

ОБҐРУНТУВАННЯ АКТИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ФОТОСИНТЕЗУ У БІОТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТАХ РОСЛИННОГО ТИПУ (НА ПРИКЛАДІ ПОМІДОРІВ)

В.П. Лисенко, В.О. Мірошник, кандидати технічних наук
А.О. Дудник, аспірантка*

Проведено планування багатофакторного експерименту визначення продуктивності фотосинтезу культур помідорів, обґрунтовано та розроблено структуру експериментальної установки (автоматизованого фітотрону) та розроблено відповідне алгоритмічне забезпечення управління активним експериментом.

Багатофакторний експеримент, фотосинтез, автоматизований фітотрон.

Численними дослідженнями [1 – 7] встановлено, що суха маса рослини на 45 % складається з вуглецю, при чому рослина отримує його лише із повітря, а не з ґрунту. Засвоєння рослинами вуглекислоти відбувається за участю світла в складному фізіологічному процесі, який називається фотосинтезом, інтенсивність якого залежить від багатьох зовнішніх умов.

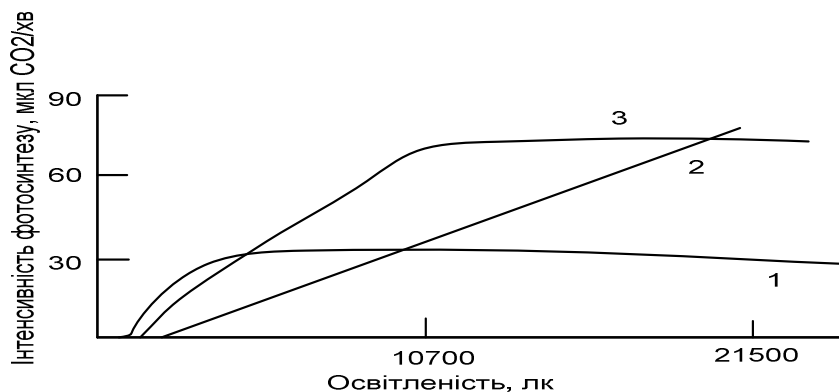


Рис. 1. Світлові криві фотосинтезу тіньовитривалих і світлолюбних рослин:

1 – папороть (тіньовитривала рослина), 2 – соняшник (світлолюбна рослина), 3 – боби (проміжний тип)

Для вибору параметрів факторного експерименту, що впливають на процес вирощування помідорів у теплиці (приріст маси помідорів), був проведений аналіз впливу різних факторів на процес фотосинтезу (рис.1).

Мета статті – обґрунтування вибору факторів впливу на інтенсивність фотосинтезу, розробка плану багатофакторного експерименту та

*Науковий керівник – кандидат технічних наук В.П. Лисенко
© В.П. Лисенко, В.О.Мірошник, А.О.Дудник, 2012

схеми автоматизованого фітотрона для проведення експериментальних досліджень.

Матеріали і методика досліджень. Відомо, що інтенсивність фотосинтезу у значній мірі залежить від освітленості рослин; форма таких залежностей дозволила зробити висновок про те, що процес фотосинтезу складається зі світлових (фотохімічних) реакцій і реакцій в темноті (хімічних) [4]. Встановлено, що інтенсивність фотосинтезу збільшується лінійно при зростанні освітленості від нульового значення до 20–30 % повного сонячного світла. На цій ділянці кривої інтенсивність фотохімічних реакцій нижче швидкості хімічних процесів. Нахил цієї лінійної ділянки світлової кривої визначається, насамперед, вмістом пігментів.

Починаючи від рівня освітленості, що становить приблизно 50–60 % інтенсивності повного сонячного світла, інтенсивність фотосинтезу залишається незмінною. Це світлове насичення фотосинтезу лімітується відносно невеликою швидкістю хімічних реакцій в темноті і дифузійних процесів надходження CO_2 в хлоропласти і виведення з них продуктів фотосинтезу.

Якщо рівень освітлення сягає області світлового насичення, то процес фотосинтезу відбувається значно інтенсивніше, ніж процес дихання. Під час зниження рівня освітленості до певної величини, інтенсивності процесів фотосинтезу і дихання стають рівними, що створює помилкове враження відсутності газообміну. Такий рівень освітленості отримав назву світлового компенсаційного пункту. Прийнято визначати світловий компенсаційний пункт за умов, що концентрація вуглекислого газу становить 0,03 %, а температура – 20 °С. У світлолюбних рослин, до яких належать помідорів, цей показник відповідає значенню 800 – 2000 лк.

Важливим показником ефективності роботи фотосинтетичного апарату рослин є квантова витрата фотосинтезу – число квантів світла, необхідних для засвоєння однієї молекули CO_2 . Зазвичай розрахунки проводяться на один моль поглиненого вуглекислого газу або виділеного кисню ($x \cdot h \nu / y \cdot \text{CO}_2$). Чим більше величина квантових витрат і менше величина квантового виходу, тим нижче ефективність використання світлової енергії на здійснення фотосинтезу. Для отримання максимального квантового виходу слід підтримувати оптимальні умови роботи фотосинтетичного апарату і, в першу чергу, це стосується рівня освітленості, температури повітря і концентрації CO_2 .

На основі даних [2] встановлено, що середня сума сонячної радіації за добу становить від 300 кДж/м² в грудні і до 1300 – 1400 кДж/м² у літні місяці в регіонах, подібних до півдня України. Рівень інтенсивності сонячної радіації, який є достатнім для початку процесу фотосинтезу томатів, становить 1,2÷1,8 Вт/м² або 4÷25 Дж/см², а найвищого рівня інтенсивність процесу фотосинтезу сягає при значеннях 850÷1000 Дж/см² за світловий день. При інтенсивності сонячної радіації вище цього значення, слід використовувати затінення.

Рівень освітленості та інтенсивність сонячної радіації впливають не лише на інтенсивність процесу фотосинтезу, а і на засвоєння рослиною

вуглекислого газу, який, в свою чергу, є основним субстратом для приросту маси рослини. Інтенсивність фотосинтезу лінійно залежить від концентрації CO₂, при чому вуглекислотне насичення концентрації CO₂ у повітрі відбувається на рівні 0,01-0,04 %. Зазначимо, що засвоєння вуглекислого газу рослиною підвищується із зростанням інтенсивності освітлення.

Відомо, що середній рівень вмісту вуглекислого газу в пригрунтовому шарі повітря у теплицях становить 0,03 %, проте вночі цей показник зростає до 0,05 – 0,1 %. За даними [2] при максимальній сонячній радіації найефективнішою є концентрація CO₂ для томатів 0,1 – 0,15 %, а за дослідженнями голландських вчених – до 0,2 %. Якщо ж концентрація CO₂ перевищуватиме 0,2 %, то інтенсивність утворення сухої речовини не змінюється.

На основі аналізу літературних джерел [4, 7] встановлено, що поряд з інтенсивністю освітлення та концентрацією CO₂ важливим фактором у процесі фотосинтезу є температура повітря. Значний вплив температури зумовлений тим, що процес фотосинтезу складається не тільки з фотохімічних, але і з хімічних реакцій у темний період дня, швидкість яких збільшується в 2 – 3 рази при підвищенні температури на 10 °С.

При швидкому нагріванні або охолодженні листя інтенсивність фотосинтезу переходить на новий стаціонарний рівень, причому характер переходу залежить від швидкості, з якою здійснюється перепад температур. Так, при зміні температури з 16 °С до 26 °С і навпаки – з 26 °С до 16 °С, із швидкістю 1–2 °С за хвилину відбувається двофазовий перехід інтенсивності фотосинтезу на новий стаціонарний рівень: початкова короткочасна активація змінюється депресією і новою активацією, яка закінчується встановленням стаціонарного стану. Для проведення активного експерименту встановлено, що нічна температура розсади помідорів повинна бути 16–18 °С, а денна 20–22 °С. Важливо пам'ятати, що температура повітря в теплиці вище 28 °С пригнічує фотосинтез у рослині, а за умов перевищення 36 °С можлива стерилізація пилку. Так само негативно впливає на фотосинтез і тривале зниження температури до 8–12 °С.

Результати досліджень. Таким чином, значення чистої продукції фотосинтезу може бути отримане у вигляді поліноміального рівняння, залежного від трьох факторів:

$$y_1 = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1x_2 + a_5x_1x_3 + a_6x_2x_3 + a_7x_1^2 + a_8x_2^2 + a_9x_3^2, \quad (1)$$
де x_1 – температура, °С, x_2 – інтенсивність сонячної радіації, Вт/м², x_3 – вміст CO₂, %.

З метою визначення інтенсивності фотосинтезу необхідно виконати у фітотроні повний трифакторний експеримент другого порядку. Діапазони зміни факторів від $-\alpha$ до $+\alpha$ з урахуванням попереднього огляду занесені до табл.1.

При створенні ротатабельних планів другого порядку при трифакторному експерименті значення $\alpha = 1,682$, а кількість дослідів у

нульовій точці буде рівною шести ($N_0 = 6$). При цьому повний трифакторний експеримент матиме вигляд табл.2.

1. Діапазони зміни значень факторів

Фактор	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Температура, °C	16	19,1	21	22,9	26
Освітленість, Вт/см ²	$0,12 \cdot 10^{-3}$	$4,16 \cdot 10^{-3}$	$6,56 \cdot 10^{-3}$	$8,96 \cdot 10^{-3}$	$13,0 \cdot 10^{-3}$
Вміст CO ₂ , %	0,03	0,083	0,115	0,147	0,2

2. Повнофакторний експеримент

N п/п	Температура, °C	Освітленість, Вт/см ²	Вміст CO ₂ , %	Примітки
1	-1	-1	-1	1 серія
2	+1	-1	-1	дослідів
3	-1	+1	-1	(1 – 4)
4	+1	+1	-1	
5	-1	-1	+1	2 серія
6	+1	-1	+1	дослідів
7	-1	+1	+1	(5 – 8)
8	+1	+1	+1	
9	$-\alpha$	0	0	3 серія
10	$+\alpha$	0	0	дослідів
11	0	$-\alpha$	0	(9 – 12)
12	0	$+\alpha$	0	
13	0	0	$-\alpha$	4 серія
14	0	0	$+\alpha$	дослідів
15–20	0	0	0	6 повторних дослідів

Прототипом дослідної установки для вивчення росту помідорів у камерах була вибрана установка, яка показана на рис.2 [5]. У цій установці передбачено встановлення чотирьох камер у фітотроні, кожна з яких містить ящики з пластмасовими стаканами для вирощування 6 рослин помідорів. Для забезпечення росту рослин і умов досліду в камерах підтримується необхідний рівень освітлення і концентрації CO₂. Система також забезпечує заданий рівень подачі необхідних речовин з живильним розчином. Концентрація поживних речовин і рН розчину підтримуються автоматично.

Існує інша система живлення рослин мінеральними речовинами, як показано на рис.3 [3]. Така система при вирощуванні рослин гідропонним методом відповідає таким вимогам:

- забезпечує:
- подачу і відведення живильного розчину відповідно до потреб рослин,
- аерацію живильного розчину,
- має:
- мінімальні розміри і незначні затрати на експлуатацію,
- високу експлуатаційну надійність,
- проста в експлуатації.

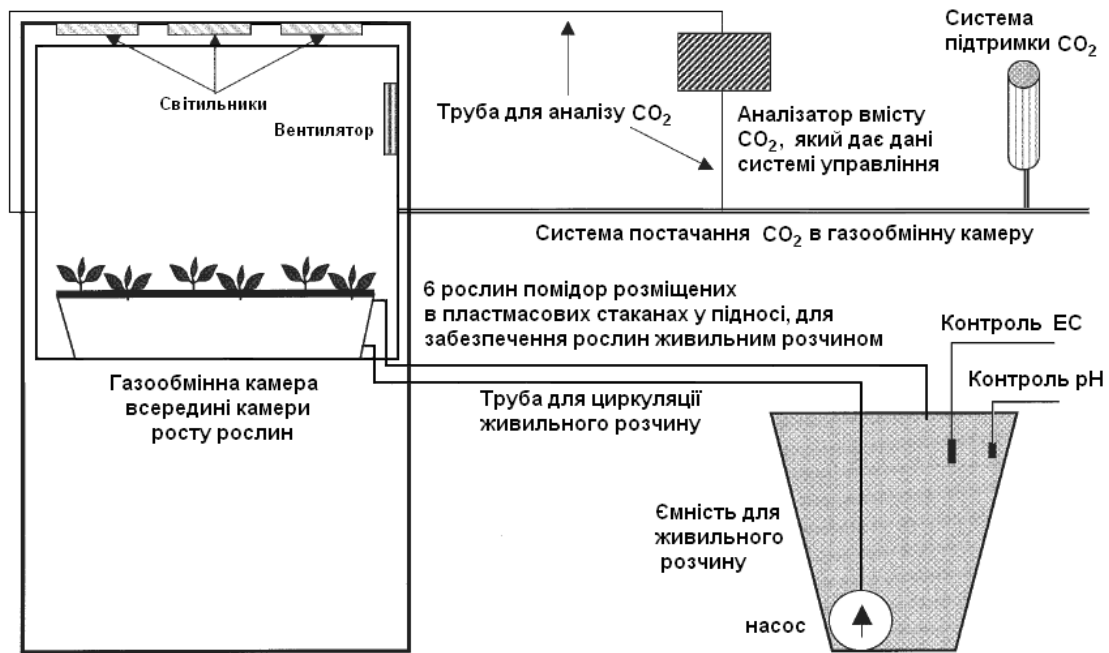


Рис.2 Схема установки для підтримання росту рослин у фітотроні [3]

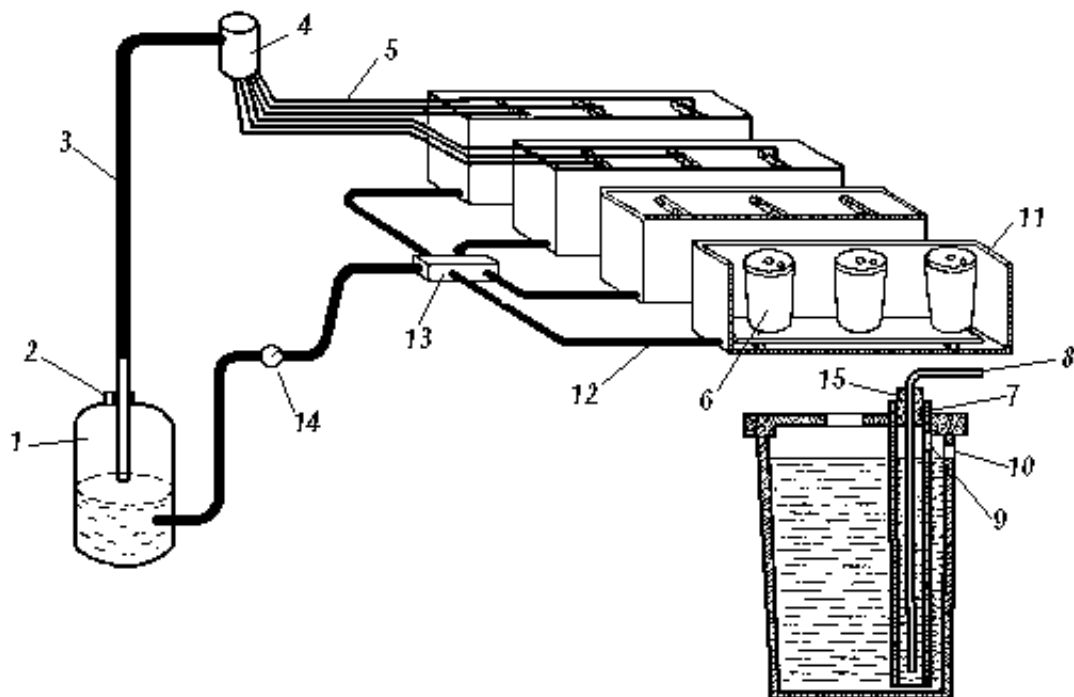


Рис. 3. Схема пристрою для вирощування рослин у водних культурах: 1 – резервуар з живильним розчином; 2 – трубка, яка йде від компресора; 3 – трубка, по якій підіймається живильний розчин із резервуара; 4 – розподілювач; 5 – трубки, якими подають живильний розчин на вегетаційні судини; 6 – вегетаційна судина; 7 – запобіжна трубка; 8 – трубка для притоку живильного розчину; 9 – отвір для виходу повітря; 10 – отвір у вегетаційній судині для відтоку живильного розчину; 11 – ящик з вегетаційними судинами; 12 – трубки, що йдуть від ящиків; 13 – колектор; 14 – клапан; 15 – пробка

Система використовувалась для дослідження процесу фотосинтезу при вирощуванні тютюну, але може також бути використана і для вирощування помідорів. Недоліком системи, на нашу думку, є відсутність системи контролю та автоматизації концентрації і витрат живильного розчину.

Фітотрон, який пропонується використовувати для досліджень, відрізнятиметься від прототипу наявністю схеми регулювання температури в кожній із 4-х камер, рівня освітленості в цих камерах та схемою контролю характеристик живильного розчину (рис.4).

Досліди проводитимуться у фітотроні з чотирма камерами, які будуть забезпечувати виконання 20 дослідів за декілька серій. Досліди однієї серії проводяться при підтриманні однакової концентрації CO_2 в усіх камерах фітотрона (4 дослідів). Це відповідно дослідів 1–4, 5–8, 9–12 і 17–20. Досліди 13 – 16 в одній серії виконати буде важко без перебудови системи подачі CO_2 до камер, оскільки концентрація CO_2 повинна підтримуватись на різних рівнях: $-\alpha$, $+\alpha$ і 0. Тому проведення цих серій дослідів відбуватиметься окремо.

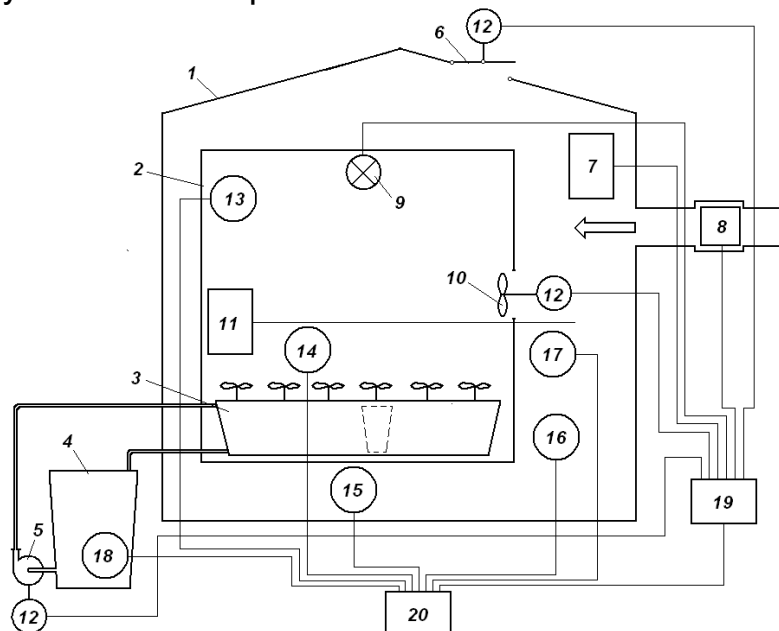


Рис. 4. Схема автоматизації фітотрона для вивчення фотосинтезу при вирощуванні помідорів: 1 – корпус фітотрона; 2 – одна з 4-х камер росту; 3 – ящик з вегетаційними посудинами для вирощування томатів; 4 – резервуар з живильним розчином; 5 – насос; 6 – кватирка; 7 – ультразвуковий зволожувач повітря у фітотроні; 8 – генератор CO_2 , або ємність для подачі CO_2 у фітотрон; 9 – лампа освітлення камери; 10 – вентилятор камери; 11 – нагрівач повітря камери; 12 – електродвигуни приводів; 13 – датчик температури; 14 – датчик освітленості; 15 – тензодатчик камери; 16 – газоаналізатор CO_2 ; 17 – психрометр повітря фітотрону; 18 – датчик концентрації живильного розчину; 19 – силовий блок; 20 – мікропроцесор

Забезпечення випадковості (рандомізація) дослідів буде підтримуватися не випадковою зміною послідовності дослідів, а за рахунок компенсації

множиною рослин у кожній камері (4 – 6 рослин) та розмірами випадково посаджених рослин. Різні значення температури та освітленості в камерах підтримуватимуться в автоматичному режимі за допомогою встановлення індивідуальних відповідних датчиків температури та освітленості, нагрівачів, ламп освітлення і регуляторів цих параметрів у кожній із камер. Для забезпечення необхідного рівня освітленості планується використати датчик освітленості, за допомогою якого один раз на добу з урахуванням висоти рослин і завдання стосовно плану експерименту встановлюватиметься необхідний рівень освітленості. Концентрацію живильного розчину також можна перевіряти кондуктометром (можливо лабораторним аналізом) раз або два рази на добу. Значення вологості повітря і вмісту вуглекислого газу в повітрі буде підтримуватись у всіх камерах однаковим.

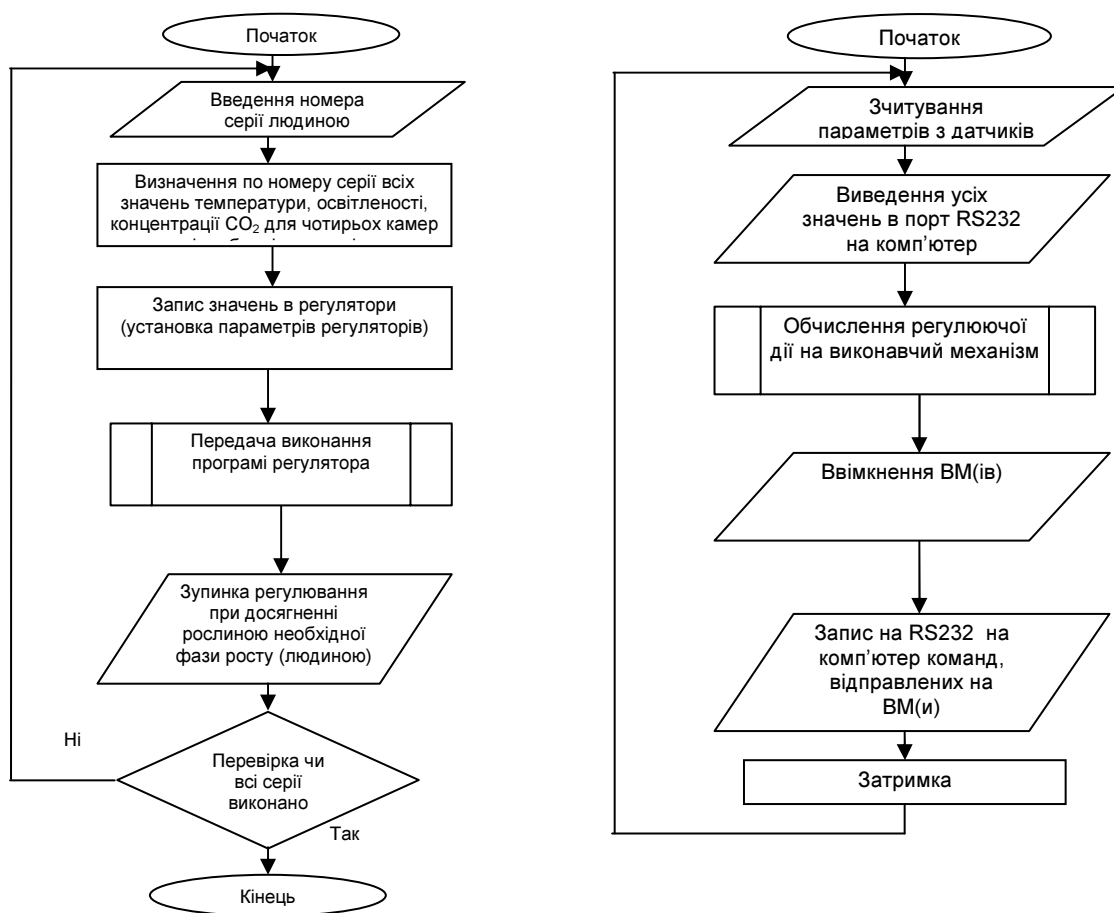


Рис. 5. Блок-схема алгоритму для забезпечення автоматизації фітотрона

Одна серія дослідів проводитиметься протягом 8–10 діб для розсади томатів одного сорту при посадці рослини з 4-ма листочками до вегетативного розвитку рослини з 8 – 9 листочками.

Інтенсивність фотосинтезу визначатиметься за стандартними методиками: за зміною ваги рослини, з використанням тензодатчиків, за допомогою визначення площі листя рослини, ваги сухої маси рослини після закінчення дослідів і висушування рослин [1, 5].

Автоматизація функціонування фітотрона здійснюватиметься за розробленим алгоритмом (рис. 5), який складається з блока ініціалізації програми та блока програми регуляторів. Передбачається використання полімікропроцесорного пристрою SOTA, який і керуватиме параметрами мікроклімату в кожній камері фітотрона.

Висновки

1. Для ефективного дослідження впливу інтенсивності сонячної радіації на фотосинтез слід провести експеримент, де керуючими факторами виступатимуть температура повітря, рівень освітленості та концентрація CO₂.

2. Експериментальні дослідження слід проводити в автоматизованому фітотроні, що забезпечить підтримання зазначених параметрів на необхідному рівні для кожної серії дослідів шляхом реалізації запрограмованого розробленого алгоритму.

Список літератури

1. Клешнин А. Ф. Растение и свет. Теория и практика светокультуры растений / Клешнин А. Ф. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 456 с.

2. Микроклиматические основы тепличного овощеводства / [пер. с болг. Е.С.Сигаев] – М.: Колос, 1982. – 175 с.

3. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения ее продуктивности / А.А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. - М.: Наука, 1997. – С. 511 – 527.

4. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза / Тарчевский И.А. – М.: Высш. шк., 1977. – 253 с.

5. Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels./ D.Schwarz, H.-P.Klaring, M.W.van Iersel, K.T.Ingram, J. Amer. Soc. Hort. Sci. №127(6) 2002, p.984 – 990. Schrader D. H., Mc Nelis D. D. Microwave Irradiation of Plant Roots in soil. -J. of Microwave Power. 1975. - vol. -10, № 1. - p. 77 - 91.

6. Thornley J.H.M., Hurd R.G. An Analysis of the Growth of Young Tomato Plants in Water Culture at Different Light Integrals and CO₂ Concentrations \ Annals of Botany \ – Vol.38, Issue 2 – pp. 389-400 - 1979.

Проведено планування багатофакторного експеримента для определения продуктивности фотосинтеза культур томатов, обоснована и разработана структура экспериментальной установки (автоматизированного фитотрона), разработано соответствующее алгоритмическое обеспечение управления активным экспериментом.

Многофакторный эксперимент, фотосинтез, автоматизированный фитотрон.

The plan of multifactor experiment was based in the article. Value of tomato plants' photosynthesis productivity f was identified, and the structure of the experimental setup (automatic plant growth chamber) was proved and the corresponding algorithm of the active experiment was developed.

Multifactor experiment, photosynthesis, automated phytotron.