

- для випадку неістотної безпеки передаваної інформації чи достатності захисту її на вищих рівнях пристрій може вибрати режим роботи без захисту;
- для уникнення неавторизованого доступу до даних пристрою останній може створити список контролю доступу (ACL - *Access Control List*). На цьому рівні не імплементуються жодні криптографічні алгоритми;
- шифрування передаваних даних, зокрема за допомогою симетричного криптографічного алгоритму AES (*Advanced Encryption Standard*).

Висновки. Отримані результати дозволяють вибрати певний конкретний метод передавання даних у ВКС. Перспективним вбачається використання вбудованих безпроводових мереж, зокрема стандарту ZigBee, що і становитиме подальші шляхи досліджень в системах промислової автоматички.

Література

1. Adamowicz K., Winiecki W. Struktura i organizacja systemów pomiarowych // Materiały Szkoły - Konferencji „Metrologia Wspomagana Komputerowo”. – Zegrze k/Warszawy. – 1993.
2. Nawrocki W. Rozproszone Systemy Pomiarowe. – Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. – 2006.
3. Woźniak J., Nowicki K. Sieci LAN, MAN, WAN – protokoły komunikacyjne. – Kraków: Wydawnictwo Postępu Telekomunikacji. – 2000.
4. Michta E. Systemy Pomiarowo-Sterujące Nowej Generacji // Prace Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Metrologii Elektrycznej METROL. – Zielona Góra: METROL. – 2004.
5. Zheng J., Lee M.J. Will 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality?: A Discussion on a Potential Low Power, Low Bit Rate Standard // IEEE Communications Magazine. – 2004.
6. Marandin D. ZigBee Tutorial // www.ifn.et.tu-dresden.de/~marandin/ZigBee.

Одержано 14.06.2007 р.

УДК 628.979; 621.384

Л.Костик

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ЗА ПАРАМЕТРАМИ ПРИЙМАЧА

Проведено аналіз процесів поглинання і перетворення випромінювання, яке використовується в оптичних технологіях. Дано оціночну характеристику продуктивності світлотехнічної установки акумулюючої дії. На прикладі світлокультури рослин подано методику порівняльного аналізу ефективності опромінювальних установок з різними джерелами випромінювання. Показано, що найвищу ефективність мають установки з опромінювальними пристроями, які оснащені натрієвими та галогенними дуговими лампами як постійного, так і змінного опромінення.

L.Kostyk

OPTIMIZATION OF IRRADIATING SYSTEM POWER EFFICIENCY ON TO PARAMETERS OF RECEIVER

The analysis of processes of absorption and transformation of radiation which is used in optical technologies is conducted. Evaluation description of productivity of irradiating system power of accumulated action is given. On the example of lightculture plants the method of comparative analysis of power efficiency of irradiating system is given with different light sources. It is rotined that the greatest efficiency have irradiating system with the irradiating devices which are equipped by sodiums and halogens arc lamps of both constant and variable irradiation.

Вступ

Значення нормативних характеристик опромінювальних установок (ОУ) визначають затрати матеріалів та електроенергії на їх виготовлення та експлуатацію, тому, крім продуктивності ОУ, слід брати до уваги і її енергетичну ефективність.

Ефективність ОУ залежить перш за все від:

а) світлової віддачі, або енергетичної ефективності джерел випромінювання (ДВ) та терміну їх експлуатації;

б) світлотехнічних (коефіцієнта корисної дії та середнього експлуатаційного коефіцієнта використання потоку випромінювання опромінювального пристрою (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.

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

Таким чином, для опромінювальних установок, які використовуються в оптичних технологіях, кінцевою метою їх нормування є:

– забезпечення необхідного рівня якісних і кількісних характеристик опромінення, які визначають продуктивність установки;

– регламентація затрат електроенергії, матеріалів та обладнання на їх виготовлення, а також засобів на експлуатацію установки.

Для прикладу в якості приймача взято біологічний об'єкт, в якому протікають процеси фотосинтезу (рослини, водорості тощо).

Існує ряд критеріїв для оцінки ефективності дії опромінення на рослини [1-3]. Виходячи з фотохімічної природи фотосинтезу, його ефективність можна оцінити за виділеним киснем. Цей метод широко застосовується при фізіологічних дослідженнях рослин [1,2]. З точки зору виробничо-господарської діяльності, ефективність опромінення рослин оцінюється за кінцевим продуктом – масою плодів або коренеплодів, масою листків або загальною біомасою в залежності від того, яка частина рослин викликає господарський інтерес [3].

При оцінці біологічної цінності випромінювання в практиці вирощування рослин на закритому ґрунті виробилися три підходи:

1) оцінка ефективності джерел випромінювання в системі фотосинтезних величин, в основі якої є фотосинтезний потік або фітопотік [4-7];

2) оцінка ефективності джерел за інтегральним потоком випромінювання або потоком фотосинтезноактивної радіації (ФАР). В цьому випадку спектральна ефективність зображається П-подібною функцією, тобто зелений листок рослини замінено приймачем з неселективною чутливістю [8-10];

3) для порівняльної оцінки ефективності джерел ОВ з різним спектральним складом використовують співвідношення між потоками квазімонохроматичного випромінювання видимої області [4,9].

Метою даної роботи є аналіз енергетичної ефективності ОУ з врахуванням параметрів об'єкта опромінення, а також проведення техніко-економічного співставлення можливих варіантів ОУ з врахуванням їх нормованих параметрів, що дозволило б вибрати таке штучне опромінення, яке б забезпечувало мінімум наведених затрат для вирощування біологічних об'єктів у замкнутому екологічному середовищі.

Аналіз процесів поглинання та перетворення випромінювання в оптичних технологіях

Поглинання і перетворення енергії випромінювання, яке використовується в оптичних технологіях, має дискретний характер. Кількість структурних частинок речовини (пігментів у фотометричних об'єктах, фоточутливих хімічних комплексів і т.п.), які провзаємодіяли з фотонами протягом часу t , визначається так [8-10]:

$$M_e = n_\alpha \cdot \eta_{\kappa\sigma}, \quad (1)$$

де M_e – кількість структурних частинок речовини, які вступили в реакцію з фотонами протягом часу t ;

n_α – кількість фотонів, поглинутих речовиною за цей час;

$\eta_{\kappa\sigma}$ – квантовий вихід процесу перетворення випромінювання.

Для монохроматичного випромінювання (таким випромінюванням може виступати лазерне випромінювання, випромінювання напівпровідникових джерел світла) рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$M_e = \frac{Q_\alpha(\lambda)}{h\nu} \cdot \eta_{\kappa\sigma}(\lambda) = \frac{1 - e^{-\kappa(\lambda)t}}{h\nu} \cdot (1 - \rho(\lambda)) \cdot \eta_{\kappa\sigma}(\lambda) \cdot Q(\lambda), \quad (2)$$

або на одиницю площі опромінювальної поверхні

$$m_t = \frac{M_e}{S} = \frac{1 - e^{-\kappa(\lambda)t}}{h\nu} \cdot (1 - \rho(\lambda)) \cdot \eta_{\kappa\sigma}(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot t, \quad (3)$$

де $Q_\alpha(\lambda)$ – енергія монохроматичного випромінювання, поглинутого речовиною, Дж;

$Q(\lambda)$ – енергія цього ж випромінювання, яке попадає на речовину протягом часу t ;

$\kappa(\lambda)$ – показник поглинання монохроматичного випромінювання речовиною, м^{-1} ;

$\rho(\lambda)$ – спектральний коефіцієнт відбивання опромінювальної поверхні;

$E(\lambda)$ – спектральна густина опромінення речовини, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$;

$\eta_{\kappa\sigma}(\lambda)$ – квантовий вихід процесу перетворення випромінювання з довжиною хвилі λ .

Швидкість процесу перетворення випромінювання дорівнює

$$\frac{dm_e}{dt} = \frac{1 - e^{-\kappa(\lambda)t}}{h\nu} \cdot (1 - \rho(\lambda)) \cdot \eta_{\kappa\sigma}(\lambda) \cdot E(\lambda). \quad (4)$$

Для більшості біологічних об'єктів (рослини, водорості, фоточутливі бактерії) квантовий вихід процесу перетворення випромінювання, показник поглинання та коефіцієнт відбивання випромінювання є функціями довжини хвилі, що визначає селективність чутливості приймачів випромінювання. Крім того, в процесі перетворення енергії випромінювання, необхідно враховувати непродуктивні її втрати. Ці втрати визначаються двома факторами:

а) не всі поглинуті фотони беруть участь у процесах перетворення енергії;

б) частина енергії поглинутого фотона іде на нагрівання взаємодіючої з випромінюванням речовини.

Таким чином, середнє значення втрат енергії в процесі перетворення кожного фотона під час оптичних технологій можна визначити як середнє значення к.к.д. елементарного процесу перетворення $\eta_c(\lambda)$ [9,11].

Використовуючи поняття $\eta_c(\lambda)$, можна записати ефективне значення енергії процесу перетворення монохроматичного випромінювання як добуток кількості структурних частинок речовини, які вступили в реакцію, на ефективне значення енергії кожного елементарного процесу перетворення фотона:

$$Q_e(\lambda) = M_e \cdot h\nu \cdot \eta_c(\lambda), \quad (5)$$

або

$$q_e(\lambda) = m_e \cdot h\nu \cdot \eta_c(\lambda), \quad (6)$$

де $Q_e(\lambda)$ – ефективне значення енергії процесу перетворення протягом всього часу дії випромінювання;

$q_e(\lambda)$ – густина ефективного значення енергії на опромінювальній поверхні;

$\eta_c(\lambda)$ – середнє значення к.к.д. процесу перетворення монохроматичного випромінювання.

Використовуючи рівняння (2) і (3), можна виразити ефективні значення енергії процесу перетворення через енергетичні характеристики однорідного випромінювання:

$$dQ_e(\lambda) = \alpha(\lambda) \cdot \eta_e(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) \cdot dt \quad (7)$$

або

$$dq_e(\lambda) = \alpha(\lambda) \cdot \eta_e(\lambda) \cdot e(\lambda) \cdot dt, \quad (8)$$

де $\alpha(\lambda) = (1 - e^{-\kappa(\lambda)l}) \cdot (1 - \rho(\lambda))$ – коефіцієнт поглинання монохроматичного випромінювання;

$\eta_e(\lambda) = \eta_{\kappa e}(\lambda) \cdot \eta_c(\lambda)$ – енергетичний вихід перетворення монохроматичного випромінювання.

Ефективне значення енергії складного випромінювання на ділянці спектру $(\lambda_1 \dots \lambda_2)$, яка діяла на речовину протягом часу від t_1 до t_2 , визначається як

$$Q_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{t_1}^{t_2} \varphi(\lambda, t) \cdot \alpha(\lambda) \cdot \eta_e(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt \quad (9)$$

або

$$q_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{t_1}^{t_2} e(\lambda, t) \cdot \alpha(\lambda) \cdot \eta_e(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt, \quad (10)$$

де $\varphi(\lambda, t)$ – миттєве значення спектральної густини потоку випромінювання;

$e(\lambda, t)$ – миттєве значення спектральної густини опроміненості речовини.

Якщо речовину, яка реагує на поглинуте випромінювання, розглядати як приймач оптичного випромінювання, то чутливість приймача визначається відношенням ефективного значення енергії до енергії падаючого на приймач випромінювання:

$$g(\lambda) = C \cdot \frac{Q_e(\lambda)}{\Phi(\lambda) \cdot t}, \quad (11)$$

де C – коефіцієнт пропорційності.

Отже, продуктивність світлотехнічної установки для оптичних технологій акумулюючої дії (фотосинтезних, фотохімічних, фотографічних і т.п.) можна охарактеризувати ефективним значенням енергії процесу за час дії установки від t_1 до t_2 :

$$Q_e = \frac{S}{C} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{t_1}^{t_2} e(\lambda, t) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt, \quad (12)$$

де $g(\lambda)$ – спектральна функція чутливості приймача;

C – постійний коефіцієнт, який визначається вибором одиниць вимірювання Q_e ;

S – площа світлочутливої поверхні приймача.

При рівномірному опроміненні світлочутливої поверхні приймача питома продуктивність ОУ (продуктивність з одиниці площі опромінювальної поверхні) акумулюючої дії визначається як

$$q_e = \frac{1}{C} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{t_1}^{t_2} e(\lambda, t) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt, \quad (13)$$

якщо $e_\lambda(t) = const$,

$$q_e = \frac{t}{C} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda = \frac{\varepsilon \cdot t}{C}, \quad (14)$$

де $\varepsilon = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e(\lambda) \cdot g(\lambda) \cdot d\lambda$ – постійна в часі густина опроміненості приймача ефективним потоком.

Всі наведені вище рівняння (12)-(14), згідно з якими визначається продуктивність світлотехнічних установок акумулятивної дії, показують лінійну залежність їх продуктивності від поглинутої ефективної енергії випромінювання. Така залежність спостерігається лише в тих випадках, коли оптичні властивості речовини, на яку діє випромінювання, і концентрація молекул залишаються незмінними протягом всього часу експлуатації установки.

Із (13) випливає, що продуктивність ОУ визначається ефективною енергією випромінювання або кількістю ефективної опроміненості приймача. Це правило для установок фотохімічної дії називають законом Бунзена-Роско. Він виконується лише тоді, коли протягом часу дії установки залишаються незмінними показник поглинання випромінювання $\kappa(\lambda)$ і ефективне значення густини опромінення $e(\lambda)$. Умова $\kappa(\lambda)=\text{const}$ для будь-якої ділянки спектру визначається незмінністю концентрації поглинаючих центрів в речовині.

Енергетична ефективність ε опромінюючої установки визначається відношенням ефективного значення енергії, яку випромінює установка Q_e , до енергії, яку споживають джерела випромінювання всієї установки Q_y , або відношенням її питомого значення q_e до питомого значення енергії джерел випромінювання q_y , яка припадає на одиницю площі опромінювальної поверхні:

$$\varepsilon = \frac{Q_e}{Q_y} = \frac{q_e}{q_y}, \quad (15)$$

де Q_e – ефективне значення енергії процесу перетворення випромінювання;

Q_y – енергія, яку споживають джерела випромінювання установки протягом всього часу їх роботи;

q_e, q_y – питомі значення тих же величин на одиницю площі світлочутливої поверхні приймача.

Якщо потужність та продуктивність установки не змінюється з часом, то її ефективність можна виразити як відношення потужностей:

$$\varepsilon = \frac{N_e}{N_y}, \quad (16)$$

де N_e – ефективне значення потужності установки;

N_y – повна потужність установки.

Ефективне значення потужності установки N_e чисельно дорівнює ефективному потоку випромінювання, що дозволяє рівняння (16) записати у вигляді

$$\varepsilon = \frac{\Phi_e}{N_y}, \quad (17)$$

де Φ_e – ефективний потік випромінювання, який попадає на робочу поверхню приймача.

Оптимізація енергетичної ефективності ОУ для світлокультури рослин

Підвищення енергетичної ефективності опромінювальних пристроїв пов'язане із зниженням енергозатрат на їх експлуатацію та зменшенням часу їх окупності [11]. Ефективність ОП у кінцевому варіанті визначається вартістю світлової енергії, що генерується протягом усього часу його експлуатації. Згідно з [12,13], енергетична ефективність опромінювальних установок (ОУ) визначається відношенням повного потоку випромінювання до її середньої потужності за час експлуатації

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

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.

Для вирощування рослин у промислових умовах тепличних господарств протягом останніх двадцятих років використовувалися лампи ДРЛФ-400. Нині розроблено ряд нових джерел випромінювання, що значно переважають їх за основними показниками: енергетичною та фотосинтезною ефективностями, потоком ФАР, часом експлуатації. Детальний аналіз ДВ для світлокультури рослин закритого ґрунту виконано у [14,15], 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 [14,15], відносна потужність опромінювальних установок, що порівнюються, визначається за формулою:

$$P_{\text{вд}} = \frac{\alpha_1 \cdot E_{\Phi_2} \cdot K_{32} \cdot \eta_{\Phi_1}}{\alpha_2 \cdot E_{\Phi_1} \cdot K_{31} \cdot \eta_{\Phi_2}}, \quad (18)$$

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, яка 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 (18) так:

$$P_{\text{вд}} = \frac{K_{32} \cdot \eta_{\Phi_1}}{K_{31} \cdot \eta_{\Phi_2}}. \quad (19)$$

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

$$N_2 = N_1 \cdot P_{\text{вд}}, \quad (20)$$

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

N_1 - число ОП у вихідній ОУ.

При обчисленні відносної потужності за формулою (19) 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:

$$A_{\text{вд}} = \left[1 - \frac{\eta_{\Phi_1}}{\eta_{\Phi_2}} \right] \cdot 100\%. \quad (21)$$

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 [16,17].

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

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

де $P_{\text{вст}} = P_{\text{Л}} N$ - встановлена потужність ОУ;

$t_{\text{роб}}$ - час опромінення.

Результати обчислень техніко-економічних характеристик найрозповсюдженіших опромінювальних установок для рослин закритого ґрунту подано 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
ЖО-01 (змінне опромінення)	ДНаТ 400	30	15000	550	5808	23452

Річна економія електроенергії у результаті використання різних типів ОП з натрієвими та галогенними дуговими джерелами світла, обчислена відносно ОУ з опромінювачами неперервної дії ОТ-400 з лампою ДРЛФ, сягає понад 13 тис. кВт·год на площі 230 м² при рівні опромінення ФАР 30 Вт/м². Для опромінювачів змінного опромінення ЖО-01 з лампами ДНаТ-400 річна економія досягає більше 23 тис. кВт·год.

Висновки. Проведено аналіз факторів впливу параметрів опромінювальних установок на продуктивність біологічних об'єктів.

Наведено залежність продуктивності світлотехнічних установок акумулюючої від поглинутої ефективної енергії випромінювання та часу опромінення.

Подано методику порівняльного аналізу енергетичної 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, а також ОП змінного опромінення.

Література

1. Современные методы исследования фотобиологических процессов / Под ред. А.Б.Рубина. – М.: Изд. МГУ, 1974. – 160 с.
2. Саламатова Т.С., Зауралова О.А. Физиология выделения веществ растениями. – Л.: Изд-во Лен. ун-та, 1991. – 152 с.
3. Фізіолого-біохімічні особливості живлення рослин біологічним азотом / С.Я.Коць, С.М.Маліченко, О.Д.Кругова. – К.: Логос, 2001. – 272 с.

4. ОСТ 46 140-83 Излучение оптическое. Оценка фотосинтезной эффективности. Термины и определения.
5. А. С. № 124669 (СССР). Способ оценки действия оптического излучения на растения / И.И. Свентицкий. Б.И. – 1959. - № 23.
6. Свентицкий И.И. Оценка фотосинтезной эффективности оптического излучения // Светотехника. – 1972. - №4. - С.23-24.
7. Хазанов В.С. О фитофотометрической оценке излучения // Светотехника. – 1978. - №5. - С.24-26.
8. Лисовский Г.М., Прикупец Л.Б., Сарычев Г.С., Сыдько Ф.Я., Тихомиров А.А. Экспериментальная оценка эффективности источников света в светокультуре растений // Светотехника. - 1983. - № 4 - С.7-9.
9. Вассерман А.Л., Квашин Г.Н., Малышев В.В. Об оценки эффективности действия источников излучения на растения // Светотехника. - 1986. - № 7 - С.14-15.
10. Казенас В.Ю. Биофотометрический контроль облучения растений// Светотехника. - 1993. - № 8. - С.1-3.
11. Айзенберг Ю.Б. Проблема энергосбережения в осветительных установках // Светотехника. - 1998. - № 6. - С.11-18.
12. Вайнер Б.Г., Зонневельдт Л. Энергетические аспекты освещения зданий // Светотехника. - 1996. - №9. - С.25-28.
13. Слейгер А.И. Об энергоэффективности внутреннего освещения // Светотехника. - 1996. - № 42. - С.7-10.
14. Кунгс Я.А., Михеев И.А. Технично-економическое сопоставление облучательных установок защищенного грунта // Светотехника. - 2000. - № 6. - С.38-39.
15. Малышев В.В. О возможности оценки количественных критериев разнспектральных ламп для растениеводства по световым параметрам // Ассоциация "Теплицы России". Информационный сборник. - 1999. - № 2. - С 19.
16. Андрійчук В.А., Дворницький В.М., Костик Л.М. Автоматизований метод визначення фотосинтезного потоку та коефіцієнта корисної дії джерел випромінювання // Вісник Тернопільського приладобудівного інституту. - 1996. - №2. - С.116-121.
17. 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.

Одержано 22.05.2007 р.

УДК 681.3.5

О. Адамів

Тернопільський національний економічний університет

МЕТОД НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА В НЕСТРУКТУРОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

На основі аналізу методів глобальної та локальної навігації автономним мобільним роботом виділено основні недоліки існуючих методів навігації. Запропоновано метод навігації, що базується на використанні методу потенційних полів з переміщенням до цілі, враховуючи градієнт напрямку до цілі. Також в методі передбачено обхід блокуючих перешкод, що дозволяє мобільному роботу виходити з локальних мінімумів (тупиків) з контролем повернення на попередню траєкторію руху. Проведено імітаційне моделювання та дослідження запропонованого методу на реальній базі мобільного робота Robotino, що підтвердило виконання критерію виходу на ціль в неструктурованому середовищі.

O.Adamiv

THE METHOD FOR MOBILE ROBOT NAVIGATION IN THE UNSTRUCTURED ENVIRONMENT

The analysis of global and local navigation methods for an autonomous mobile robot allowed to select the main lacks of existent methods of navigation. The local navigation method based on the use of potential