

## ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОПРОМІНЕННЯ РОСЛИН В ТЕПЛИЦЯХ

*Л. С. Червінський, доктор технічних наук, професор*

*О. А. Макода, аспірант*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: [lchervinsky@nubip.edu.ua](mailto:lchervinsky@nubip.edu.ua)*

**Анотація.** *Електротехнологічний комплекс енергоефективного опромінення рослин в теплицях є важливим аспектом у сучасному агропромисловому виробництві, оскільки він забезпечує оптимальні умови для росту та розвитку рослин, зменшуючи витрати енергії. У цьому комплексі використовуються сучасні технології освітлення, які дозволяють ефективно використати природне та штучне освітлення, оптимізуючи його інтенсивність і спектр для забезпечення максимального фотосинтетичного ефекту.*

*Один із основних принципів енергоефективного опромінення полягає у використанні світлодіодних ламп (LED), що дає можливість регулювати спектр світла, адаптуючи його до конкретних потреб рослин. Ці лампи мають високу енергоефективність та довгий термін служби, що дозволяє знижувати витрати на електроенергію та обслуговування. Крім того, застосування автоматизованих систем керування, таких як датчики освітленості та температури, дає змогу підтримувати оптимальний мікроклімат у теплицях.*

*Інтеграція таких систем в агропромислові комплекси дозволяє не лише підвищити врожайність, а й зменшити вплив на навколишнє середовище завдяки раціональному використанню енергії. Розробка та впровадження енергоефективних технологій опромінення в теплицях є важливим кроком до сталого розвитку аграрного сектору, зокрема в умовах зміни клімату та підвищення попиту на екологічно чисту продукцію.*

**Ключові слова:** *електротехнологічний комплекс, енергоефективність, опромінення рослин, теплиця, світлодіодне освітлення, автоматизація, агропромислове виробництво*

**Актуальність.** В умовах сучасного агропромислового виробництва однією з важливих складових забезпечення високих врожаїв є створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин. Одним із ключових аспектів таких умов є освітлення, яке відіграє важливу роль у процесі фотосинтезу та розвитку рослин. Традиційні методи освітлення в теплицях мають низку обмежень, зокрема високі енергетичні витрати та низьку ефективність використання ресурсів. Тому зростає потреба в

розробці нових технологій, здатних забезпечити високу ефективність і знизити енергетичні витрати при одночасному підвищенні врожайності.

Електротехнологічний комплекс енергоефективного опромінення рослин у теплицях являє собою інноваційну систему, що поєднує новітні досягнення в галузі електроніки та агротехніки. Використання таких технологій, зокрема світлодіодних ламп, дає змогу оптимізувати спектр світла, його інтенсивність та час опромінення відповідно до потреб рослин. Це дозволяє значно знизити споживання енергії, скоротити витрати на електроенергію та забезпечити стабільні умови для росту рослин у будь-який час року [4].

Окрім енергоефективності, важливим аспектом є автоматизація процесу управління освітленням, що дозволяє максимально точно налаштовувати параметри освітлення та клімату в теплицях, тим самим знижуючи вплив людського фактора та підвищуючи продуктивність. Впровадження електротехнологічних комплексів в аграрний сектор стає важливим етапом на шляху до сталого розвитку сільського господарства, забезпечуючи не лише економічні, але й екологічні переваги.

Таким чином, розробка та використання енергоефективних технологій опромінення рослин у теплицях є перспективним напрямом, який має потенціал значно покращити ефективність агропромислового виробництва, зменшуючи при цьому екологічне навантаження та витрати на енергію [2].

**Аналіз останніх джерел та публікацій.** Енергоефективне опромінення рослин у теплицях є однією з найбільш перспективних тем сучасного агропромислового виробництва. Використання технологій для зменшення енергоспоживання, водночас забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин, є актуальним для підвищення врожайності, зниження витрат та сприяння сталому розвитку агропромислових комплексів. Застосування електротехнологічних систем опромінення, зокрема на основі світлодіодних ламп (LED), відкриває нові можливості для енергоефективного управління тепличними процесами.

Дослідження показують, що використання світлодіодних ламп дає змогу значно зменшити витрати енергії в порівнянні з традиційними методами освітлення, такими як лампи розжарювання або металогалогенні лампи. LED-лампи дозволяють точно

налаштовувати спектр світла відповідно до потреб різних етапів розвитку рослин [9].

Світлодіодне освітлення є одним із основних елементів електротехнологічних комплексів енергоефективного опромінення. Переваги світлодіодних ламп включають не лише високий рівень енергоефективності, але й здатність до точного налаштування спектру світла. Це дозволяє підвищити фотосинтетичну активність рослин і забезпечити максимальну ефективність росту. Як показують дослідження, використання світлодіодних ламп дозволяє отримувати більший урожай при менших енергетичних витратах, порівняно з традиційними освітлювальними системами [6].

Особливістю світлодіодних ламп є їх здатність до зміни спектру освітлення в залежності від потреб рослин. Наприклад, для активного росту рослин більш ефективним є червоний і синій спектр, який стимулює фотосинтез. Для підтримки процесу цвітіння і плодоношення можна застосовувати більш вузькі спектри світла, що дозволяє точніше налаштувати умови для кожного етапу розвитку рослин.

Дослідження показують, що автоматизовані системи дозволяють значно знизити енергоспоживання, оскільки вони можуть адаптувати параметри освітлення залежно від рівня природного освітлення та кліматичних умов. Врахування зміни погодних умов дозволяє забезпечити рівномірне освітлення в теплиці, що сприяє кращому росту рослин [13].

Постійний розвиток технологій у сфері енергоефективного освітлення дозволяє покращувати характеристики таких систем. Вчені та інженери працюють над удосконаленням LED-технологій, створюючи нові матеріали для підвищення світловіддачі та ефективності. Одним із напрямів розвитку є застосування гібридних систем освітлення, що комбінують природне сонячне світло з штучним освітленням, таким чином знижуючи споживання електроенергії.

Роботи С. А. Ахмеда та М. Аслама вказують на можливості інтеграції різних технологій освітлення, таких як використання технологій OLED, що мають потенціал значно покращити рівень енергоефективності та зменшити вуглецевий слід тепличних господарств [8].

Застосування енергоефективних електротехнологічних комплексів у теплицях має не лише економічні, але й екологічні переваги. Економічно такі системи забезпечують скорочення витрат на електроенергію, що має значний ефект для агропідприємств. Крім того, зниження енергоспоживання сприяє зменшенню викидів парникових газів, що є важливим аспектом сталого розвитку аграрної сфери.

Дослідження доводять, що інвестиції в енергоефективні технології можуть бути економічно виправдані завдяки їх швидкому поверненню. В результаті, застосування таких технологій не лише знижує експлуатаційні витрати, але й сприяє покращенню загальної екологічної ситуації в регіоні [12].

**Мета дослідження** – аналіз енергоефективного світлодіодного опромінення рослин у теплиці.

#### **Матеріали та методи дослідження.**

##### *1. Світлодіодні лампи (LED).*

Основним сучасним джерелом штучного освітлення є світлодіодні лампи, що забезпечують високу енергоефективність та можливість точного налаштування спектра світла [13].

#### **1. Ефективність поглинання спектрів світла рослинами та їх вплив на ріст**

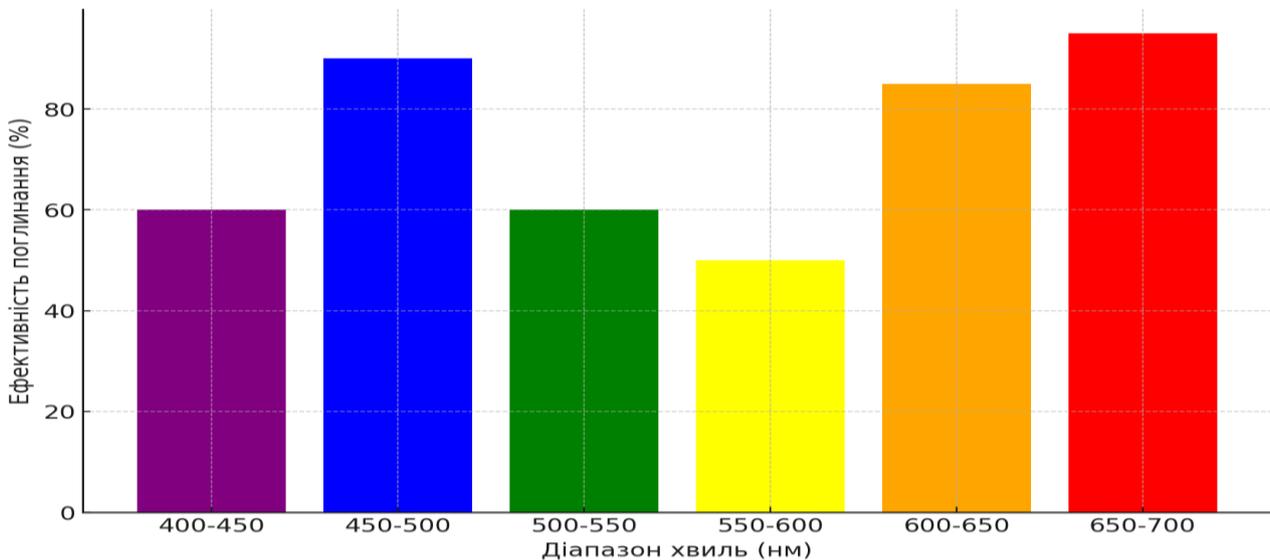
Діапазон хвиль (нм)	Тип світла	Ефективність поглинання рослинами (%)	Вплив на ріст рослин
400-450	УФ-А	60	Стимулює проростання та ранній ріст
450-500	Синій	90	Покращує фотосинтез та вегетативний ріст
500-550	Зелений	60	Малий вплив на фотосинтез
550-600	Жовтий	50	Помірне покращення фотосинтезу
600-650	Помаранчевий	85	Сприяє цвітінню та плодоношенню
650-700	Червоний	95	Стимулює цвітіння та плодоношення

Для регулювання продуктивністю опромінюваних рослин можуть бути використані лампи різних спектрів (табл. 1), наприклад:

1. Червоний спектр (для стимулювання фотосинтезу);
2. Синій спектр (для активного росту);

3. Повний спектр (комбінація різних кольорів для імітації природного сонячного світла).

Вибір спектру залежить від специфічних потреб рослин на різних етапах їх розвитку (рисунок).



**Рисунок. Ефективність поглинання різних спектрів світла рослинами**

### *2. Датчики освітленості, температури та вологості.*

Для моніторингу та управління умовами освітлення в теплицях використовуються різні датчики:

- датчики освітленості (для вимірювання інтенсивності світла, що потрапляє на рослини).

- датчики температури та вологості (для визначення температури та рівня вологості повітря та ґрунту в теплиці, що важливо для коректної роботи автоматизованої системи керування).

### *3. Рослини для дослідження*

Вибір рослин для дослідження залежить від мети експерименту. Зазвичай використовуються швидкорослі рослини, які мають короткий вегетаційний період, наприклад: салат; цибуля зелена ріпчаста; редис; горох.

Ці рослини добре реагують на зміни в умовах освітлення і є достатньо чутливими до спектральних характеристик світла.

#### 4. Теплиці та інфраструктура

Для проведення експериментів використовуються теплиці, в яких контролюються основні параметри середовища: температура, вологість і рівень освітленості. У таких теплицях можуть бути встановлені автоматизовані системи для регулювання освітлення та мікроклімату.

#### Результати дослідження та їх обговорення.

##### 1. Аналіз енергоефективності опромінення

Оцінка ефективності різних джерел світла для опромінення рослин проводиться за допомогою таких методів:

1. Визначення споживаної енергії: вимірюється споживана потужність різних ламп (світлодіодних).
2. Оцінка світлового потоку: за допомогою люкметрів або спектрофотометрів визначається рівень освітленості на різних відстанях від ламп.
3. Визначення коефіцієнта корисної дії (ФАР): оцінюється, яка частина споживаної енергії перетворюється в корисне фотосинтезне світло, а не в тепло.

Оптимальний спектр світла можна розрахувати через співвідношення інтенсивностей світла на різних довжинах хвиль, щоб максимізувати ефективність фотосинтезу:

$$S_{opt} = \arg \max \int \lambda_1 \lambda_2 P(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

де  $S_{opt}$  – оптимальний спектр світла для рослини;  $P(\lambda)$  – спектральна інтенсивність джерела світла;  $R(\lambda)$  – спектральна чутливість рослини;  $\lambda_1, \lambda_2$  – межі спектра, що розглядається (для рослин від 400 до 700 нм).

Ця формула дозволяє вибрати оптимальний спектр для кожної фази розвитку рослин [17].

##### 2. Визначення впливу освітлення на ріст і розвиток рослин

Для оцінки впливу різних спектрів світла на рослини проводяться такі вимірювання :

1. Вимірювання швидкості росту: періодично визначають висоту рослин, кількість листя, масу кореневої системи за певний період часу, тощо.

2. Фотосинтетична активність: періодично вимірюється інтенсивність фотосинтезу за допомогою газоаналізаторів (наприклад, комплексне вимірювання рівня CO<sub>2</sub>, що поглинається рослиною) [11,13,16].

Фотосинтетична активність визначається через ефективність використання світла для фотосинтезу:

$$FA = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) \cdot R(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

де  $FA$  – фотосинтетична активність рослини;  $P(\lambda)$  – спектральна потужність джерела світла (залежить від типу лампи);  $R(\lambda)$  – спектральна чутливість рослини до певної довжини хвилі (залежить від виду рослини);  $\lambda_1, \lambda_2$  – межі спектра (наприклад, від 400 до 700 нм для фотосинтезного світла).

Ця формула дозволяє оцінити, наскільки якісно конкретний спектр світла від даної лампи стимулює фотосинтез рослин [17,18].

3. Оцінка якості врожаю: для культур, таких як томати чи перець, визначають кількість та якість плодів, а також їх розміри.

#### 4. Статистичний аналіз результатів

Для оцінки ефективності різних режимів освітлення та умов вирощування рослин використовувались статистичні методи:

1. Порівняльний аналіз: порівнюється ріст рослин за різних спектрів світла, типів ламп, рівнів освітленості.
2. Кореляційний аналіз: досліджується залежність між параметрами освітлення та результатами росту рослин (наприклад, між інтенсивністю світла та кількістю отриманого врожаю).
3. Розрахунок енергетичної ефективності: оцінюється, скільки енергії витрачається на одиницю виробленої продукції (кількість врожаю або кількість вирощених рослин) [11,17,18].

Енергоефективність визначається відношенням кількості врожаю, отриманого на одиницю спожитої енергії:

$$EE = \frac{Y}{E}, \quad (3)$$

де  $EE$  – енергоефективність;  $U$  – кількість врожаю (наприклад, маса або кількість плодів);  $E$  – спожита енергія (наприклад, кількість енергії, витраченої на освітлення).

Ця формула дозволяє порівнювати ефективність різних типів освітлення в контексті врожайності та витрат енергії.

#### 4. Оцінка економічної ефективності

Для оцінки економічної доцільності впровадження енергоефективних технологій освітлення проводиться аналіз витрат і вигоди:

1. Розрахунок економічної ефективності: порівнюється вартість енергії, що витрачається на освітлення, із доходом від отриманого врожаю.
2. Термін окупності інвестицій: визначається час, необхідний для повернення інвестицій у світлодіодні системи освітлення.

#### **Висновок і перспективи.**

Використання сучасних електротехнологічних комплексів енергоефективного опромінення рослин в теплицях потребує комплексного підходу, який включає вибір світлотехнічного обладнання (світлодіоди, датчики, автоматизовані системи), а також застосування різноманітних достовірних методів дослідження для оцінки ефективності технологій освітлення та їх впливу на ріст і розвиток рослин. Під час проведення досліджень важливо враховувати як енергетичні, так і економічні та агрономічні аспекти впровадження таких систем.

Ці технології можуть стати важливим кроком до більш сталого та ефективного агропромислового виробництва, сприяючи підвищенню ефективності вирощування рослин при зменшенні витрат енергії та ресурсів.

#### **Список використаних джерел**

1. Бойко, І. П., Калінчук, О. С. (2018). *Адаптація світлодіодних систем освітлення для тепличного виробництва*. Технології агрономії. Режим доступу: <https://www.agro.tehnologii.ua>
2. Кирилюк, А. І., Сидоренко, С. С. (2017). *Енергоефективність світлодіодних ламп у системах освітлення теплиць*. Енергоефективність: наука, технології,

- застосування. Режим доступу: <https://www.energyjournal.ua>
3. Коваленко, І. В., Чернявський, О. І. (2019). *Оптимізація світлових умов для рослин в закритих приміщеннях*. Сучасні проблеми аграрної науки. Режим доступу: <https://www.agrovesti.com>
4. Мельник, В. І., Ткаченко, В. П. (2020). *Використання світлодіодного освітлення для покращення фотосинтетичних процесів у теплицях*. Агротехніка та енергозбереження в аграрному секторі. Режим доступу: <https://www.agrartech.com.ua>
5. Левченко, В. М., Гуменюк, Т. О. (2018). *Енергоефективне освітлення в тепличних господарствах*. Вісник аграрної науки. Режим доступу: <https://www.agrarnews.ua>
6. Шевченко, С. В., Лук'яненко, В. О. (2020). *Аналіз енергоефективності різних типів освітлення в агропромислових теплицях*. Вісник харчової промисловості. Режим доступу: <https://www.foodtech.com.ua>
7. Черненко, І. С. (2017). *Використання світлодіодних технологій для освітлення рослин у теплицях*. Аграрна наука і технологія. Режим доступу: <https://www.agrosvit.com>
8. Ahmed, S. A., Aslam, M. (2018). *Evaluation of Energy-Efficient LED Lighting for Plant Growth Enhancement in Controlled Environments*. Renewable Energy Research Journal. Режим доступу: <https://www.renewableenergyjournal.com>
9. Chiranjeevi, G. S. V. R., Pandey, A. (2016). *Analysis of the Energy Efficiency of LED-Based Lighting Systems for Horticultural Applications*. Journal of Agricultural Engineering Research. Режим доступу: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-agricultural-engineering-research>
10. Choi, Y. H., Lim, J. H. (2015). *Effect of Different Light Spectra on Plant Growth and Photosynthesis*. International Journal of Agriculture & Biology. Режим доступу: <https://www.fspublishers.org>
11. Bula, R. J., et al. (2000). *Light Emitting Diodes as an Illumination Source for Plant Growth in a Hydroponic Environment*. HortScience, 35(6), 1121-1124. Режим доступу: <https://journals.ashs.org>
12. Guo, L. M., et al. (2019). *Application of LED Lighting Systems for Energy-Saving and High-Yield in Agricultural Greenhouses*. Energy Reports. Режим доступу: <https://www.journals.elsevier.com/energy-reports>
13. Feng, X., et al. (2016). *Energy-Efficient Lighting Systems for Plant Growth in Controlled Environments*. Energy Reports, 2, 295-302. Режим доступу: <https://www.journals.elsevier.com/energy-reports>
14. Morrow, R. C. (2008). *LEDs in Horticultural Applications*. HortScience, 43(7), 1947-1952. Режим доступу: <https://journals.ashs.org>
15. Kim, H. H., et al. (2013). *Growth and Photosynthesis of Lettuce and Tomato Grown under Different Light Quality and Intensities in a Controlled Environment*. Plant Growth Regulation, 71(3), 137-148. Режим доступу: <https://www.springer.com/journal/11102>

16. Li, R. X., & Xu, L. (2017). *Impact of Artificial Light on Plant Growth in Greenhouses: A Review. International Journal of Environmental Science and Technology.* Режим доступу: <https://www.springer.com/journal/13762>
17. Saini, R. K., et al. (2020). *LED Light Spectrum and its Effects on Plant Growth: A Review. Agronomy Journal, 112(5), 2312-2322.* Режим доступу: <https://www.agronomy.org>
18. Zhao, X., et al. (2019). *Effect of LED Light on Plant Growth in Greenhouses: A Review of Recent Advances. Environmental and Experimental Botany.* Режим доступу: <https://www.journals.elsevier.com/environmental-and-experimental-botany>
19. Zhang, X., et al. (2020). *The Impact of Different Light Spectra on Photosynthetic Activity and Growth in Lettuce (Lactuca sativa L.) and Tomato (Solanum lycopersicum L.). European Journal of Horticultural Science.* Режим доступу: <https://www.journals.elsevier.com/european-journal-of-horticultural-science>

### References

1. Boiko, I. P., Kalinchuk, O. S. (2018). Adaptatsiia svitlodiodnykh system osvittlenia dlia teplychnoho vyrobnytstva [Adaptation of LED lighting systems for greenhouse production]. Tekhnologii ahronomii. Available at: <https://www.agro.tehnologii.ua>
2. Kyryliuk, A. I., Sydorenko, S. S. (2017). Enerhoefektyvnist svitlodiodnykh lamp u systemakh osvittlenia teplyts [Energy efficiency of LED lamps in greenhouse lighting systems]. Enerhoefektyvnist: nauka, tekhnologii, zastosuvannia. Available at: <https://www.energyjournal.ua>
3. Kovalenko, I. V., Cherniavskiy, O. I. (2019). Optyimizatsiia svitlovykh umov dlia roslyn v zakrytykh prymishchenniakh [Optimizing lighting conditions for plants indoors]. Suchasni problemy ahrarynoi nauky. Available at: <https://www.agrovesti.com>
4. Melnyk, V. I., Tkachenko, V. P. (2020). Vykorystannia svitlodiodnoho osvittlenia dlia pokrashchennia fotosyntetychnykh protsesiv u teplytsiakh [Vykorystannia svitlodiodnoho osvittlenia dlia pokrashchennia fotosyntetychnykh protsesiv u teplytsiakh [Using LED lighting to improve photosynthetic processes in greenhouses]. Ahrotekhnika ta enerhozberezhennia v ahrarynomu sektori. Available at: <https://www.agrartech.com.ua>
5. Levchenko, V. M., Humeniuk, T. O. (2018). Enerhoefektyvne osvittlenia v teplychnykh hospodarstvakh [Energy-efficient lighting in greenhouses]. Visnyk ahrarynoi nauky. Available at: <https://www.agrarnews.ua>
6. Shevchenko, S. V., Luk'ianenko, V. O. (2020). Analiz enerhoefektyvnosti riznykh typiv osvittlenia v ahropromyslovykh teplytsiakh [Energy efficiency analysis of different types of lighting in agricultural greenhouses]. Visnyk kharchovoi promyslovosti. Available at: <https://www.foodtech.com.ua>
7. Chernenko, I. S. (2017). Vykorystannia svitlodiodnykh tekhnologii dlia osvittlenia roslyn u teplytsiakh [Using LED technology for plant lighting in greenhouses]. Ahraryna nauka i tekhnologii. Available at: <https://www.agrosvit.com>

8. Ahmed, S. A., Aslam, M. (2018). *Evaluation of Energy-Efficient LED Lighting for Plant Growth Enhancement in Controlled Environments*. Renewable Energy Research Journal. Available at: <https://www.renewableenergyjournal.com>
9. Chiranjeevi, G. S. V. R., Pandey, A. (2016). *Analysis of the Energy Efficiency of LED-Based Lighting Systems for Horticultural Applications*. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-agricultural-engineering-research>
10. Choi, Y. H., Lim, J. H. (2015). Effect of Different Light Spectra on Plant Growth and Photosynthesis. *International Journal of Agriculture & Biology*. Режим доступу: <https://www.fspublishers.org>
11. Bula, R. J., et al. (2000). Light Emitting Diodes as an Illumination Source for Plant Growth in a Hydroponic Environment. *HortScience*, 35(6), 1121-1124. Available at: <https://journals.ashs.org>
12. Guo, L. M., et al. (2019). *Application of LED Lighting Systems for Energy-Saving and High-Yield in Agricultural Greenhouses*. *Energy Reports*. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/energy-reports>
13. Feng, X., et al. (2016). *Energy-Efficient Lighting Systems for Plant Growth in Controlled Environments*. *Energy Reports*, 2, 295-302. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/energy-reports>
14. Morrow, R. C. (2008). LEDs in Horticultural Applications. *HortScience*, 43(7), 1947-1952. Available at: <https://journals.ashs.org>
15. Kim, H. H., et al. (2013). Growth and Photosynthesis of Lettuce and Tomato Grown under Different Light Quality and Intensities in a Controlled Environment. *Plant Growth Regulation*, 71(3), 137-148. Available at: <https://www.springer.com/journal/11102>
16. Li, R. X., & Xu, L. (2017). *Impact of Artificial Light on Plant Growth in Greenhouses: A Review*. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Available at: <https://www.springer.com/journal/13762>
17. Saini, R. K., et al. (2020). LED Light Spectrum and its Effects on Plant Growth: A Review. *Agronomy Journal*, 112(5), 2312-2322. Available at: <https://www.agronomy.org>
18. Zhao, X., et al. (2019). Effect of LED Light on Plant Growth in Greenhouses: A Review of Recent Advances. *Environmental and Experimental Botany*. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/environmental-and-experimental-botany>
19. Zhang, X., et al. (2020). The Impact of Different Light Spectra on Photosynthetic Activity and Growth in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *European Journal of Horticultural Science*. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/european-journal-of-horticultural-science>

## ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX OF PLANTS ENERGY-EFFICIENT IRRADIATION IN GREENHOUSES

*L. Chervinsky, O. Makoda*

**Abstract.** *The electrotechnological complex of energy-efficient irradiation of plants in greenhouses is an important aspect in modern agro-industrial production, as it provides optimal conditions for plant growth and development, reducing energy consumption. This*

*complex uses modern lighting technologies that allow for the effective use of natural and artificial lighting, optimizing its intensity and spectrum to ensure maximum photosynthetic effect.*

*One of the main principles of energy-efficient irradiation is the use of light-emitting diode (LED) lamps, which makes it possible to regulate the light spectrum, adapting it to the specific needs of plants. These lamps have high energy efficiency and a long service life, which allows reducing electricity and maintenance costs. In addition, the use of automated control systems, such as light and temperature sensors, allows maintaining an optimal microclimate in greenhouses.*

*Integration of such systems into agro-industrial complexes allows not only to increase yields, but also to reduce the impact on the environment due to the rational use of energy. The development and implementation of energy-efficient irradiation technologies in greenhouses is an important step towards the sustainable development of the agricultural sector, in particular in the context of climate change and increasing demand for environmentally friendly products.*

**Key words:** *electro-technological complex, energy efficiency, plant irradiation, greenhouse, LED lighting, automation, agro-industrial production*