

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Подано методику порівняльного аналізу ефективності опромінювальних установок з різними джерелами випромінювання та способами опромінення рослин в теплицях. Показано, що найвищу ефективність мають установки з опромінювальними пристроями змінного опромінення оснащені натрієвими та галогенними дуговими лампами.

Умовні позначення

ОП - опромінювальний пристрій;
ОУ - опромінювальна установка;
ДВ - джерело випромінювання;
ФАР - фотосинтезно активна радіація.

Підвищення енергетичної ефективності опромінювальних пристроїв (ОП) пов'язане із зниженням енергозатрат на їх експлуатацію та зменшенням часу їх окупності [1]. Ефективність ОП у кінцевому варіанті визначається вартістю світлової енергії, що генерується протягом усього часу його експлуатації.

Згідно з [2] енергетична ефективність опромінювальних установок (ОУ) визначається відношенням повного потоку випромінювання до її середньої потужності за час експлуатації

$$E = \frac{\sum \Phi_{\text{оп}}}{\sum P_{\text{оп}} \cdot C_t \cdot K_{\Phi}}, \quad (1)$$

де $\sum \Phi_{\text{оп}}$ - сумарний потік випромінювання ОП, що належать ОУ;

$\sum P_{\text{оп}}$ - сумарна потужність ОУ;

C_t - коефіцієнт зменшення часу використання ОУ за рахунок застосування системи керування опроміненням;

K_{Φ} - коефіцієнт, що враховує зменшення потоку випромінювання у процесі експлуатації ОУ.

Таким чином, ефективність ОУ залежить перш за все від:

- а) світлової віддачі, або енергетичної ефективності ДВ та терміну їх експлуатації;
- б) світлотехнічних (коефіцієнта корисної дії та середнього експлуатаційного коефіцієнта використання потоку випромінювання ОП) та енергетичних (коефіцієнта втрат потужності у баласті) параметрів;
- в) стабільності параметрів ОП протягом часу експлуатації, зокрема світлотехнічних параметрів ДВ.

Поряд з цим важливими є також вартість ламп, конструкції ОП, монтажних робіт, обслуговування.

Перефразовуючи сказане у [3], можна стверджувати, що найбільш ефективні опромінювальні установки повинні генерувати високоякісне випромінювання тільки у такій кількості і у такій час, скільки, де і коли його потрібно, зберігаючи свої характеристики протягом тривалого часу експлуатації при найменших капітальних і експлуатаційних витратах та мінімальному енергоспоживанні.

Для вирощування рослин у промислових умовах тепличних господарств протягом останніх двадцятьох років використовувалися лампи ДРЛФ-400. Нині розроблено ряд нових джерел випромінювання (ДВ), що значно переважають їх за основними показниками: енергетичною та фотосинтезною ефективностями, потоком фотосинтезно актив-

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

ної радіації (ФАР), часом експлуатації. Детальний аналіз ДВ для світлокультури рослин закритого ґрунту виконано у [4,5], де виділено два типи розрядних ламп з найвищою фотосинтетичною ефективністю: дугові натрієві високого тиску та металогалогенні.

Для порівняння ефективності ОУ виберемо як показник потік ФАР вихідного і порівнювального варіантів.

Згідно з [6,7] відносна потужність опромінювальних установок, що порівнюються, визначається за формулою:

$$P_{\text{вд}} = \frac{\alpha_1 \cdot E_{\Phi_2} \cdot K_{32} \cdot \eta_{\Phi_1}}{\alpha_2 \cdot E_{\Phi_1} \cdot K_{31} \cdot \eta_{\Phi_2}}, \quad (2)$$

де K_{31}, K_{32} - коефіцієнти запасу;

α_1, α_2 - коефіцієнти втрат у баластах;

E_{Φ_1}, E_{Φ_2} - опромінення ФАР;

$\eta_{\Phi_1}, \eta_{\Phi_2}$ - к.к.д. ламп в області ФАР ($\eta_{\Phi} = \frac{P_{\text{ФАР}}}{P_{\text{ел}}}$) для першого і другого варіантів

відповідно.

При порівнянні ОУ базуватимемося на тому, що рослина поглинає однакову енергію ФАР, що потрапляє на фотоприймачі рослини при заданому рівні опромінення, тобто при $E_{\Phi_1} = E_{\Phi_2}$ відзначаємо однакову дозу опромінення $H_{\Phi_1} = H_{\Phi_2}$. Коефіцієнти втрат у баластах обох варіантів також однакові: $\alpha_1 = \alpha_2$.

Враховуючи це, запишемо (2) так:

$$P_{\text{вд}} = \frac{K_{32} \cdot \eta_{\Phi_1}}{K_{31} \cdot \eta_{\Phi_2}}. \quad (3)$$

Необхідну кількість опромінювачів у двох варіантах ОУ, що порівнюються, визначимо на основі відносної потужності

$$N_2 = N_1 \cdot P_{\text{вд}}, \quad (4)$$

де N_2 - число опромінювальних пристроїв в ОУ, що порівнюється;

N_1 - число ОП у вихідній ОУ.

При обчисленні відносної потужності за формулою (3) основна складність полягає у визначенні коефіцієнтів запасу варіантів, що можуть суттєво відрізнятися один від одного при використанні різних типів джерел випромінювання.

Для орієнтовного обчислення вважатимемо, що $K_{31} = K_{32}$. Тоді $P_{\text{вд}} = \frac{\eta_{\Phi_1}}{\eta_{\Phi_2}}$, а відносна економія електроенергії при використанні ДВ іншого типу дорівнюватиме:

$$A_{\text{вд}} = \left[1 - \frac{\eta_{\Phi_1}}{\eta_{\Phi_2}} \right] \cdot 100\%. \quad (5)$$

Порівняємо два типи ОП: ОТ-400 з лампою ДРЛФ-400 і ЖСП-ВОТ-02 з лампою ДРИ 400-5 або ДНаТ-400.

Відносна потужність при переході від ламп ДРЛФ-400 до ДРИ 400-5 або ДНаТ-400 дорівнює

$$P_{\text{вд}} = \frac{0,13}{0,27} = 0,48,$$

де 0,13 і 0,27 - к.к.д. ламп ДРЛФ-400 та ДРИ 400-5 відповідно взяті з [5].

Відносна економія електроенергії при використанні даних ламп дорівнюватиме

$$A_{\text{вд}} = (1 - 0,48) \cdot 100\% = 52,0\%.$$

Загальне споживання електроенергії ОУ теплиці запишемо як

$$A = P_{\text{вст}} \cdot t_{\text{роб}},$$

де $P_{\text{вст}} = P_{\text{Л}} \cdot N$ — встановлена потужність ОУ ;
 $t_{\text{роб}}$ -- час опромінення.

Для прикладу виберемо площу посіву для опромінення, розміром $6,4 \times 36 = 230,4 \text{ м}^2$. При використанні опромінювальних комплексів серії "Світлотрон" КОП2×72×400-009 [8] з лампами ДРИ-400-5 при середньому рівні опромінення ФАР $E = 30 \text{ Вт/м}^2$ на даній площі необхідно розмістити опромінювальний пристрій постійного опромінення з 72 ДВ. При переході до змінного опромінення та використанні ОП з прецесійним рухом опромінювачів типу ЖСП-04 з таким же типом ламп для опромінення даної ділянки необхідно 34 опромінювачі. При однаковому часі експлуатації споживання електроенергії зменшиться у $K_1 = P_{\text{вст1}}/P_{\text{вст2}} = 28,8/15,0 = 1,92$ рази.

Якщо ж порівняти опромінювачі ОТ-400 з лампами ДРЛФ-400, то цей параметр дорівнюватиме $K_2 = K_1/0,52 = 3,69$.

Такі ж обчислення виконані для інших типів ОП переривчастого опромінення з обертовим та коливним рухами опромінювачів. Результати обчислень подані у таблиці 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні характеристики варіантів ОУ для теплиць

Тип опромінювача	Тип лампи	К-сть опромінювачів, шт.	Строк служби, год.	Річний час експлуатації, год.	Спожита електроенергія за рік, кВт·год.	Річна економія електроенергії, кВт·год.
ОТ-400	ДРЛФ-400	133	7000	550	29260	--
КОП2×72×400-009	ДРИ 400-5	72	10000	550	15840	13420
ЖСП-ВОТ-04	ДРИ 400-5	72	10000	550	15840	13420
ЖСП-ВОТ-04	ДНаТ-400	72	15000	550	15840	13420
ЖСП-04 (прецесійний)	ДНаТ 400	34	15000	550	8228	21032
ЖО-01 (обертовий)	ДНаТ 400	30	15000	550	5808	23452
ЖСП ВОТ-04 (коливний)	ДНаТ-400	36	15000	550	8712	20548

Річна економія електроенергії у результаті використання різних типів ОП змінного опромінення, обчислена відносно ОУ з опромінювачами неперервної дії ОТ-400, сягає понад 20 тис. кВт·год на площі 230 м^2 при рівні опромінення ФАР 30 Вт/м^2 .

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

Опромінювальні пристрої змінного опромінення використовувалися також для вирощування мікробульб картоплі *in vitro*. Традиційно вони вирощуються на стелажах, оснащених люмінесцентними лампами типу ЛФ-40, ЛД-40 або ЛБ-40. Один такий стелаж містить 60 ламп, які протягом доби у середньому працюють 18 годин. Встановлена потужність такої опромінювальної установки 2,4 кВт. Добове споживання електроенергії 43,2 кВт·год.

Таблиця 2

Техніко-економічні характеристики варіантів ОУ для вирощування мікробульб картоплі *in vitro*

Тип опромінювача	Тип лампи	К-сть опромінювачів, шт.	Строк служби, год.	Річний час експлуатації, год.	Спожита електроенергія за рік, кВт·год.	Річна економія електроенергії, кВт·год.
Блок люмінесцентних ламп	ЛФ-40, ЛБ-40, ЛД-40	75	8000	2700	8100	—
Обертвий рух опромінювачів (ЖО-01)	ДРИ 250-5 ДНаТ-400	2 2	10000	2700	3510	4590
Зворотно поступальний рух опромінювача	ДРИ 250-5 ДНаТ-250	2 2	10000	2700	2700	3780

Для даного технологічного процесу використано два типи ОП змінного опромінення: з обертальним та зворотно поступальним рухом опромінювачів.

ОП з обертальним рухом опромінювачів склалися з чотирьох світильників ЖО-01 з різноспектральними джерелами випромінювання (2 лампи ДНаТ-400 і 2 лампи ДРИ-250). Даний опромінювальний пристрій замінив ОУ з 75 люмінесцентних ламп типу ЛФ-40 або ЛБ-40.

В установках із зворотно-поступальним рухом опромінювачів не використовувалася світловідбивна арматура, оскільки стелажі з пробірками розташовувалися по обидва боки від опромінювального пристрою. У складі такої установки було 2 лампи ДНаТ-250 і 2 лампи ДРИ-250. Дана установка замінила ОУ із 60 40-ватних люмінесцентних ламп.

Техніко-економічні показники такого типу установок подані у таблиці 2.

Впровадження ОП змінного опромінення у технологічні процеси вирощування паростків картоплі *in vitro* дозволило досягти економії електроенергії для опромінення у 2,3-2,4 рази, а також зменшити вартість установки і збільшити час її експлуатації.

Висновки

Подана методика порівняльного аналізу ефективності опромінювальних установок з різними джерелами випромінювання та способами опромінення рослин закритого ґрунту. Показано, що найбільш енергетично ефективні ОП із натрієвими та галогеновими дуговими лампами.

Показано, що річна економія електроенергії від опромінення такими ОП площі посіву 230,4 м² при рівні опромінення ФАР 30 Вт/м² порівняно з стаціонарними опромінювачами ОТ-400 сягає понад 20 тис. кВт·год.

Впровадження ОП змінного опромінення у технологічний процес вирощування мікробульб картоплі *in vitro* дозволило досягти економії електроенергії на опромінення у 2,3-2,4 рази.

The method of the comparative analyses of irradiation devices efficiency with different sources and ways of irradiation in the hot-houses, is presented. It is shown, that of greatest efficiency are the devices with the alternative irradiators equipped with the sodium and haloid arc lamps.

Література

1. Айзенберг Ю.Б. Проблема энергосбережения в осветительных установках // Светотехника. - 1998. - № 6. - С.11-18.
2. Вайнер Б.Г., Зонневельдт Л. Энергетические аспекты освещения зданий // Светотехника. - 1996. - № 9. - С.25-28.
3. Слейгер А.И. Об энергоэффективности внутреннего освещения // Светотехника. - 1996. - № 42. - С.7-10.
4. Андрійчук В.А., Дворницький В.М., Костик Л.М. Автоматизований метод визначення фотосинтезного потоку та коефіцієнта корисної дії джерел випромінювання. // Вісник Тернопільського приладобудівного інституту. 1966. - №2. - С.116-121.
5. Андрійчук В.А., Костик Л.М. Оптимізація джерел випромінювання опромінюючих установок для рослинництва закритого ґрунту// Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Спеціальний випуск "Проблеми економії енергії". 1998. - №1. - С.81-84.
6. Кунгс Я.А., Михеев И.А. Технично-економическое сопоставление облучательных установок защищенного грунта // Светотехника. - 2000. - № 6. - С.38-39.
7. Малышев В.В. О возможности оценки количественных критериев разноматричных ламп для растениеводства по световым параметрам // Ассоциация "Теплицы России". Информационный сборник. - 1999. - № 2. - С 19.
8. Розовский Е.И., Сарычев Г.С. Некоторые аспекты построения эффективных облучательных систем в биотехнологии // Светотехника. - 1993. - №8. - С.3-6.

Одержано 02.01.2002 р.