

УДК 681.516.75:631.234

ФІТОМЕТРИЧНИЙ КРИТЕРІЙ ОЦІНКИ СТАНІВ РОЗВИТКУ РОСЛИН

I. М. Болбот

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Кореспонденція авторів: igor-bolbot@ukr.net.

*Історія статті: отримано – квітень 2021, акцептовано – серпень 2021, опубліковано – 30 вересня 2021 року.
Бібл. 15, рис. 6, табл. 0.*

Анотація. Запропоновано фітометричний критерій оцінки станів розвитку рослин за інтегральною залежністю показників з однаковим ваговим коефіцієнтом, що дає змогу отримати залежність основних показників розвитку рослини в різних фазах розвитку від впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла, використання якого в системі керування енергетичними потоками промислової теплиці під час виробництва рослинної продукції забезпечує задану якість продукції з урахуванням фаз розвитку рослин.

Ключові слова: енергоефективна система керування, фітомоніторинг, математичне моделювання, тепличні комплекси, моніторинг якості продукції, моніторинг фітостану та стану атмосфери.

неповноти інформації про стани рослин, параметрів середовища навколо них та якості рослинної продукції. Зважаючи на зазначене, можна стверджувати, що на даний час вимоги до систем автоматичного керування технологічними процесами в тепличних комплексах, постійно зростають, а наукові основи їх побудови відсутні.

На сьогодні проведені певні дослідження щодо оцінки впливу факторів навколишнього середовища на врожайність рослин. Проте не вистачає результатів досліджень щодо оцінки якості розвитку рослин та овочів протягом усього циклу вирощування. Водночас для отримання якісної продукції потрібно контролювати і оцінювати значну кількість показників розвитку рослини на всіх фазах її росту.

Постановка проблеми

Тепличні комплекси це сучасні складні організаційно-технічні об'єкти з біологічною складовою, основним елементом котрих є промислові теплиці, де реалізуються технології виробництва рослинної продукції в спорудах закритого ґрунту. Впродовж календарного року вони постачають значну частку рослинної продукції на ринок продовольства України. Конкурентоздатність цієї продукції пов'язана з необхідністю пошуку балансу між витратами ресурсів на виробництво та її якістю. Проведений аналіз сучасних технологій виробництва рослинної продукції та систем їх автоматизації в промислових теплицях дав змогу зробити висновок, про виконання завдань щодо реалізації енергоефективного керування енергетичними потоками тепличних комплексів вимагає застосування принципово нових підходів в автоматизації, що зумовлено як самими об'єктами, так і більш жорсткими вимогами до ефективності керування ними.

Аналіз літературних джерел [2, 3, 4, 6] дав змогу зробити висновки, що ключовим елементом досягнення компромісу між витратами ресурсів та якістю продукції є система керування мікрокліматом у промисловій теплиці, а основні обмеження ефективності вирощування рослинної продукції в тепличних комплексах виникають внаслідок

Мета досліджень

Метою статті є розроблення фітометричного критерію оцінки станів розвитку рослин в промисловій теплиці, з подальшим використанням його системою автоматичного керування, для підвищення енергоефективності виробництва рослинної продукції, забезпечуючи при цьому її задану якість.

Результати досліджень

Оцінка якості на основі диференційного і комплексного методів оцінки рівня якості томатів не дає змоги успішно вирішити поставлене завдання комплексної оцінки рівня якості томатів, оскільки необхідно враховувати показники розвитку рослини в різних її фазах, а саме: цвітіння, формування плоду та отримання врожаю, а також показники якості – ступінь зрілості, діаметр томата (рис 1). За допомогою диференційного методу практично неможливо зробити конкретний висновок, а застосування тільки одного комплексного методу не дає можливості врахувати всі властивості томатів. Для оцінки рівня якості томатів використано змішаний метод, який дає можливість комплексно оцінити рівень розвитку якості томатів за допомогою фітометричного критерію [7].

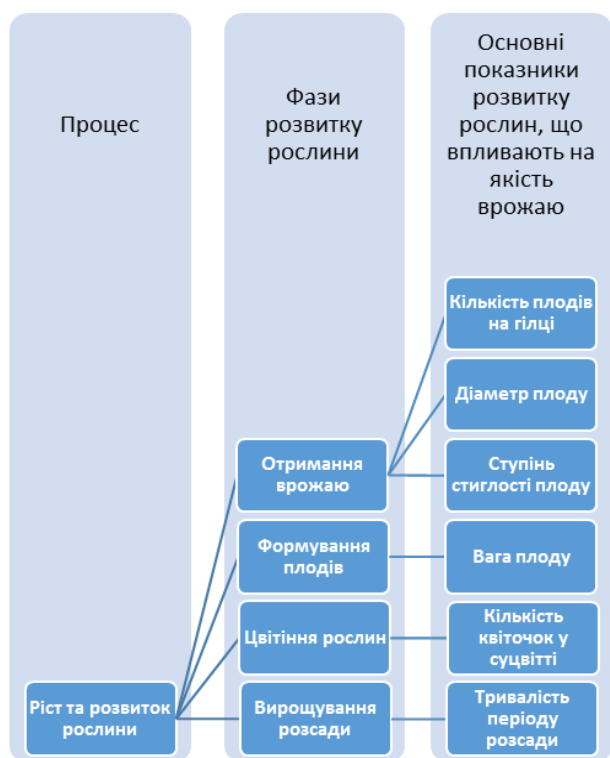


Рис. 1. Основні показники розвитку рослини в різних фазах розвитку.

Fig. 1. Basic indicators of plant development in different phases of development.

Запропоновано алгоритм визначення фітотричних параметрів розвитку рослини безконтактним способом. Після того як зображення надіслано до системи розпізнавання, воно проходить обробку і потрапляє до банку даних зазначеної системи. Зображення зберігається в блоці керування базами даних, де піддається вейвлет-аналізу, визначенню та порівнянню коефіцієнтів математичного розкладання з базою даних пакета прикладних програм для визначення фітотричних параметрів рослини [12, 13].

Фітотричний критерій Фм характеризується значною кількістю показників розвитку рослини в різних її фазах, а саме: цвітіння, формування плоду та отримання врожаю, які мають різні вимірювальні шкали. Для приведення їх до однієї шкали оцінювання якості розвитку рослин використаємо залежність:

$$F_m = f(K_1, K_2, \dots, K_n), \quad (1)$$

де $K_1, K_2, \dots, K_n$ – окремі показники якості розвитку рослини в різних фазах.

У загальному вигляді на основі комплексного середньозваженого арифметичного і геометричного визначення показників якості розвитку рослини вираз для оцінки якості томатів представимо як [14, 15]:

$$K = \sum_{j=1}^T \left(A_j \cdot \sum_{i=1}^{H_j} (a_i \cdot k_i) \right) = \sum_{j=1}^T (A_j \cdot G_{jg}), \quad (2)$$

де T – кількість груп показників якості томатів; H – число показників якості в j -й групі; a_i – коефіцієнт вагомості i -ї властивості; k_i – відносний i -й показник якості; G_{jg} – рівень якості j -ї групи показників ($0 \leq G_{jg} \leq 1$); A_j – параметр вагомості j -ї групи показників якості томатів.

Використовуючи експериментальні дані [1, 8], отримані протягом сезону вирощування рослин, проведено опис впливу температури повітря та інтенсивності світла на основні показники якості розвитку рослин із застосуванням стандартної методики, в основу якої покладено метод найменших квадратів.

З використанням принципів кваліметрії [10, 11] були отримані комплексні показники оцінки якості розвитку рослини (K_1-K_n) від температури повітря θ та сонячної радіації L , були отримані рівняння регресії:

- формування рослиною кількості квіточок у суцвітті (рис. 2):

K_1
1

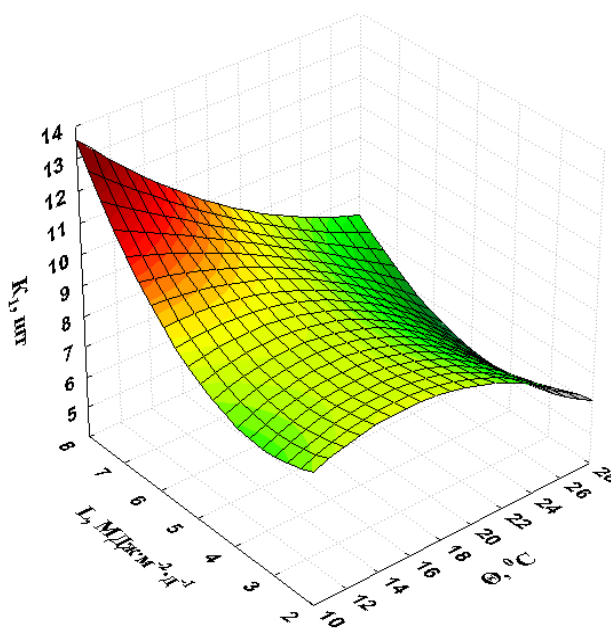


Рис. 2. Залежності впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла на формування рослиною кількості квіточок у суцвітті.

Fig. 2. Dependences of the influence of average daily atmospheric temperature and light intensity on formation by a plant of quantity of flowers in an inflorescence.

- формування рослиною кількості плодів на гілці (рис. 3):

K_2

- приріст ваги плоду (рис. 5):

Отримані рівняння регресії дають змогу прогнозувати врожайність та якість розвитку рослини, враховуючи рівень впливу факторів навколишнього середовища. При цьому коефіцієнти моделі постійно треба корегувати під час кожної зміни характеристик біологічного об'єкта (для томатів це сорт).

$$L^2 \cdot \theta^2;$$

(3)

L

θ

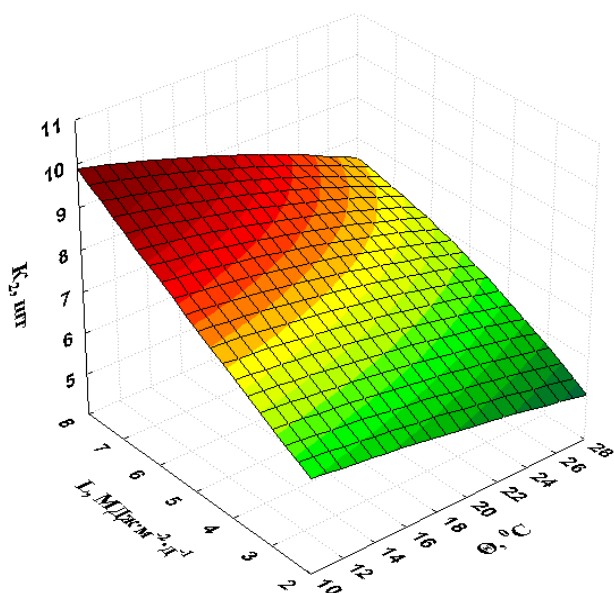


Рис. 3. Залежності впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла на кількість плодів на гілці.

Fig. 3. Dependences of the influence of average daily atmospheric temperature and light intensity on formation by the plant of the number of fruits on the branch.

- середня вага плоду (рис.4.):

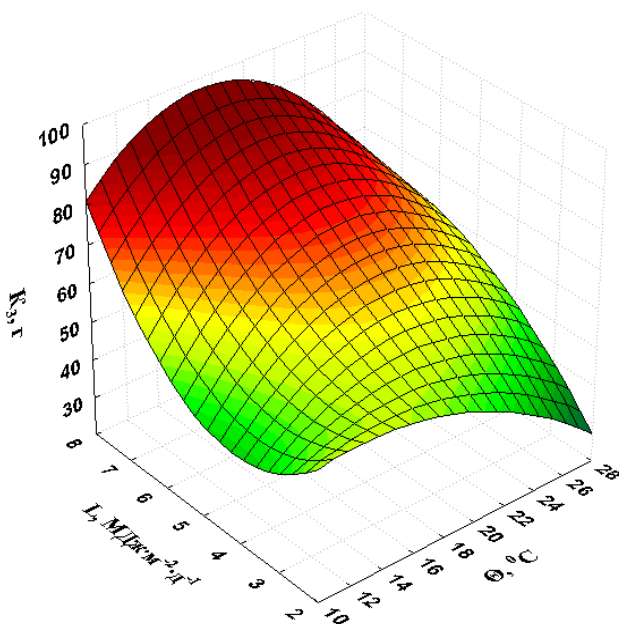


Рис. 4. Залежності впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла на середню вагу плоду.

Fig. 4. Dependences of the influence of average daily atmospheric temperature and light intensity on the average weight of the fruit.

Оцінка якості розвитку рослини за інтегральною залежністю показників з однаковим ваговим коефіцієнтом 0,25 дала змогу отримати залежність фітометричного критерію якості розвитку рослини від впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла (рис. 6):

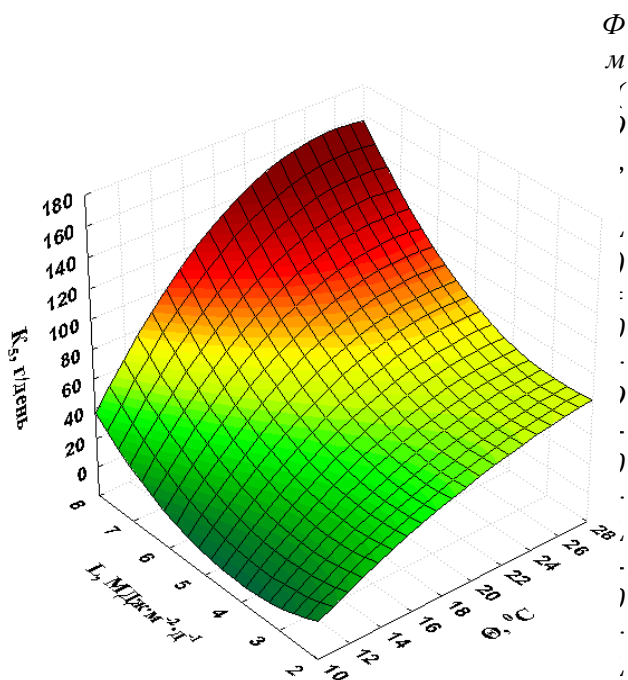


Рис. 5. Залежності впливу середньодобової температури повітря та інтенсивності світла на природну вагу плоду.

Fig. 5. Dependences of the influence of average daily atmospheric temperature and light intensity on the weight gain of the fruit.

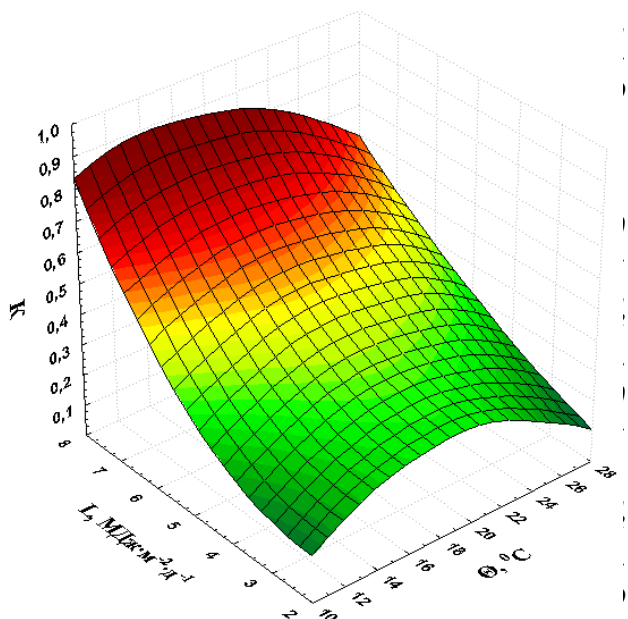


Рис. 6. Залежність фітометричного критерію від середньодобової температури повітря та інтенсивності світла.

Fig. 6. Dependence of phytometric criterion on average daily atmospheric temperature and light intensity.

Аналізуючи рис. 6. можна зробити висновок, що зростання фітометричного показника до 1 свідчить про якісний розвиток рослини з отриманням від неї максимального рівня генетично закладеного врожаю, зменшення фітометричного показника до 0 свідчить про недостатній рівень розвитку рослинної продукції,

від її генетично закладеного рівня.

За допомогою фітометричного критерію визначаємо рівень розвитку рослини в період її вегетації. Підтримання максимального рівня розвитку дасть можливість на початковій стадії сформувати у рослини максимальну врожайність. У теплиці при температурах 15..24°C відбувається найкраще формування рослиною врожаю (кількості квіточок у суцвітті, кількості плодів на гілці, середньої ваги плоду, приросту ваги плоду).

Висновки

1. Запропоновано ввести в алгоритм системи керування фітометричний критерій, який характеризується значною кількістю показників розвитку рослини в різних її фазах, а саме цвітіння, формування плоду та отримання врожаю. Оцінка якості розвитку рослини була проведена інтегральною залежністю показників з однаковим ваговим коефіцієнтом 0,25. За допомогою фітометричного критерію визначено рівень розвитку рослини в період її вегетації, а його дотримання на максимальному рівні дає змогу на початковій стадії сформувати у рослини максимальну врожайність.

2. Встановлено, що зростання фітометричного показника до 1 свідчить про якісний розвиток рослини з отриманням від неї максимального рівня генетично закладеного врожаю. Зменшення значення фітометричного показника до 0 свідчить про недостатній рівень розвитку рослинної продукції, від генетично закладеного рівня рослини, що впливає на собівартість виробленої продукції.

Список літератури

1. Брызгалов В. А., Советкина В. Е., Савинова Н. И. Овощеводство защищенного грунта. Под ред. В. А. Брызгалова. Москва. Колос. 1995. 325 с.
2. Болбот І. М. Автоматизація процесів керування тепличними комплексами з моніторингом якості продукції: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ. 2020. 565 с.
3. Lysenko V. P., Zhyltsov A. V., Bolbot I. M., Lendiel T. I., Nalyvaiko V. A. Phytomonitoring in the phytometrics of the plants. E3S Web of Conferences 2020. Vol. 154. Article 07012. ICoRES 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407012>.
4. Болбот І. М. Математическая модель влияния теплового режима на развитие и урожайность томатов в системе растение-почва-воздух. MOTROL. Lublin. 2013. Vol. 15. № 4. P. 153-158.
5. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений. Пер. с немецкого В. Н. Храменкова. Москва. Энергоатомиздат. 1988. 88 с.
6. Лисенко В. П., Болбот І. М., Лендел Т. І. Фітотемпературний критерій оцінки розвитку рослини. Енергетика і автоматика. 2013. № 3. С. 122-128.

7. Болбот І. М. Критерий обеспечения урожайности растений – основа эффективного потребления энергетических ресурсов тепличными комплексами. Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Москва. 2014. Том 2. С. 157-162.

8. Лисенко В. П., Болбот І. М., Лендел Т. І. Енергоефективна система керування електротехнологічним комплексом промислових теплиць. Технічна електродинаміка. 2019. № 2. С. 78-81.

9. Мартиненко І. І., Лисенко В. П., Тищенко Л. П., Болбот І. М., Олійник П. В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК. Київ. 2008. 330 с.

10. Ahmed Ouammi, Yasmine Achour, Driss Zejli, Hanane Dagdougui, "Supervisory Model Predictive Control for Optimal Energy Management of Networked Smart Greenhouses Integrated Microgrid", Automation Science and Engineering IEEE Transactions. 2020. Vol. 17. No 1. P. 117-128.

11. Vovna O., Laktionov I., Sukach S., Kabanets M., Cherevko E. Method of adaptive control of effective energy lighting of greenhouses in the visible optical range. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 24. P. 335-340.

12. Ouammi A., Achour Y., Dagdougui H., Zejli D. Optimal operation scheduling for a smart greenhouse integrated microgrid. Energy for Sustainable Development. 2020. Vol. 58. P. 129-137.

13. Bodrov V., Bodrov M., Kuzin V. Ensuring the parameters of microclimate of hothouses during a warm season. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12. No 6. P. 1864-1869.

14. Revathi S., Radhakrishnan T. K., Sivakumaran N. Climate control in greenhouse using intelligent control algorithms. Paper presented at the proceedings of the American control conference. 2017. P. 887-892. <https://doi.org/10.23919/acc.2017.7963065>.

15. Gunchenko Yu., Shvorov S., Rudnichenko N., Boyko V. Methodical complex of accelerated training for operators of unmanned aerial vehicles. 2016. IEEE 4th International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control. 2016.

References

1. Bryzgalov V. A. (Ed.), Sovetkina V. E., Savinova N. I. (1995). Vegetable growing in protected ground. Moscow. Kolos. 325
2. Bolbot I. M. (2020). Automation of greenhouse complex control processes on product quality monitoring. Extended abstract of doctoral thesis. Kyiv. 565.
3. Lysenko V. P., Zhyltsov A. V., Bolbot I. M., Lendiel T. I., Nalyvaiko V. A. (2020). Phytomonitoring in the phytometrics of the plants. E3S Web of Conferences 154. 07012. ICoRES. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407012>.
4. Bolbot I. M. (2013). Mathematical model of the influence of the thermal regime on the development and

productivity of tomatoes in the plant-soil-air system. MOTROL. Lublin. 15(4). 153-158.

5. *Toybert P.* (1988). Assessment of the accuracy of measurement results (V.N. Khramenkova, Trans.). Moscow. Energoatomizdat. 88.

6. *Lysenko V. P., Bolbot, I. M., Lendiel T. I.* (2013). Phytotemperature criterion for assessing plant development. *Enerhetyka i avtomatyka*. 3. 122-128.

7. *Bolbot I. M.* (2014). Criterion for ensuring the productivity of plants – the basis for the effective consumption of energy resources by greenhouse complexes. Proceedings of the international scientific and technical conference "Energy supply and energy saving in agriculture". 2. 157-162.

8. *Lysenko V., Bolbot I., Lendel T.* (2019). Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. *Technical Electrodynamics*. 2. 78-81. doi:10.15407/techned2019.02.078.

9. *Martynenko I. I., Lysenko V. P., Tishchenko L. P.* (2008). Design of electrification and automation systems of agro-industrial complex. Textbook. 330.

10. *Ahmed Ouammi, Yasmine Achour, Driss Zejli, Hanane Dagdougui.* (2020). Supervisory Model Predictive Control for Optimal Energy Management of Networked Smart Greenhouses Integrated Microgrid. *Automation Science and Engineering IEEE Transactions*. 17(1). 117-128.

11. *Vovna O., Laktionov I., Sukach S., Kabanets M., Cherevko E.* (2018). Method of adaptive control of effective energy lighting of greenhouses in the visible optical range. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 24. 335-340.

12. *Ouammi A., Achour Y., Dagdougui H., Zejli D.* (2020). Optimal operation scheduling for a smart greenhouse integrated microgrid. *Energy for Sustainable Development*. 58. 129-137.

13. *Bodrov V., Bodrov M., Kuzin V.* (2017). Ensuring the parameters of microclimate of hothouses during a warm season. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 12(6). 1864-1869.

14. *Revathi S., Radhakrishnan T. K., Sivakumaran N.* (2017). Climate control in greenhouse using intelligent control algorithms. Paper presented at the proceedings of the American control conference. 887-892. <https://doi.org/10.23919/acc.2017.7963065>.

15. *Gunchenko Yu., Shvorov S., Rudnichenko N., Boyko V.* (2016). Methodical complex of accelerated training for operators of unmanned aerial vehicles. *IEEE 4th International Conference Methods and Systems of Navigation and Motion Control*.

энергетическими потоками промышленной теплицы при производстве растительной продукции обеспечивает заданное качество продукции с учетом фаз развития растений.

Ключевые слова: энергоэффективная система управления, фитомониторинг, математическое моделирование, тепличные комплексы, мониторинг качества продукции, мониторинг фитосостояния и состояния атмосферы.

PHYTOMETRIC CRITERION FOR EVALUATION OF PLANT DEVELOPMENT STATES

I. M. Bolbot

Abstract. Phytometric criterion for assessing the state of plant development by the integral dependence of indicators with the same weighting factor is proposed, which allows to obtain the dependence of the main indicators of plant development in different phases of development on the influence of average daily air temperature and light intensity. plant products provide a given product quality, taking into account the phases of plant development.

Key words: energy efficient control system, energy resources, phytomonitoring, mathematical modeling, greenhouse facilities, product quality monitoring.

I. M. Болбот ORCID 0000-0002-5708-6007.

ФІТОМЕТРИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

И. М. Болбот

Аннотация. Предложен фитометрический критерий оценки состояний развития растений по интегральной зависимости показателей с одинаковым весовым коэффициентом, что позволяет получить зависимость основных показателей развития растения в разных фазах развития от влияния среднесуточной температуры воздуха и интенсивности света, использование которого в системе управления

