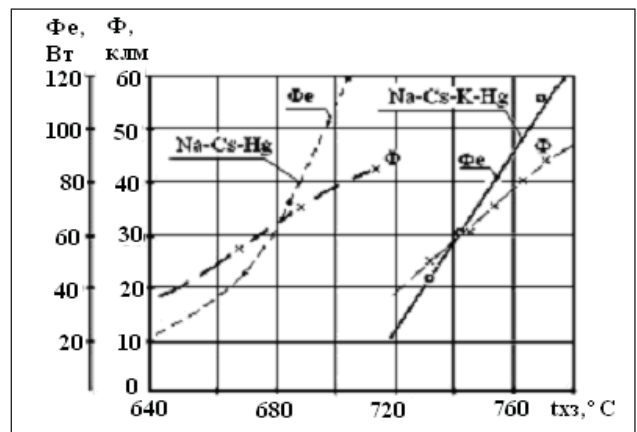


Рис. 4. Залежність потоку випромінювання (Фе) і світлового потоків (Φ) випромінювання натрієвих ламп потужністю 400 Вт із добавками цезію та калію від температури холодної зони t_{xz}

сивність випромінювання в ділянці 500–600 нм і значно більшу в червоній (600–700 нм) і ближній інфрачервоній ділянках (рис. 5).

Досліджено вирощування рослин на перших етапах розвитку при опроміненні світлом із різним спектральним складом. Установлено відмінності в реакціях рослин томатів сортів «Де Барао» і «Гібрид Тарасенка» на накопичення пігментів і їх співвідношення. Уміст хлорофілу й каротиноїдів у сортах томатів «Де Барао» і «Гібрид Тарасенка» при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з добавками цезію є вищим, ніж при опроміненні ДРЛФ400 і ДНАТ400.

Проаналізувавши ріст рослин при додатковому освітленні натрієвими лампами високого тиску з добавками цезію різного складу амальгам, подамо залежність ефективності освітлення рослин від складу амальгам (рис. 6).

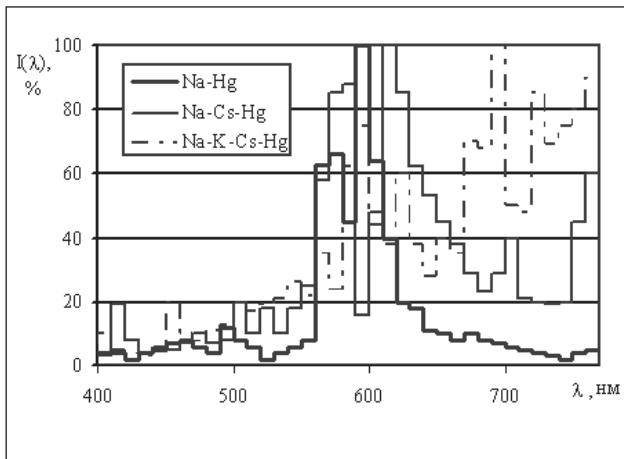


Рис. 5. Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання ламп із різним наповненням: Na-Hg, Na-Cs-Hg, Na-K-Cs-Hg

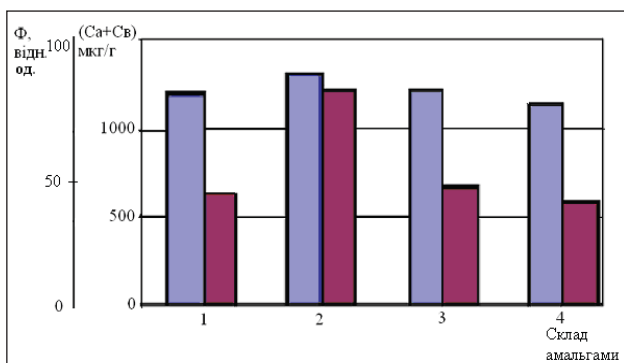


Рис. 6. Уміст пігментів у листках рослин томатів при опроміненні натрієвими лампами з різним наповненням: 1 – (20ат.%Hg, 77ат.%Na, 3ат.%Cs); 2 – (20ат.%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs); 3 – (20ат.%Hg, 73ат.%Na, 7ат.%Cs); 4 – (20ат.%Hg, 70ат.%Na, 10ат.%Cs); □А – світловий потік випромінювання; ■Б – сумарний уміст пігментів (Са+Св)

Вирощування рослин на перших етапах розвитку показало, додаткове освітлення високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20ат.%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs), найбільш ефективне.

Висновки. З огляду на викладене вище, можемо підсумувати таке:

1. На основі проведених досліджень установлено оптимальні параметри ламп, які можна використовувати для світлокультури рослин: зовнішній діаметр розрядної трубки з полікристалічного окису алюмінію – 8,9 мм, міжелектродна відстань – 85 мм, склад амальгами натрію з добавками цезію (Hg-20%, Na-75%, Cs-5%), з Хе при холодному тиску 20 мм рт. ст., в інтервалах питомих потужностей розрядного стовпа – 55–65 Вт/см і к. к. д. ФАР – 29–32%. Доведено, що зміна складу амальгами призводить до зменшення тиску ртуті. Негативні відхилення активності ртуті від прямої ідеального поведіння свідчать про максимальне зв'язування цього компонента розплаву в з'єднанні.

Дослідження спектрів випромінювання при інших складах амальгами натрій-цезій-ртуть показало, що інтенсивність ліній у ділянці 620–700 нм слабо залежить від зміни вмісту цезію в сплавах у межах вивчених концентрацій.

2. Проведене фізико-хімічне дослідження властивостей потрійної системи натрій-цезій-ртуть дало змогу встановити температури плавлення амальгам, розрахувати й вимірити тиск пар компонентів. Показано, що тиск пари ртуті й натрію підвищується порівняно з бінарною системою натрій-ртуть, що сприятливо впливає на спектральні характеристики натрієвих ламп високого тиску. Температури плавлення досліджених амальгам не перевищують 102 °С, тому амальгами можуть дозуватися в розрядну трубку в рідкому стані.

3. На підставі даних про абсолютну ефективність випромінювання розряду бінарної системи натрій-ртуть і даних про фізико-хімічні властивості потрійної системи обрані оптимальні склади амальгам, у яких співвідношення концентрацій натрію і ртуті близько до стандартної натрієвої лампи, а добавки цезію змінюються в межах (5–10 ат. %, 6,6–13,6 ваг. %).

Спектральні характеристики ламп із досліджуваною амальгамою вказують на збільшення потужності випромінювання в червоній ділянці спектра, що дає можливість використовувати їх в умовах тепличного господарства.

Список літератури:

1. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. Москва: Энергоатомиздат, 1995. 528 с.
2. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 720 с.
3. Петренко Ю.П., Федюнькин Д.Б., Бахнова К.В. Совершенствование источников излучения для растениеводства. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1994. № 7. С. 23–26.
4. Сайто Н., Таминага Д., Цуцуми С. НЛВД с улучшенной цветностью излучения. Заявка № 63–2243 (Япония). Заявл. 20.06.1986. № 61-145333; опубл. 07.01.88. МКИ НОІ J61/22.
5. Goodman D. Thermodynamic models of multicomponent sodium alloys . High Temp. Lamp Chem. Proc. Symp. Sci. and Technol., Toronto. 1985. P. 193–203.
6. Литвинов В.С., Петренко Н.П. Тенденции развития натриевых ламп с улучшающими спектральными добавками. Доп. в информэлектр. № 229-ЭТ. 15.11.1989.
7. Натриевая лампа: пат. № 51-39473 (Япония). Кавасима Кодзо. заявл. 30.11.1971. № 45-96456; опубл. 28.10.1976. МКИ НОІ J 61/22.
8. Харуо К., Ясабура Т., Ясуо Х. Натриевая лампа высокого давления. Заявка № 60-107256 (Япония). Заявл. 15.11.1983, № 58-215216; опубл. 12.06.1985. МКИ НОІ J 61/56.

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА АМАЛЬГАМЫ НАТРИЙ-ЦЕЗИЙ-РТУТЬ
НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТРИЕВЫХ
ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ТЕПЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА**

В статье приведены результаты исследований тройной системы натрий-цезий-ртуть амальгамы натриевых ламп высокого давления. Установлены температуры плавления амальгам. Рассчитано и измерено давление паров компонентов. Проанализирован рост растений при дополнительном освещении натриевыми лампами высокого давления с различным составом амальгамы.

Ключевые слова: амальгама, цезий, натриевые лампы высокого давления, растения.

**THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF SODIUM-CESIUM-MERCURY AMALGAM ON
SPECTRAL CHARACTERISTICS OF HIGH PRESSURE SODIUM LAMPS FOR GREENHOUSES**

The article deals with the results of the research of the triple system of sodium-cesium-mercury amalgam of high pressure sodium lamps. The melting temperatures of amalgams have been set. The vapour pressure of components has been calculated and measured. The article represents the analysis of the growth of plants under additional lighting with high pressure sodium lamps with different amalgam composition.

Key words: amalgam, cesium, high pressure sodium lamps, plants.