

КОНСТРУКЦІЯ КЛІМАТИЧНОЇ КАМЕРИ З ОСВІТЛЕННЯМ, АДАПТОВАНИМ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

Шелест Микола Сергійович

асистент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-5722-8944

e-mail: koladj1992@gmail.com

Дацько Оксана Миколаївна

аспірантка

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-9610-3087

e-mail: datsko.oksana.nikol@gmail.com

Захарченко Єліна Анатоліївна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

ORCID: 0000-0002-9291-3389

e-mail: elionapolis@gmail.com

В останні роки в Україні та світі з'являється все більше тепличних комплексів. Збільшення їх кількості потрібне задля забезпечення людства продуктами харчування, так як населення землі щороку зростає. Для вирощування рослин у закритому ґрунті та із застосуванням аеропоніки потребує контрольованих умов із створенням оптимального середовища росту та розвитку. Проведення вегетаційних дослідів у гроубоксах також дозволяють отримати повноцінні дані щодо вивчення генотипів рослин, ефективності добрив, біопрепаратів і т.і. Одним із питань, що потребує додаткового вивчення, є дослідження щодо обрання найбільш придатного джерела освітлення для вирощування рослин, зокрема, сільськогосподарських. Відповідно, було спроектовано та побудовано кліматичну камеру об'ємом 1,44 м³, висотою 2 м з метою здійснювати дослідження рослин. Для контролю абіотичних факторів в ній використовуються такі датчики як YL-38+YL-69 та HTU-21, для освітлення - світлодіоди моделі ST-12-5050-60-RGB-65 та люмінесцентна лампу DeLux T8 36/33. Програму для контролю клімату було створено за допомогою "Arduino IDE". Показана відмінність створеної кліматичної камери у більш швидкій заміні джерел освітлення. Встановлено переваги та недоліки джерел освітлення, що використовуються у середовищах з контрольованими умовами для вирощування рослин. Наведено приклади інших гроубоксів, фітотронів та кліматичних камер, що використовуються для вирощування культур.

Ключові слова: теплиця, світлодіоди, флуоресцентна лампа, гроубокс, фітотрон, закритий ґрунт, інтенсивність світла

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.2.11>

Вступ. Із зростанням населення на планеті та підвищенням попиту на свіжу овочеву продукцію протягом всього року, спостерігається збільшення кількості тепличних комплексів. Оскільки цілями сталого розвитку передбачено подолати голод та відповідально споживати енергоресурси (ціль №9 "Інновації та інфраструктура"), дослідниками з усього світу було запропоновано певні удосконалення системи освітлення теплиць чи кліматичних камер, що дасть можливість зменшити використання електроенергії та підвищити продуктивність рослин за рахунок використання необхідних спектрів освітлення.

Питання впливу інтенсивності освітлення та фотоперіоду на проростання, подальший розвиток рослини, формування генеративних органів є вагомим у плані удосконалення вивчення доцільності проведення вегетаційних дослідів та покращення умов вирощування у контрольованих умовах (Mayeux et al., 1993; Evtushenko E.V. & Chekurov V.M., 2008; Massa et al. 2016; Porter et al., 2015; Semenova N. A. et al., 2020; Zabel et al., 2014). Важливим при створенні штучних умов вирощування контролювати відстань від джерела освітлення та рослинами (Niinemets Ülo & Keenan Trevor, 2012).

В теплицях використовуються різні джерела освітлення: металогалогенні лампи, натрієві лампи високого і низького тиску, флуоресцентні лампи, світлодіоди (LED) та ін. (Katagiri et al. 2015; Svistunov & Bevza, 2017). Кожне із цих видів освітлення має свої переваги та недоліки. Так, наприклад, натрієві лампи високого тиску забезпечують необхідне фотосинтетичне випромінювання, а також виділяють тепло під час роботи, що можна вважати як плюсом (економія теплової енергії), так і мінусом (опіки листя рослин). Недоліком натрієвих ламп є недостатнє випромінювання червоного і синього спектрів (Gomez et al., 2013, Kowalczyk et al., 2020). Флуоресцентні лампи, хоч і є одними із найпопулярніших для використання у тепличних комплексах (Dutta Gupta, 2017), не є енергоефективними та мають короткий термін служби (Meng & Runkle, 2016). На відміну від інших видів освітлення, світлодіоди набирають все більшу популярність. Їх перевагою є те, що вони не гріються під час роботи, що дає можливість розташовувати їх доволі близько до поверхні рослини (Katzin et al., 2020). Енергоефективність світлодіодів можна забезпечити за рахунок використання у тепличних комплексах чи кліматичних камерах лише червоного і синього спектрів освітлення (Choong et al., 2018).

Тому, метою нашого дослідження є проектування кліматичної камери, що буде слугувати для проведення експериментів, результати яких можна буде надалі використовувати у промислових об'єктах і буде відрізнятися швидкою заміною джерел освітлення, що удосконалив процес проведення досліджень за рахунок можливості вивчення впливу різного освітлення на біологічні об'єкти.

Матеріали і методи досліджень. Проектування кліматичної камери і створення схеми взаємодії електричних

компонентів здійснювалось за допомогою програми "КОМПАС".

Електронне керування функціоналом кліматичної камери здійснюється мікроконтролером Arduino та необхідними датчиками і компонентами (табл. 1).

Програма, що здійснює керування всім функціоналом кліматичної камери, була створена за допомогою програми "Arduino IDE" (рис. 1).

Таблиця 1. Компоненти, що використовуються для контролю клімату та освітлення у кліматичній камері

№ п/п	Назва компонента	Функція
1.	Мікроконтролер Arduino	Керування датчиками та світловими модулями
2.	Датчик YL-38+YL-69 Модуль	Вимірювання вологості ґрунту
3.	Датчик HTU-21	Вимірювання температури і вологості повітря
4.	ST-12-5050-60-RGB-65	Освітлення над полицю
5.	DeLux T8 36/33	Освітлення, розташоване на полиці

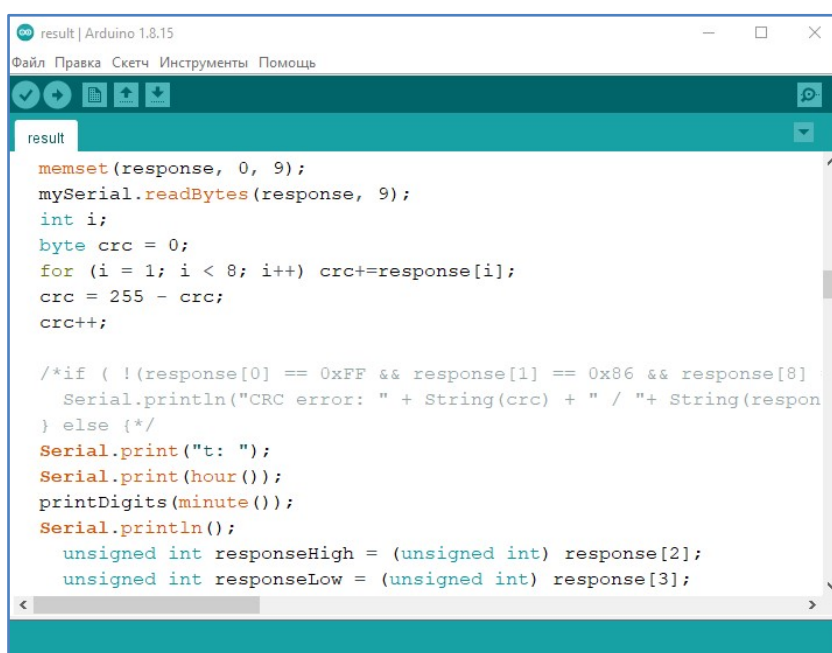


Рис. 1. Інтерфейс програми "Arduino IDE"

Результати. Розмір сконструйованої кліматичної камери є 2 × 1,2 × 0,6 м, або 1,44 м³. Конструкцію побудовано із OSB, товщина якого 10 мм та утеплено полотном Мегаф з одностороннім фольгуванням ППЕ-Л тип FP товщиною 5 мм. В процесі проектування кліматичної камери (рис. 2) враховувались вимоги рослин до умов вирощування. Для підтримання необхідної температури у камері у холодний період без опалення, камеру обладнано системою обігріву, що складається з тєну і вентилятора. Можливість регулювання температури до необхідної, яку потребує певна культура, керується за допомогою комп'ютера, тобто датчик температури повітря у кліматичній камері відслідковує нижню межу, що необхідно підтримувати; при перетині цієї межі комп'ютер дає команду працювати нагрівальному елементу, коли необхідної температури досягнуто, нагрівальний елемент вимикається. Під час роботи системи обігріву тепле повітря подається по трубі у кліматичну камеру, де розгалужується для рівномірного підігріву всієї камери. Повітря до кліматичної ка-

мери подається за температури не більше ніж 50°C, щоб уникнути перегрітих зон та опіків рослин. Тєн також має систему захисту, яка складається з теплового запобіжника та системи стабілізації температури тєна.

Задля забезпечення рослин вологою встановлено систему зрошення. Вона складається з резервуару для води, насосу, розподільника і тонких трубочок для мікрокрапельного зрошення. Полив відбувається тоді, коли датчик вологи ґрунту передає комп'ютеру, що вологість менша за необхідну. Для видалення надлишкової вологи, що випаровується із ґрунту, реалізується система вентиляції. У разі необхідності, і для більш зручного проведення агрономічних досліджень, є опційна можливість встановлення додаткової полицки, що також матиме своє освітлення.

Найважливішою функцією, що відрізняє дану кліматичну камеру від інших, є можливість заміни джерела освітлення для проведення досліджень. Наразі, задля проведення досліду з порівняння впливу на культури флуоресцентних

ламп і монохромних червоно-синіх світлодіодів, у верхню частину кліматичної камери встановлено світлодіоди, а на полицю встановлено флуоресцентну лампу. Таким чином, проведення дослідів буде більш достовірним, адже проходить за

однакових умов. Для ізоляції одного джерела світла від іншого, полиця, що встановлена у кліматичній камері, повністю вкрита світлонепроникним матеріалом.

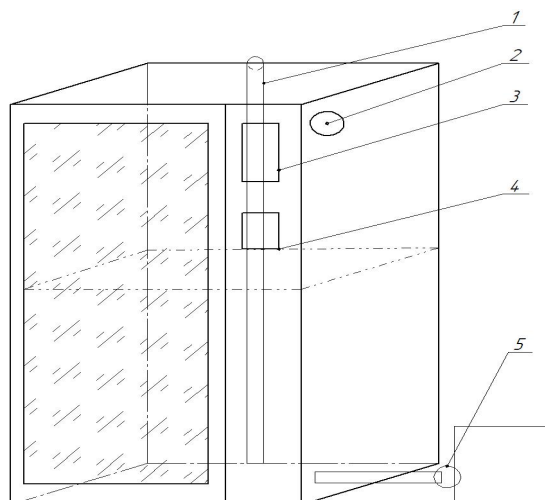


Рис. 2. Схема кліматичної камери, де 1 - система опалення; 2 - система вентиляції; 3 - щит електричного керування; 4 - комп'ютер; 5 - система зрошення.

Обговорення. Безперечно, кліматичні камери, або як їх ще називають фітотрони чи гроубокси, вже були реалізовані. Так, наприклад, було створено фітотрон для дослідження впливу різних видів світлодіодів. Дана експериментальна установка має поділ на 4 міні-камери і кожна з них має лише один вид вмонтованих світлодіодів: червоні, сині, білі або RGB. Цей фітотрон відрізняється від кліматичної камери тим, що передбачено можливість використання лише цього виду освітлення (Chervinskyi & Lutsak, 2014; Lutsak & Chervinskyi, 2014).

У Київському політехнічному інституті ім. І. Сікорського було реалізоване програмне забезпечення для керування функціоналом гроубоксів. Але дана програма пристосована для використання в якості системи обігріву термоелементу Пельтьє, для контролю вологості ґрунту - емнісний датчик вологості ґрунту v1.2., а для визначення температури і вологості повітря датчик - DHT 11 чи DHT 22. Всі дані, що були зняті датчиками у гроубоксі, користувач може побачити у себе на робочому комп'ютері, оскільки ці дані передаються на спеціальний сервер в Інтернеті (Kotsiurba, 2020). Схожу програму та подібні датчики вже було зроблено вченими університету Гунадарми (Vernandhes et al., 2016). Повністю автоматизовану систему, що здатна контролювати абіотичні фактори вирощування рослин, було створено на базі мікроконтролера Raspberry Pi вченими Каліфорнійського державного університету, відмінністю від попередніх систем є присутність в системі гідропоніки та застосування іншого мікроконтролера (Palande et al., 2018). Схожий гроубокс на гідропоніці було сконструйовано вченими з Національного технологічного інституту у місті Бандунг (Індонезія). Вчені створили

додаток для мобільного телефону, що дає можливість контролювати параметри, за яких зростають рослини на відстані (Hilmy et al., 2021).

Працівниками Коледжу інтегрованої науки і Технічного університету Джеймса Медісона було створено систему для вирощування мікрозелені у контрольованому середовищі. Даний проект займає неймовірні масштаби та має використовуватися не задля проведення досліджень вченими, а для забезпечення населення необхідними продуктами харчування у разі стихійного лиха чи іншої надзвичайної ситуації. Рослини у цьому гроубоксі вирощуються за допомогою гідропоніки та використання фітоламп (LED). Цікавим є той факт, що ця технологія повністю працює на відновлюваних джерелах енергії (Trawick et al., 2018).

Загальну класифікацію комплексів для досліджень з біологічними об'єктами наводить Беспалов І.М. Вони поділяються за призначенням на фітотрони, зоотрони, інсектрони та універсальні (біотрони) (Bespalov, 2007). Втім, у цій класифікації не включено кліматичних камер для досліджень деревини. Аналізом необхідних компонентів для створення таких кліматичних камер займався Борисов В.М. (Borysov, 2013).

Висновки. Кліматична камера, що була розроблена, відрізняється від інших фітотронів та гроубоксів можливістю швидкої заміни джерела освітлення, що дає можливість вченим проводити більш широкі та ґрунтовні дослідження з впливу різних видів ламп на сільськогосподарські культури.

Подяка. Ми вдячні за підтримку чеського уряду, надану Міністерством закордонних справ Чеської Республіки, що дозволило розпочати це наукове дослідження в рамках проекту «Міжвузівське співробітництво як інструмент підвищення якості вибраних університетів України».

Список використаної літератури.

1. Bepalov, I. M. (2007). Laboratorni klimatichni kompleksi dlia doslidiv z biolohichnymu ob'ektyamy [Laboratory climatic complexes for experiments with biological objects]. *Zbirnyk naukovykh prats Instytutu tsukrovkykh buriakiv UAAN*, 9, 300-306 (in Ukrainian).

2. Borysov, V. M. (2013). Osoblyvosti struktury ta konstruksii klimatychnoi kamery dlia doslidzhennia derevyny [Features of the structure and construction of the climatic chamber for the study of wood]. *Pratsi Odeskoho politekhnichnoho universytetu*, 2(41), 89-94 (in Ukrainian).
3. Chervynskiy, L. S., & Lutsak, Ya. M. (2014). Eksperymentalna ustanovka dlia doslidzhennia vplyvu zminy spektru optychnoho vyrominiuvannia na zrostantnia teplychnykh roslyn [Experimental setup to study the effect of changes in the spectrum of optical radiation on the growth of greenhouse plants]. *Enerhetyka i avtomatyka*, 4, 119-125 (in Ukrainian).
4. Choong, T.W., He, J., Qin, L., & Lee, S.K. (2018). Quality of supplementary LED lighting effects on growth and photosynthesis of two different *Lactuca recombinant inbred lines* (RILs) grown in a tropical greenhouse. *Photosynthetica*, 56(4), 1278-1286. <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0828-2>
5. Dutta Gupta, S. (Ed.). (2017). *Light Emitting Diodes for Agriculture: Smart Lighting*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5807-3>
6. Gomez, C., Morrow, R.C., Bourget, M., Massa, G.D., & Mitchell, C.A. (2013). Comparison of Intracanopy Light-emitting Diode Towers and Overhead High-pressure Sodium Lamps for Supplemental Lighting of Greenhouse-grown Tomatoes. *Hort Technology*, 23(1), 93-98. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.1.93>
7. Hilmy, R. H., Susana, R., & Hadiatna, F. (2021). Rancang Bangun Smart Grow Box Hidroponik untuk Pertumbuhan Tanaman Microgreen Berbasis Internet of Things. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 10(2), 41-47.
8. Evtushenko E. V. & Chekurov V. M. (2008). Duration of ontogenesis phases and some elements of ear productivity in summer soft wheat (*Triticum aestivum* L.) in connection with lighting intensity and photoperiod. *Agricultural biology* (in Russian), 1, 60-64.
9. Katagiri F., Canelon-Suarez D., Griffin K., Petersen J., Meyer R.K., Siegle M., et al. (2015). Design and Construction of an Inexpensive Homemade Plant Growth Chamber. *PLoS ONE* 10(5): e0126826. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126826>
10. Katzin, D., Mourik, S. v., Kempkes, F., & Henten, E.J. v. (2020). GreenLight – An open source model for greenhouses with supplemental lighting: Evaluation of heat requirements under LED and HPS lamps. *Biosystems Engineering*, 194, 61-81. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.010>
11. Kotsiurba V. V. (2020). Avtomatyzovana systema vyroshchuvannia roslyn, chutlyvykh do abiotychnykh faktoriv [Automated system for growing plants sensitive to abiotic factors]. Bakalavrskiy diplomnyi proiekt KPI im. Ihoria Sikorskoho (in Ukrainian). Excess mode: <https://ela.kpi.ua/simple-search?query=%D0%9A%D0%BE%D1%86%D1%8E%D1%80%D0%B1%D0%B0+%D0%92>
12. Kowalczyk, K., Olewnicki, D., Mirgos, M., & Gajc-Wolska, J. (2020). Comparison of Selected Costs in Greenhouse Cucumber Production with LED and HPS Supplemental Assimilation Lighting. *Agronomy*, 10(9), 1342. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091342>
13. Lutsak, Ya. M., & Chervynskiy, L. S. (2014). Ustanovka dlia doslidzhennia dii spektru optychnoho vyrominiuvannia na teplychni roslyny [Installation for studying the effect of the spectrum of optical radiation on greenhouse plants]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, 153, 128-129 (in Ukrainian).
14. Massa G.D., Wheeler R.M., Morrow R.C., & H.G. Levine (2016). Growth Chamber on the International Space Station for Large Plants. NASA Technical Reports Server. <https://core.ac.uk/reader/42695794>
15. Mayeux H. S., Johnson H. B., Polley H. W., Dumesnil M. J. & Spanel G. A. (1993). A Controlled Environment Chamber for Growing Plants Across a Subambient CO₂ Gradient. *Functional Ecology*, 7(1), 125-133. <https://doi.org/10.2307/2389875>
16. Meng, Q., & Runkle, E.S. (2016). Control of Flowering Using Night-Interruption and Day-Extension LED Lighting. In K. Fujiwara, T. Kozai, & E. S. Runkle (Eds.), *LED Lighting for Urban Agriculture*, 191-202. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-1848-0_14
17. Niinemets Ülo, Keenan Trevor (2012). Measures of Light in Studies on Light-Driven Plant Plasticity in Artificial Environments. *Frontiers in Plant Science*, 3, 156 p. <https://doi.org/10.3389/fpls.2012.00156>
18. Palande, V., Zaheer, A., & George, K. (2018). Fully Automated Hydroponic System for Indoor Plant Growth. *Procedia Computer Science*, 129, 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.028>
19. Porter A.S., Gerald C. Evans-Fitz, McElwain J.C., Yiotis C., Elliott-Kingston C. (2015). *Plant Methods*, 11:44. doi: 10.1186/s13007-015-0088-0
20. Semenova N. A., Grishin A. A., Dorokhov A. A. (2020). Analytical review of climatic chambers for vegetable crops growing. *Bulletin NGIEI*, 1 (104), 5–15.
21. Svistunov, S. V. & Bevza, O. M. (2017). Systemy osvittlenia teplychnykh kompleksiv [Lighting systems for greenhouses]. Materialy XI-yi naukovy-praktychnoi konferentsii «Perspektyvni napriamky suchasnoi elektroniky», KPI im. Ihoria Sikorskoho, 232-237 (in Ukrainian).
22. Trawick, E.D., Stinson, W.J., & Martin, A.C. (2018). Energy modeling & design of prototype hydroponic grow system. *JMU Scholarly Commons*, 2010-2019, 517.
23. Tsili staloho rozvytku [Sustainable development goals]. Excess mode: <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/sustainable-development-goals.html> (in Ukrainian)
24. Vernandhes, W., Salahuddin, N.S., & Kowanda, A. (2016). Smart Growbox Design with Temperature and Humidity Monitoring System via the Internet. *Teknoin*, 22(11), 850-859.
25. Zabel P., Bamsey M., Schubert D., Tajmar M. (2014). Review and analysis of plant growth chambers and greenhouse modules for space. *International Conference on Environmental Systems*, 13-17 July 2014, Tucson, Arizona.

Shelest M.S., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Datsko O.M., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Zakharchenko E.A., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Construction of the climate chamber with the lighting adapted for growing of agricultural crops

In recent years, more and more greenhouse complexes are appearing in Ukraine and around the world. An increase in their number is needed to provide humanity with food, as the world's population grows every year. For growing plants indoors and using aeroponics requires controlled conditions to create an optimal environment for growth and development. Carrying out vegetation experiments in growboxes also allows to obtain complete data on the study of plant genotypes, the effectiveness of fertilizers, biological products, etc. One of the issues that need to observe is the study of choosing the most suitable light source for growing plants, in particular, crop. Thereby, a climate chamber with a volume of 1.44 m³ and a height of 2 m was designed and constructed to study plants. For control of abiotic factors, such sensors have been used as YL-38 + YL-69 and HTU-21, for lighting - LEDs model ST-12-5050-60-RGB-65 and fluorescent lamp DeLux T8 36/33. The climate control program was developed using the Arduino IDE. The difference between the created climate camera and existed cameras is in possibility of faster replacement of light sources. The advantages and disadvantages of light sources used for growing plants under controlled conditions are shown. Examples of other growboxes, phytotrons and climate chambers used for growing crops are given.

Key words: green house, LEDs, fluorescent lamp, growbox, phytotron, indoor ground, light intensity

Дата надходження до редакції: 27.05.2021