

УДК 631.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.49-60>

К. В. Васильковська, доц., канд. техн. наук, **М. М. Ковальов**, доц., канд. с.-г. наук,
В. О. Малаховська

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: vasilkovskakv@ukr.net

Обґрунтування раціональних параметрів гідропонної установки періодичного затоплення

Метою роботи є вибір оптимальних параметрів портативної гідропонної установки періодичного затоплення та технології вирощування рослин в ній, що забезпечить збільшення продуктивності рослин за рахунок використання фітоматриць із різним співвідношенням елементів освітлення червоного до елементів синього кольору, різній щільності фотосинтетичного фотонного потоку та використання поживного розчину на основі біопрепаратів.

З метою оптимізації ефективності вирощування овочевих і ягідних культур здійснено вдосконалення конструкції дослідної портативної установки періодичного підтоплення покращеною інтегрованою системою штучного опромінення на основі спеціалізованих фітоматриць. запропоновані технологічні рішення в модернізованій портативній гідропонній установці періодичного затоплення надають можливість при вирощуванні рослини базиліку оптимізувати стартові умов вегетації та збільшити енергію проростання насіння, набору зеленої маси рослин, скорочення тривалості дозрівання рослин та інтенсифікації наростання листової маси. Підбір кращого освітлення сприяє більш стабільному фотосинтезу із прийнятими показниками мікроклімату всередині установки.

гідропонна установка, періодичне затоплення, фітоматриці, потужність світла, продуктивність

Постановка проблеми. Забезпечення людей збалансованим харчуванням із необхідною добовою нормою калорій є основою продовольчої безпеки як в Україні, так і у Світі. Оскільки повномасштабна війна суттєво поглибила глобальну продовольчу кризу [1], традиційний аграрний сектор зіткнувся із безпрецедентними викликами. Це змушує переосмислити підходи до вирощування продукції харчування та звернути увагу а інноваційні закриті агросистеми, зокрема на вертикальне землеробство, як інструмент локального та незалежного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Певним чином, вертикальне землеробство є проривом у сільськогосподарському виробництві, усуваючи такі проблеми як: дефіцит ґрунту, недостатність вологи, спричинену змінами кліматичних умов. І саме гідропоніка, де вирощування рослин відбувається у поживному розчині воді, замість ґрунту – є тією технологічною системою, яка вирішує проблему недостатності ґрунту, насичення ринку овочевою продукцією цілий рік та продовольчої безпеки країни [2, 3].

Розвиток та класифікація сучасних гідропонних систем визначаються архітектонікою вирощуваних культур, доступним просторовим ресурсом, рівнем автоматизації устаткування, специфікою світлотехнічних рішень та техніко-економічними показниками технології [2, 4]. До основних типів конструкцій гідропонних систем відносяться:

- Гнотова (фитильна);
- Метод глибоководної культури (Deep Water Culture – DWC);
- Періодичного затоплення (Periodic Flooding);
- Метод живильної плівки (Nutrient Film Technique – NFT);
- Аеропоніка.

Системи періодичного затоплення (Periodic Flooding) базуються на циклічному заповненні ємності із рослинами поживним розчином із наступним його повним зливанням у резервуар. Це забезпечує коріння рослин вологою та поживними речовинами під час «припливу» та інтенсивною аерацією під час «відливу» [3, 5].

Такі гідропонні системи можуть бути класичними лотковими, стелажними багатоярусними або із індивідуальними контейнерами [4, 6]

Класичні лоткові системи (Ebb and Flow Tray System) складаються з горизонтальних піддонів, що заповнені субстратом (керамзит, мінеральна вата, тощо) або індивідуальні кошики для рослин. В таких установках насосна система подає поживний розчин через вхідний фітинг. Коли рівень розчину досягає висоти переливної трубки, надлишок стікає назад у резервуар. Після вимкнення насосної системи, поживний розчин повільно зливається до піддона. Основними складовими такої гідропонної системи є резервуар, насосна система, система трубок, піддон із субстратом та переливна трубка [3, 7].

Стелажні багатоярусні установки (Vertical Farming) більше підходять для міських ферм, тут кожен ярус може працювати автономно або може бути підключений до спільної магістралі із поживним розчином. В такій системі ряд лотків розташовано один над одним. Поживний розчин може подаватися паралельно, тобто до кожного ярусу окремо, або каскадно для усіх. Основними складовими такої гідропонної системи є колектор розподілу поживного розчину та система освітлення установки кожного ярусу [6, 8].

Системи з індивідуальними кошиками можуть використовуватись для великих рослин, де кожен кошик з'єднано із загальною ємністю, в якій знаходиться контролер, який регулює рівень затоплення. В таких системах використовується загальний резервуар із поживним розчином із поплавковим клапаном або сенсором рівня. Загальною перевагою таких гідропонних систем є можливість вільного доступу до кожної окремої рослини та великий об'єм субстрату для їх кореневої системи [9].

Всі перераховані схеми гідропонних систем періодичного затоплення мають свої переваги і недоліки, однак є те, що їх об'єднує: вони допомагають повністю автоматизувати процес живлення рослин, оптимізувати витрати водних ресурсів і забезпечити стабільний мікроклімат у кореневій зоні за рахунок чітко контрольованих інтервалів подачі поживного розчину [10].

На даному етапі розвитку інженерії в галузі гідропоніки, безперечним проривом є використання інтелектуальних систем для управління установками. В таких системах може бути використано штучний інтелект, який допоможе адаптивному керуванню, за допомогою впровадження алгоритмів, що корегують частоту затоплення залежно від інтенсивності транспірації та фази росту рослини.

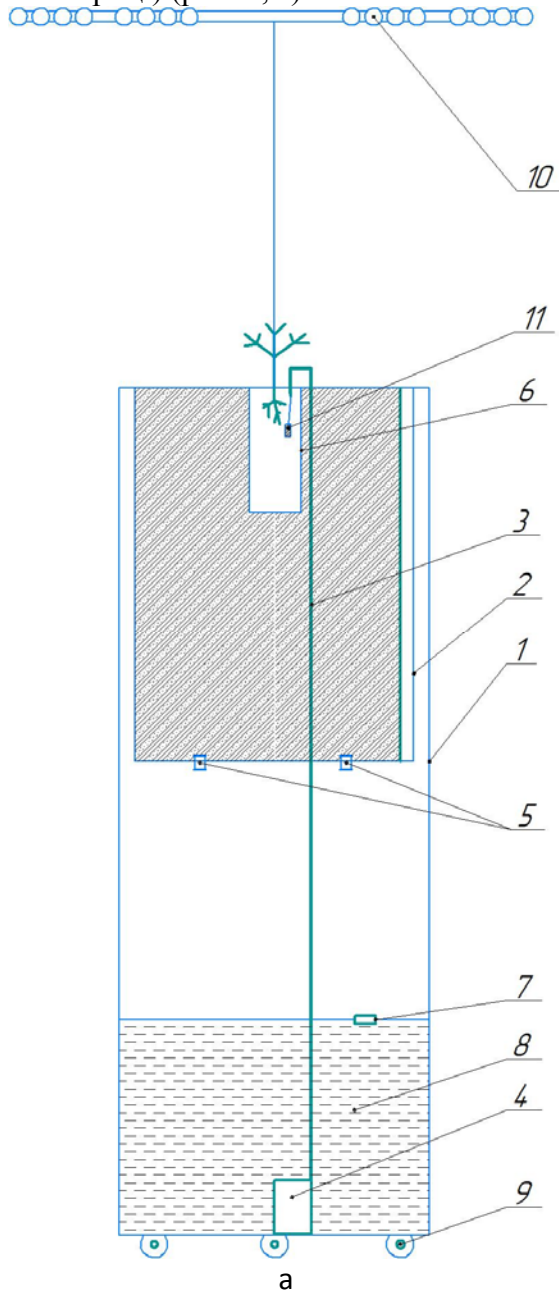
Таким чином, конструкції гідропонних систем періодичного затоплення залишаються одними з найнадійніших завдяки пасивній фазі аерації. Сучасним напрямом вдосконалення таких установок є використання новітніх систем освітлення та перехід від статичних циклів до динамічного керування затопленням субстрату.

Постановка завдання. Метою роботи є вибір оптимальних параметрів портативної гідропонної установки періодичного затоплення та технології вирощування рослин в ній, що забезпечить збільшення продуктивності рослин за рахунок використання фітоматриць із різним співвідношенням елементів освітлення червоного до елементів синього кольору, різній щільності фотосинтетичного фотонного потоку та використання поживного розчину на основі біопрепаратів.

Виклад основного матеріалу. З метою оптимізації ефективності вирощування овочевих і ягідних культур на кафедрі загального землеробства

Центральноукраїнського національного технічного університету здійснено вдосконалення конструкції дослідної портативної установки періодичного підтоплення покращеною інтегрованою системою штучного опромінення на основі спеціалізованих фітоматриць (рис. 1) [2, 10, 11].

Гідропонна установка періодичного затоплення складається із вертикального резервуару 1, до якого кріпляться за допомогою стійки елементи освітлення 10 (фітоматриці) (рис. 1, а).



1 – вертикальний зовнішній резервуар; 2 – внутрішній контейнер; 3 – система подачі; 4 – автоматична насосна системи із водяною помпою; 5 – дренажні отвори; 6 – hydroponic baskets; 7 – датчик мінімального рівня поживного розчину; 8 – поживний розчин; 9 – роликова система; 10 – елементи освітлення (фітоматриці); 11 – датчик вологості

а – схема, б – загальний вигляд

Рисунок 1 – Гідропонна установка періодичного затоплення

Джерело: розроблено авторами та на підставі [2, 10]

У вертикальному зовнішньому резервуарі 1 із поживним розчином 8 в ньому, всередині розташовано систему подачі 3 поживного розчину, який подається із нижньої частини вертикального зовнішнього резервуару за допомогою системи подачі 3 поживного розчину 8 і автоматичної насосної системи із водяною помпою 4 до внутрішнього контейнера для субстрату 2 із дренажними отворами 5 для стікання розчину. У верхній частині внутрішнього контейнера із субстратом 2 розташовано гідропонний кошик 6 із рослиною. Також, у вертикальному зовнішньому резервуарі знаходиться датчик мінімального рівня наповнення резервуару 7. Конструкція гідропонної установки кріпиться до роликової системи 9 для можливості перемішувати установку за потреби.

Технологічний процес відбувається наступним чином. Поживний розчин із вертикального зовнішнього резервуару 1 за допомогою автоматичної насосної системи і водяної помпи 4 подається за допомогою системи подачі 3 поживного розчину 8 до внутрішнього контейнера 2 зі штучним субстратом, в якому знаходиться гідропонний кошик 6 із датчиком вологості 11, який вмикає подачу поживним розчином внутрішнього контейнера автоматично, після наповнення внутрішнього контейнера (15–20 хв.), система подачі води вимикається. Поживний розчин 8 через дренажні отвори 5, розташовані в нижній частині внутрішнього контейнера, повністю повертається до зовнішнього контейнера 1.

Датчик мінімального рівня 7 поживного розчину контролює наявність достатньої кількості розчину у зовнішньому резервуарі та попереджає про необхідність його поповнення. Цикл заповнення та спорожнення внутрішнього контейнера повторюється кілька разів на добу (контролюється датчиком вологості 11 в залежності від типу рослин та використовуваного субстрату).

Таким чином, використання в даній гідропонній установці періодичного затоплення системи автоматичної подачі поживного розчину спрощує та вдосконалює систему подачі поживного розчину, використання фітоматриць із випромінювальними елементами сприятиме прискоренню фотосинтезу та розвитку структурних елементів рослин, підвищенню їх врожайності, а використання роликової системи надає можливість перемішувати її за потреби.

Чергування у фітоматрицях червоних і синіх фотоелементів дає змогу використовувати червоне світло з довжиною хвилі від 650 до 700 Нм, яке відіграє вирішальну роль у фотосинтезі, оскільки стимулює процеси росту, цвітіння та формування плодів, а синє світло з довжиною хвилі від 400 до 500 Нм, яке є важливим на ранніх етапах розвитку рослин для формування міцної кореневої системи, зміцнення стебла та розвитку листового апарату (рис. 2). Висока частка випромінювання в червоному діапазоні спектру сприяє фотосинтезу та забезпечує збільшення продуктивності рослин, тоді як синя складова забезпечує нормальний морфогенез і формування вегетативних органів (листіків). Таке спектральне поєднання є доволі ефективним для вирощування різних культур: від листової зелені до овочів.

Для досліджень було використано насіння базилику сорту Рутан (ранній), оригігінатор – Дослідна Станція «Маяк» ІОБ НААН України. Тип насіннєвого матеріалу: еліта. Вегетаційний період (60–66 діб).

Програма досліджень передбачала контроль та підтримання таких параметрів:

– в якості живильного середовища використовували стандартний гідропонний розчин для зеленних культур із релевантним для базилику вмістом елементів живлення. З метою стимуляції розвитку кореневої системи та покращення фізіологічного стану рослин до складу середовища було додано мікробіологічний комплекс ЕМ-5 [10, 11];

–фотоперіод та світловий режим забезпечували за допомогою світлодіодних елементів освітлення (фітоматриць) із фіксованим співвідношенням червоного та синього спектрів [12];

–мікрокліматичні показники підтримували на рівні: температура середовища – 20–24°C, відносна вологість повітря – 60–70%.



Рисунок 2 – Загальний вигляд фітоматриць із випромінювальними елементами

Джерело: розроблено авторами та на підставі [2, 10, 12]

Метою даної серії дослідів була реалізація матриці центрального композиційного плану 2^2 для виявлення залежності продуктивності рослин від співвідношення червоного і синього спектрів освітлення та потужності світлового потоку. На основі отриманих даних обґрунтовано раціональні технологічні параметри та режими роботи гідропонної установки періодичного підтоплення, які забезпечують максимальну ефективність вирощування овочевих культур

Отримано матрицю планування експерименту (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту 2^2

Номер дослідів	Співвідношення елементів освітлення червоного до елементів синього кольору, од.	Потужність світла, мкмоль/м ² /с
	x_1	x_2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

Співвідношення елементів освітлення червоного до елементів синього кольору вибрано на основі проведених попередніх досліджень [2, 5], відповідно до яких співвідношення елементів освітлення обрано від 1:1 до 1:8.

Потужність світла обрано на основі рекомендацій досліджень [12–14], а також результатів попередніх досліджень [2, 5], відповідно до яких потужність складає 150 мкмоль/м²/с та 270 мкмоль/м²/с.

На основі наведених вихідних параметрів, цільовими критеріями оптимізації процесу вирощування овочевих культур у модернізованій портативній гідропонній установці періодичного затоплення було обрано:

1. висоту рослин, см;
2. час настання фази «Бєбі лист», дн.;
3. масу зелені, г;
4. кількість листків, од.

Метою цієї серії дослідів слугувала реалізація матриці центрального композиційного плану 2², в результаті чого отримано вплив чинників (співвідношення елементів освітлення червоного до елементів синього кольору та потужність світла), отримано раціональні параметри та режими роботи модернізованої портативної гідропонної установки періодичного затоплення для оптимізації параметрів вегетації та збільшення біопродуктивності. Отримано наступні результати реалізації обраної матриці планування експерименту (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати реалізації матриці планування експерименту 2²

Номер дослідів	Фактори		Критерії			
	Співвідношення елементів освітлення червоного до елементів синього кольору, од.	Потужність світла, мкмоль/м ² /с	Висота рослин, см	Час настання фази «Бєбі лист», дн.	Маса зелені, г	Кількість листків, од.
	x_1	x_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	1	150	3,5	14	0,75	5,0
2	8	150	4,0	12	0,90	6,0
3	1	270	4,3	11	1,10	7,5
4	8	270	4,6	9	1,30	9,0

Математичну обробку та статистичний аналіз експериментальних даних здійснювали з використанням пакета прикладних програм STATISTICA 12 [15], що дозволило апроксимувати результати досліджень шляхом побудови адекватної статистичної математичної моделі для Y_1 (висота рослин), Y_2 (час настання фази «Бєбі лист»), Y_3 (маса зелені), Y_4 (кількість листків).

Отримано наступні рівняння регресії:

$$Y_1 = 8,107 - 0,607x_1 - 0,031x_2 + 0,004x_1x_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 18,036 - 0,286x_1 - 0,025x_2, \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,95 + 0,05x_1 + 0,1x_2 + 0,2x_3, \quad (3)$$

$$Y_4 = 1,821 + 0,053x_1 + 0,02x_2. \quad (4)$$

Статистичну значущість отриманих коефіцієнтів рівняння регресії перевіряли за допомогою t-критерію Ст'юдента. Усі наведені в моделях коефіцієнти є статистично значущими з довірчою ймовірністю $P_H = 0,95$ і числа ступенів свободи $f = 8$ складає $t = 2.306$ [14].

Статистичний аналіз отриманих експериментальних даних підтверджує адекватність побудованих моделей, а також математичну коректність, репрезентативність та відтворюваність. Розрахункове значення критерію Кохрена G^P для кожного з експериментів Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 не перевищує його критичного (табличного) значення становить $G_1^P = 0,22$, $G_2^P = 0,28$, $G_3^P = 0,31$, $G_4^P = 0,35$ і є меншими за табличне значення $G^T = 0,68$ [14].

Адекватність побудованих рівнянь регресії експериментальним даним перевіряли за допомогою F-критерію Фішера, табличне значення якого для рівня надійності $P_H = 0,95$ і числа ступенів свободи $f = 8$ становить $F^T = 4,15$ [15]. Розрахункові значення критерію Фішера для всіх моделей є меншими за їхні критичні значення, що підтверджує адекватність усіх моделей.

Для графічної інтерпретації отриманих регресійних залежностей було побудовано поверхні відгуку для висоти рослин, часу настання фази «Бєбі лист», маси зелені та кількості листків (рис. 3, 4, 5, 6).

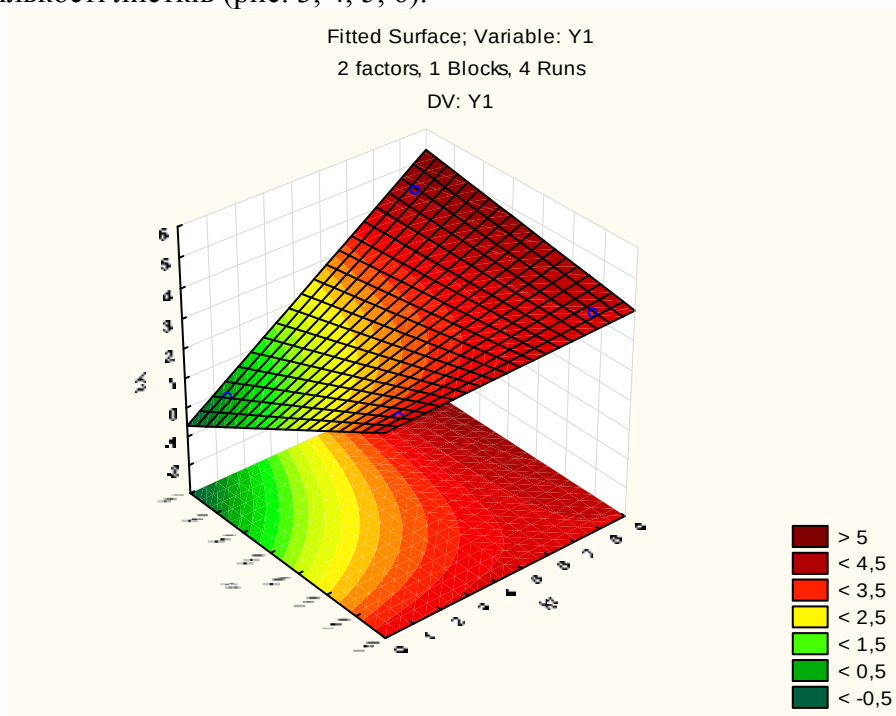


Рисунок 3 – Поверхня відгуку для висоти рослин: $Y_1 = f(x_1, x_2)$

Джерело: розроблено авторами та на підставі [15]

Аналіз поверхонь відгуку за критерієм оптимізації висоти рослин дозволяє встановити раціональні значення досліджуваних чинників, а саме:

- найбільші рослини отримано при співвідношенні елементів освітлення червоного до елементів синього кольору в діапазоні від 1:7 до 1:8, од.;
- найкращий діапазон потужності світла для отримання найвищих рослин знаходиться в межах від 250 мкмоль/м²/с до 270 мкмоль/м²/с.

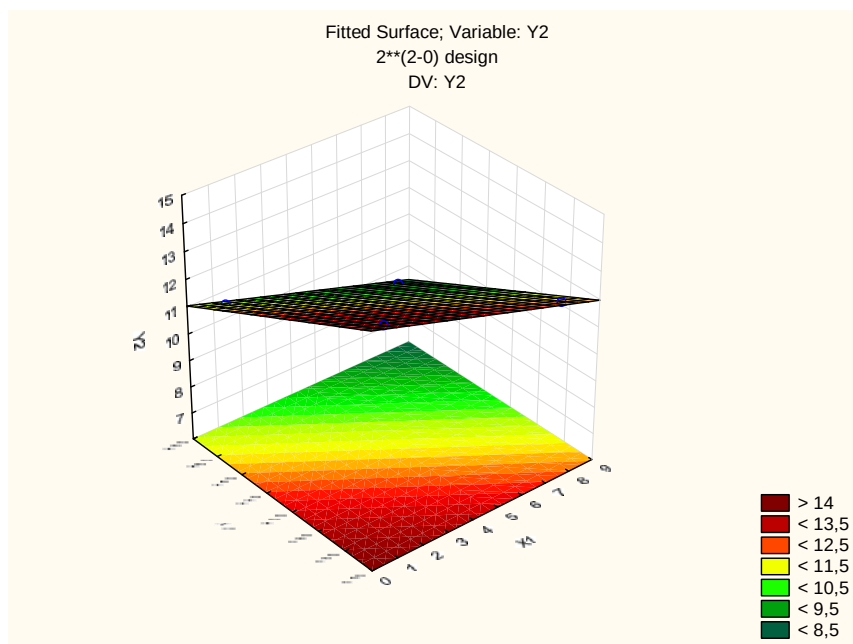


Рисунок 4 – Поверхня відгуку для часу настання фази «Бєбі лист»: $Y_2=f(x_1, x_2)$

Джерело: розроблено авторами та на підставі [15]

Аналіз поверхні відгуку за критерієм оптимізації часу настання фази «Бєбі лист», дозволяє встановити раціональні значення досліджуваних чинників, а саме:

- найскоріше фаза «Бєбі лист» настає при співвідношенні елементів освітлення червоного до елементів синього кольору в діапазоні від 1:6 до 1:8, од.;
- найкращий діапазон потужності світла для настання цієї фази розвитку знаходиться в межах від 240 мкмоль/м²/с до 260 мкмоль/м²/с.

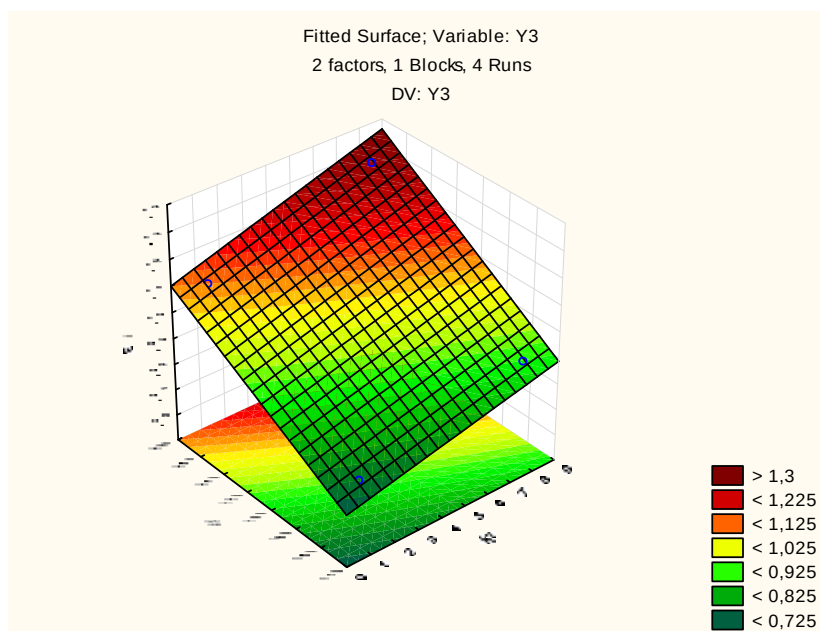


Рисунок 5 – Поверхня відгуку для маси зелені: $Y_3=f(x_1, x_2)$

Джерело: розроблено авторами та на підставі [15]

Аналіз поверхні відгуку за критерієм оптимізації маси зелені, дозволяє встановити раціональні значення досліджуваних чинників, а саме:

–найбільший набір маси зелені отримано при співвідношенні елементів освітлення червоного до елементів синього кольору 1:8, од.;

–найкращий діапазон потужності світла для набору маси зелені рослин знаходиться в межах від 250 мкмоль/м²/с до 270 мкмоль/м²/с.

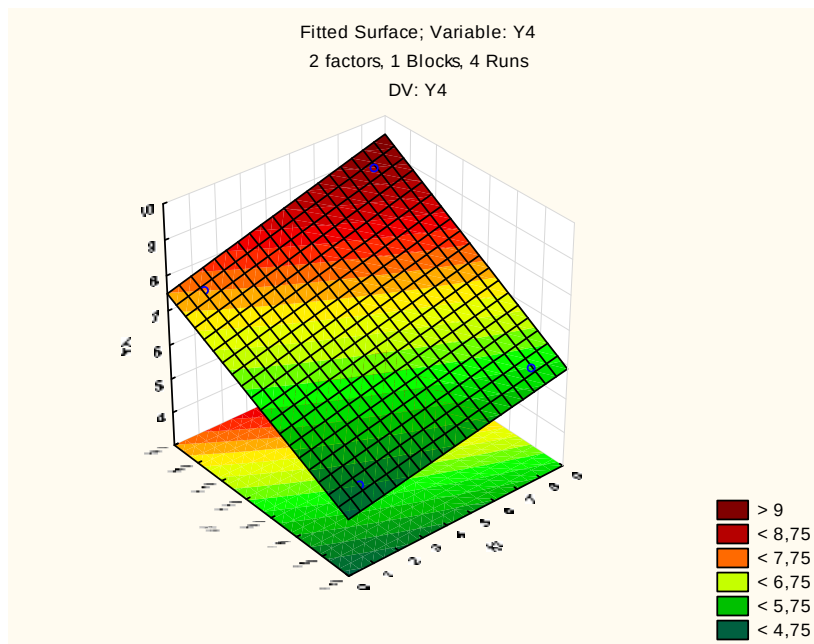


Рисунок 6 – Поверхня відгуку для кількості листків: $Y_4=f(x_1, x_2)$

Джерело: розроблено авторами та на підставі [15]

Аналіз поверхні відгуку за критерієм оптимізації кількості листків, дозволяє встановити раціональні значення досліджуваних чинників, а саме:

–найбільшу кількість листків отримано при співвідношенні елементів освітлення червоного до елементів синього кольору 1:8, од.;

–найкращий діапазон потужності світла для отримання найбільшого значення кількості листків знаходиться в межах від 250 мкмоль/м²/с до 270 мкмоль/м²/с.

Таким чином, після аналізу статистичних даних експериментальних досліджень, можна зробити висновки, що при вирощуванні рослин базиліку в модернізованій портативній гідропонній установці періодичного затоплення для отримання стабільного фотосинтезу без вигорання листя та прийнятних показників мікроклімату всередині установки найкращим співвідношенням елементів освітлення червоного до елементів синього кольору є діапазон від 1:6 до 1:8 одиниць у фітоматрицях. А найкращий діапазон щільності фотосинтетичного фотонного потоку (потужності світла) знаходиться в межах від 250 мкмоль/м²/с до 270 мкмоль/м²/с є найбільш ефективним.

Висновки. Таким чином, запропоновані технологічні рішення в модернізованій портативній гідропонній установці періодичного затоплення надають можливість при вирощуванні рослин базиліку оптимізувати стартові умов вегетації та збільшити енергію проростання насіння, набору зеленої маси рослин, скорочення тривалості дозрівання рослин та інтенсифікації наростання листової маси. Підбір кращого

освітлення сприяє більш стабільному фотосинтезу із прийнятими показниками мікроклімату всередині установки.

Список літератури

1. Vasylovskaya K., Vasylovskiy O., Popova S., Malakhovskaya V. The directions for optimizing Ukraine's export potential of grain crops in the context of changing climatic conditions. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series V: Economic Sciences*. 2021. Vol. 14(63), No. 1. P. 129–136. DOI: <https://doi.org/10.31926/but.es.2021.14.63.1.14>
2. Vasylovskaya K., Kovalov M., Vasylovskiy O., Michailova D. Determining optimal cultivation parameters for a portable hydroponic system using the nutrient film technique. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2025. Vol. 22(3), pp. 185–197. DOI: <https://doi.org/10.36922/ajwep025170132>
3. Resh H.M. *Hydroponic Food Production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC: Press, 2022. P. 642. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003133254>
4. Литвиненко Р., Міхєєнко В. Перспективи використання гідропоніки в Україні для вирощування салатів та овочів. *Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство»*. 2021. С. 58–63. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232888>
5. Васильковська К.В., Ковальов М.М., Васильковський О.М. Гідропонна установка для вирощування овочевих культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2025. Вип. 55. С. 9–21. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.9-21>
6. Купчук І., Мельник О. Математичне моделювання впливу опромінення на продуктивність процесу вирощування рослинної продукції в гідропонній установці. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2024. Вип. 331(1). С. 83–88. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-14>
7. Lima A. H. d. F., Salles J. S., Vendruscolo E. P., Seron C. d. C., de Freitas R. S., de Lima S. F., Sant'An, G.R., Costa E. Management of Inoculation with Bradyrhizobium japonicum and Application of Vitamins for Hydroponic Soybean Cultivation. *International Journal of Microbiology*. 2024. Vol. 2024, pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/4463693>
8. Kozai T., Nakaoka H., Lu N., Nguyen D. T. P., Hayashi, E. Research and Development Challenges Faced by Plant Factories to Solve Global Problems: From the Perspectives of Civilization and Culture. *Horticulturae*. 2025. Vol. 11(7), 793. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070793>
9. J. Benton Jones Jr. *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press. 2004. P. 438.
10. Savvas D., Neocleous D. Developments in soilless/hydroponic cultivation of vegetables. (in book: *Achieving sustainable cultivation of vegetables*). Burleigh Dodds Science Publishing, 2019. P. 34.
11. Портативна гідропонна установка: пат. 161674 Україна: МПІК А01G31/00 / Ковальов М.М., Васильковська К.В., Михайлова Д., Васильковський О.М. (Україна). заявник і патентотримач Центральноукраїнський національний технічний університет. № u202502061; заявл. 06.05.2025; опубл. 25.12.2025, Бюл. № 52/2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1891980/>
12. Барановський В.М., Борецька Т.Ю., Когут В.М. Інтерактивний вплив спектрального складу додаткового освітлення та температури кореневої зони на продуктивність гідропонного салату. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2024. № 4(115). С. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-4-3>
13. Budavári N., Pé, Z., Helyes L., Takács S., Nemeskéri E. An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an Indoor Vertical Farming System. *Horticulturae*, 2024. Vol. 10, No. 9. P. 938. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090938>
14. Sahara A, Saputra R.H, Asis M, Lawasnitro A. Design of Hydroponic Planting Media Based on Solar Cell Power. In: *Conference: 2021 7 th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*. Malang, Indonesia: IEEE. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEEIE52663.2021.9616657>
15. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Підручник дослідника: Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін, 2016. 204 с.

Referencis

1. Vasylovskaya K., Vasylovskiy O., Popova S., & Malakhovskaya V. (2021). The directions for optimizing Ukraine's export potential of grain crops in the context of changing climatic conditions. *Bulletin of the*

- Transilvania University of Braşov. Series V: Economic Sciences*, 14(63)-1, 129–136. DOI: <https://doi.org/10.31926/but.es.2021.14.63.1.14>
2. Vasylovskaya, K., Kovalov, M., Vasylovskiy, O., & Michailova, D. (2025). Determining optimal cultivation parameters for a portable hydroponic system using the nutrient film technique. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 22(3). 185–197. DOI: <https://doi.org/10.36922/ajwep025170132>
 3. Resh H.M. (2022). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003133254>
 4. Lytvynenko, R., & Mikhieienko, V. (2021). Prospects for the use of hydroponics in Ukraine for growing salads and vegetables. *Materialy XKHII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Ekolohiia. Liudyna. Suspilstvo» – Materials of the XXII International Scientific and Practical Conference 'Ecology. Man. Society'.* 58–63. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS.2021.232888> [in Ukrainian]
 5. Vasylovskaya, K.V., Kovalov, M.M., & Vasylovskiy, O.M. (2025). Hydroponic system for growing vegetables. *Design, manufacture and operation of agricultural machinery. National interdepartmental scientific and technical collection*, 55, 9–21. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.9-21> [in Ukrainian]
 6. Kupchuk, I., & Melnyk, O. (2024). Mathematical modelling of the effect of irradiation on the productivity of plant cultivation in a hydroponic facility. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 331(1). 83–88. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-14> [in Ukrainian]
 7. Lima A. H. d. F., Salles J. S., Vendruscolo E. P., Seron C. d. C., de Freitas R. S., de Lima S. F., Sant'An, G.R., Costa E. (2024). Management of Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and Application of Vitamins for Hydroponic Soybean Cultivation. *International Journal of Microbiology*, 2024, 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/4463693>
 8. Kozai, T., Nakaoka, H., Lu, N., Nguyen, D.T.P., & Hayashi, E. (2025). Research and Development Challenges Faced by Plant Factories to Solve Global Problems: From the Perspectives of Civilization and Culture. *Horticulturae*, 11(7). 793. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070793>
 9. Benton Jones Jr., J. (2004). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press, 438.
 10. Savvas D., Neocleous D. (2019). Developments in soilless/hydroponic cultivation of vegetables. (in book: *Achieving sustainable cultivation of vegetables*). Burleigh Dodds Science Publishing, 34.
 11. Kovalov, M.M.; Vasylovskaya, K.V.; Michailova, D.; Vasylovskiy, O.M. (2025). Portatyvna hidroponna ustanovka [Portable Hydroponic System] : patent 161674 Ukraine: A01G31/00. No. u202502061; applied on 06.05.2025; published on 25.12.2025, Bulletin No. 52/2025. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1891980/> [in Ukrainian]
 12. Baranovskiy, V., Boretska, T., & Kohut, V. (2024). Interactive impact of the spectral composition of additional lighting and root zone temperature on the productivity of hydroponic lettuce. *Vibrations in engineering and technology*. 4(115). 24–30. DOI: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2024-4-3> [in Ukrainian]
 13. Budavári, N., Pé, Z., Helyes, L., Takács, S., & Nemeskéri, E. (2024). An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an Indoor Vertical Farming System. *Horticulturae*, 10(9), 938. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090938>
 14. Sahara, A, Saputra, R.H, Asis, M, & Lawasnitro, A. (2021). Design of Hydroponic Planting Media Based on Solar Cell Power. In: *Conference 7 th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*. Malang, Indonesia: IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEEIE52663.2021.9616657>
 15. Vasylovskiy, O., Leshchenko, S., Vasylovskaya, K., & Petrenko, D. (2016). *Researcher's Handbook: A Study Guide for Students of Agricultural Engineering Majors*. Kharkiv : Machulin [in Ukrainian].

Kateryna Vasylovskaya, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykola Kovalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Valentyna Malakhovska**

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Justification of Optimal Parameters for a Batch-Type Hydroponic System

Ensuring that people have access to a balanced diet that meets their daily caloric needs is the foundation of food security both in Ukraine and around the world. As the full-scale war has significantly exacerbated the global food crisis, the traditional agricultural sector has faced unprecedented challenges. This is forcing us to rethink our approaches to food production and turn our attention to innovative closed agricultural systems, particularly vertical farming, as a tool for local and independent production. In a sense, vertical farming represents a breakthrough in agricultural production, eliminating problems such as soil scarcity and water shortages caused by changing climatic conditions. And it is hydroponics – where plants are grown in a nutrient solution in water instead of soil – that is the technological system capable of solving the problem of soil scarcity,

ensuring a year-round supply of vegetables to the market, and, more broadly, ensuring the country's food security.

The aim of this study is to select the optimal parameters for a portable hydroponic system using intermittent flooding and the corresponding plant cultivation technology, which will increase plant productivity through the use of phytomatrices with varying ratios of red to blue light components, different densities of photosynthetic photon flux, and the use of a nutrient solution based on biological preparations.

To optimize the efficiency of growing vegetable and berry crops, the design of the experimental portable flood-and-drain system was improved with an enhanced integrated artificial lighting system based on specialized phytomatrices. The proposed technological solutions in the modernized portable hydroponic system for periodic flooding make it possible, when growing basil, to optimize the initial conditions for vegetation and increase seed germination energy and the accumulation of plant green mass, reduce the duration of plant maturation, and intensify leaf mass growth. The selection of optimal lighting contributes to more stable photosynthesis under the established microclimate conditions inside the system.

Thus, after analyzing the statistical data from the experimental studies, it can be concluded that when growing basil plants in a modernized portable intermittent-flooding hydroponic system to achieve stable photosynthesis without leaf scorch and acceptable microclimate conditions inside the system, the optimal ratio of red to blue light sources ranges from 1:6 to 1:8 units in phytomatrices. Furthermore, the optimal range for photosynthetic photon flux density (light intensity) is between 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ and 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, which is the most effective.

hydroponic system, intermittent flooding, growing media, light intensity, productivity

Одержано (Received) 16.06.2026

Прорецензовано (Reviewed) 23.06.2026

Прийнято до друку (Approved) 26.06.2026

УДК 631.362.36

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2026.56.60-69>

М. В. Кришко

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: misha.kryshko@gmail.com*

Експериментальні дослідження роботи струнного решета

Робота присвячена експериментальному визначенню раціональної робочої довжини струнного решета зерноочисної машини. Струнне решета є перспективними сепарувальними робочими органами завдяки самоочищенню робочої поверхні, низькій металомісткості та зниженій схильності до забивання порівняно з пробивними решетами, проте їхні раціональні розміри суттєво залежать від умов роботи.

Метою дослідження було встановлення впливу подачі зернового матеріалу, кута нахилу решета та вологості зерна на робочу довжину струнного решета, потрібну для завершення процесу сепарування. Дослідження виконано методом повного факторного експерименту типу ПФЕ 2³. Відтворюваність результатів підтверджено за критерієм Кохрена, статистичну значущість коефіцієнтів – за критерієм Стюдента, адекватність моделі – за критерієм Фішера.

Отримано адекватне рівняння регресії, яке описує залежність потрібної робочої довжини решета від змінних факторів. Установлено, що найбільший вплив має подача матеріалу, при цьому вологість зерна і кут нахилу решета є менш впливовими. Виявлено, що збільшення всіх факторів погіршує процес просіювання зерна, збільшуючи потрібну робочу довжину решета. Результати можуть бути використані для обґрунтування конструктивних параметрів струнних решіт зерноочисних машин.

струнне решето, робоча довжина, сепарування зерна, вологість зерна, повний факторний експеримент, рівняння регресії, поверхня відгуку