

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2

Вібрації в техніці та технологіях



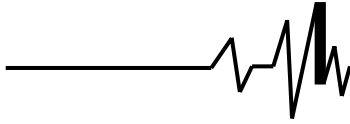
Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 2 (109)

Вінниця 2023

**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального
спрямування Видавець: Вінницький національний
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2023. – 2 (109) – 121 с.

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 2 від 25.08.2023 р.)

Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 р. № 886)

Головний редактор

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

Заступник головного редактора

Адамчук В.В. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
НААН України

Відповідальний секретар

Солона О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Деревенько І. А. – к.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська
політехніка»

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матєєв В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матвійчук В.А. – д.т.н. професор,
Вінницький національний аграрний
університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н. доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Яропуд В.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

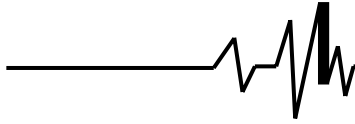
Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН**

<i>Цуркан О.В., Спірін А.В., Твердохліб І.В., Дідик А.М.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....	5
<i>Kupchuk I., Kravets R., Burlaka S., Dubrovina O.</i> THEORETICAL RESEARCH OF PROCESS REGULARITIES OF GRINDING STRUCTURAL- HETEROGENEOUS ORGANIC MATERIALS.....	12
<i>Алієв Е.Б., Дудін В.Ю., Лінко М.О.</i> РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЕКСПАНДАТІВ.....	20
<i>Алієв Е.Б., Павленко С.І.</i> СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ БУРТА І ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ КОМПОСТНОЇ СУМІШІ ОДНОБАРАБАННИМ АЕРАТОРОМ.....	30

2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА

<i>Veselovska N.</i> INNOVATIVE METHODS OF MONITORING THE MECHANICAL PROCESSING PROCESS.....	40
<i>Матвійчук В.А., Савків В.В.</i> ОБҐРУНТУВАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ ПРИ ВІДБОРТУВАННІ ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ.....	45
<i>Возняк О.М., Солоня О.В., Замрій М.А., Тихонова С.В.</i> ШІМ-КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ У МЕХАТРОНИХ МОДУЛЯХ ЗА ПРИНЦИПОМ ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ.....	53
<i>Веселовська Н.Р., Луц П.М.</i> ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОПОННИХ УСТАНОВОК ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ З АВТОМАТИЗОВАНИМ ПРОЦЕСОМ ВИРОЩУВАННЯ.....	62
<i>Паладійчук Ю.Б., Телятник І.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОГОГО ЦИКЛУ НА ПОВЕРХНІ ЗАГОТОВКИ ВНАСЛІДОК ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ.....	72
<i>Sereda L., Trukhanska O., Shvets L., Dyachenko A.</i> PERSPECTIVES AND FEATURES OF BRANCH UTILIZATION TECHNOLOGIES IN INTENSIVE GARDENS AND PARKS.....	85
<i>Колісник М.А., Штуць А.А.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З РІЗНИМИ ТИПАМИ ЗБУДЖЕННЯ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН.....	93
<i>Чмих К.В., Волковський І.В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПІД ЧАС ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ DEFORM.....	104
<i>Шаргородський С.А., Замрій М.А., Кондратюк Д.А.</i> РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НАСОСА ДОЗАТОРА ГІДРОСТАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ САМОХІДНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	111

**Веселовська Н. Р.**

д.т.н., професор

Луц П. М.

к.т.н., ст. викладач

**Вінницький національний
аграрний університет****Veselovska N.**Doctor of Technical Sciences,
Professor**Luts P.**Ph.D. of Engineering, Senior
Lecturer**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.589****DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-8****ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ
ГІДРОПОННИХ УСТАНОВОК
ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ З
АВТОМАТИЗОВАНИМ
ПРОЦЕСОМ ВИРОЩУВАННЯ**

У статті підіймається питання використання гідропоніки для вирощування сільськогосподарських культур в умовах сучасності – це зростання рослин при умові обмеження площі та освітлення приміщень для вирощування. Такий підхід робить можливим впровадження гідропонних систем промислових масштабів в умовах зростання населення міст і урбанізації. Вирішення питання спрощує ланцюг "сільськогосподарське підприємство – споживач" та надає можливість знизити собівартість кінцевої продукції.

Проаналізовано основні сучасні способи та схеми вирощування, виявлені недоліки таких систем та запропоновано спосіб вирішення, який призведе до мінімізації витрат. Це дозволить зберегти всі переваги вирощування рослин у безгрунтовому середовищі з використанням поживних розчинів.

З великого переліку варіантів гідропонних установок та різних способів розташування рослин та їх кореневих систем у процесі вирощування за показниками використання площі та витрат енергетичних ресурсів переважає саме пропонуване до застосування устаткування за технікою використання живильного шару, що перетікає у середині установки з циліндричним розташуванням рослин у комплексі. Процес вирощування при використанні такого устаткування за положенням рослин по периферії ефективно сполучає у собі майже всі переваги технології.

Пропонувана до застосування циліндрична роторна гідропонна система дає можливість на меншій площі покриття отримати більшу кількість посадкових місць для вирощування, ніж при вертикальному методі вирощування з застосуванням багатоярусного способу. При цьому зменшуються енергетичні витрати на застосування освітлення та досвічування.

За рахунок автоматизації процесу вирощування у гідропонних системах зменшується необхідна кількість використання людської праці. Застосування сучасної комплексної системи мікроконтролерного керування, що складається з програмованих модулів керуючих окремими системами, дозволяє майже повністю автоматизувати процес вирощування і повністю виключити вплив на перебіг подій людського фактору.

Отже, автоматизація в гідропонних системах є важливим кроком у напрямку підвищення ефективності та стійкості вирощування рослин у сучасному сільському господарстві.

Ключові слова: інтенсифікація вирощування, гідропоніка, енергозбереження, циліндрична форма, автоматизація, промислова установка, гроубокс, теплиця.



Вступ. Збільшення чисельності населення та зростання кількості людей, що проживають у містах, а також зростання самих міст веде до збільшення споживання сільськогосподарської продукції, ускладнення її розподілу та збільшення відстані між виробником та споживачем. Також існує проблема чистої, придатної для пиття та зрошення рослин води. Для сільськогосподарської галузі – це збільшення потреби у виробництві рослинної продукції.

Всі ці передумови ставлять питання про максимально можливу економію площі при вирощуванні культур, раціональне використання водних, мінеральних, органічних та теплових ресурсів, та отримання при цьому максимально можливої кількості сільськогосподарської продукції. При цьому не повинна страждати якість продукції, що дуже досягти за великої відстані між виробником і споживачем. Доставка сільськогосподарської продукції до споживача в сучасних умовах займає дуже велику частку загальної вартості.

Так, якщо розглядати в якості продукції для вирощування та реалізації зелень салатних культур можливо зазначити, що товарний вигляд її має дуже важливе значення. Його втрата призводить до повного знецінення продукції, а транспортування невеликої маси великого об'єму є достатньо витратним, до того ж таку продукцію легко пошкодити.

В сучасних умовах для вирощування тепличні господарства все частіше використовують гідропонний метод, який є більш контрольованим й в меншій мірі потребує витрат людської праці та у більш повному обсязі підлягає автоматизації процесів вирощування. Вирощування рослин на основі поживних розчинів розчинених солей – не новий метод. Не зважаючи на великий перелік переваг, все ж має свої недоліки: потрібні великі площі закритого ґрунту та суттєва витрата енергії на освітлення. Одним із напрямків для вирішення даної проблеми є пошук нових методів та удосконалення обладнання для вирощування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Враховуючи давню історію використання гідропонного способу вирощування культур можливо підсумувати основні напрямки, що потребують вивчення. В останні роки велика увага приділялася розробці гідропонних систем, які були б менш енерговитратними і дружніми до навколишнього середовища. Постійно йде пошук способів оптимізації використання енергії та води [1]. Застосування сучасних технологій для автоматизації та моніторингу гідропонних систем є наступним за популярним напрямком

досліджень. Використання систем керування та моніторингу на зараз включає в себе використання датчиків, програмованих систем та впровадження систем штучного інтелекту та інтернет речей.

Не менш уваги приділяється росту та здоров'ю рослин, дослідження спрямовані на поліпшення умов для росту рослин в гідропонних установках, включаючи дослідження впливу світла, температури, харчування та інших факторів на здоров'я та врожайність [1, 2].

Останнім часом відмічається зростання інтересу до використання гідропоніки для вирощування продуктів харчування в міських умовах. Це дозволяє містянам вирощувати свіжу овочеву продукцію безпосередньо в своїх будинках чи в службових приміщеннях, що раніше не були застосовані для вирощування. Це відкриває та розширює можливості сучасного напряму гідропоніки з повною автоматизацією процесу вирощування включаючи створення та підтримання необхідних параметрів мікроклімату, використання штучного освітлення та взагалі комплексного підходу до вирішення питання з обов'язковими прорахунками економічної складової [3, 4].

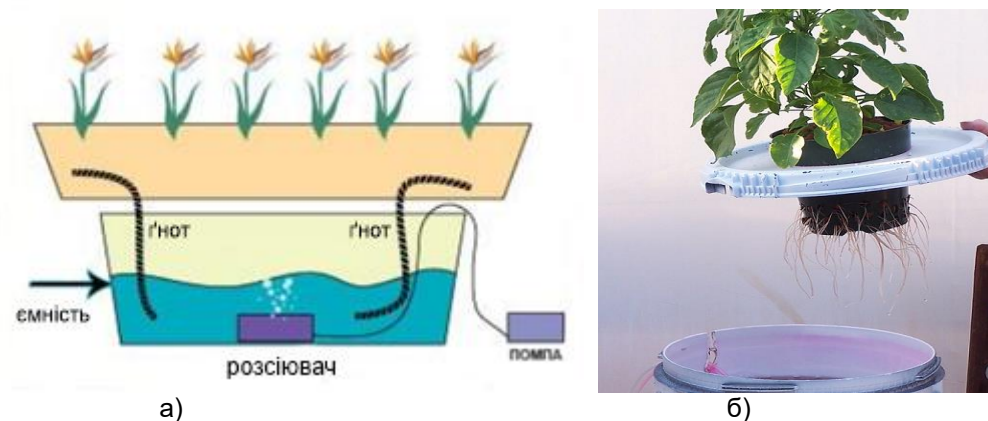
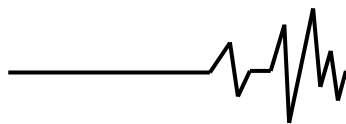
Мета та завдання дослідження.

Мета полягає у виконанні аналізу та визначенні основних характеристик обладнання безґрунтового вирощування в теплицях та гроубоксах. Удосконалення схеми гідропонної установки для ефективного вирощування овочевих рослин роду салат.

Викладення основного матеріалу.

Вирощування сільськогосподарських культур без застосування ґрунтового складу з використанням живильних розчинів, що містять перелік необхідних компонентів для зростання і розвитку рослин називається гідропонікою. Для її здійснення виникає необхідність в використанні спеціального обладнання, конструкції великих і малих розмірів – в залежності від того де саме і для якої кількості культур вони використовуються. Гідропоніка спрямована на прискорення зростання і підвищення якості одержуваних культур.

Найчастіше обладнання для гідропоніки являє собою ємність з живильним розчином, яка накрита сіткою або пінопластом з дірочками під розсаду. На решітку насипається субстрат по типу кокосового волокна, торфу, моху, керамзиту або ін. В цей субстрат і закладають насіння рослин. Для того, щоб культура почала проростати, решітки і сам субстрат змочується приготовленим живильним розчином з ємності [5]. Це ґнотовий спосіб вирощування – простий і поширений спосіб вирощування (рис. 1).



а)

б)

а – схема; б – приклад застосування;

Рис. 1. Схема та приклад застосування г'нотового способу вирощування Wick system

Працює використовуючи капілярні сили і не має потреби у додаткових механічних засобах.

Другим способом вирощування є коли рослина знаходиться на поверхні води (Water Culture). Найбільш розповсюджена система гідропоніки. Платформу для підтримання рослин

в більшості виготовляють з пінопласту і вона постійно знаходиться на поверхні поживного розчину. (рис. 2). Повітряний насос виконуючи аерацією насичує киснем розчин, який рослина поглинає за допомогою коренів в необхідній кількості [6].



а)

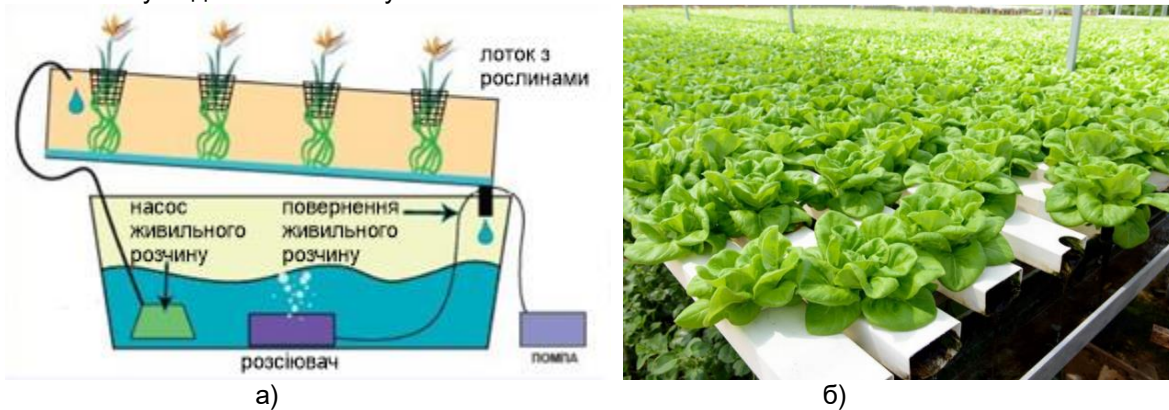
б)

а – схема; б – приклад застосування обладнання;

Рис. 2. Схема та приклад застосування гідропонної установки Water Culture

Технологія з використанням живильного шару (N.F.T.), котрий прокачується живильногопо встановленому під невеликим кумом каналом.

Коренева система рослини при цьому частково занурюється у розчин (рис. 3).



а)

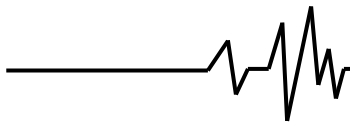
б)

а – схема; б – приклад застосування обладнання;

Рис. 3. Схема та приклад застосування гідропонної установки з використанням живильного шару (N.F.T.)

Система періодичного затоплення (Ebb and Flow) працює таким чином, що при

увімкненому гідравлічному насосі виконується тимчасова подача поживного розчину. Після



вимкнення поживний розчин повертається в початковий резервуар [7, 10]. Метод також називають «Методом припливу і відтоку». Багато

системи, наявні в продажі, мають саме такий принцип роботи (рис. 4).



Рис. 4. Схема та приклад застосування гідропонної установки за системою Ebb and Flow

Гідропонна система з використанням крапельного зрошення (Drip System) дуже поширено використовується для вирощування

овочевих культур і має необхідність у застосуванні субстрату (рис. 5).

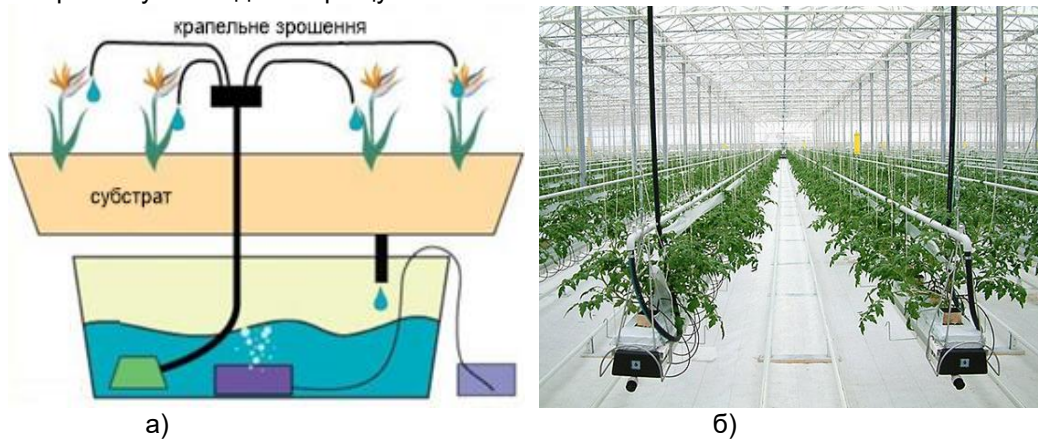


Рис. 5. Схема та приклад застосування крапельного зрошення Drip System

По мірі росту культури вона пускає своє коріння в насичений субстрат і таким чином отримує всі поживні елементи.

продукції гідропонні системи можна поділити на промислові та локальні для домашнього застосування. Деякі види гідропонних систем для домашнього використання [8, 9].

Сучасними організаціями випускається велика кількість обладнання для вирощування гідропонним методом. За об'ємом вирощуваної

Гідропонна установка "Home miniBoss 1.0" (рис. 6).



Рис. 6. Гідропонна установка "Home miniBoss 1.0"



Призначена для вирощування мікрозелені та салатних культур. За типом: періодичного затоплення. Виробник – Україна [14].

Гідропонна установка AeroFlo 14 (рис. 7).



Рис. 7. Гідропонна установка "AeroFlo 14"

Призначена для вирощування овочевих та салатних культур. За типом технології з використанням живильного шару. Має 14 горщиків для посадки рослин в одношаровому виконанні [14, 15].

Система гідропоніки NFT 36 (рис. 8).

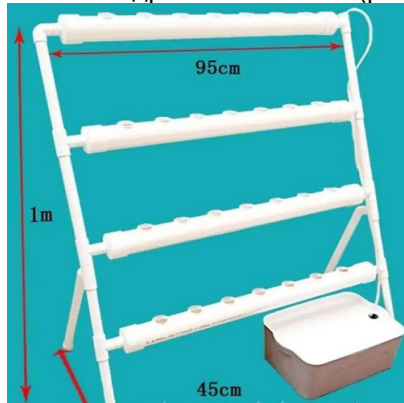


Рис. 8. Система гідропоніки "NFT 36"

Система гідропоніки NFT за технологією також з прокачуванням шару живильного розчину. Розрахована на 36 місць для посадки розташованих у 4 шари. Дозволяє збільшити коефіцієнт використання об'єму приміщення [12].

Якщо розглянути промислове вирощування за допомогою гідропонних систем можливо виділити низку переваг [11, 13]:

- Ефективність, оскільки рослини можуть отримувати необхідні речовини без необхідності використовувати землю, що дозволяє збільшити кількість вирощуваних рослин на одиницю площі;

- Ресурсозбереження. Гідропонні системи використовують до 90% менше води, ніж традиційні методи вирощування;

- Контроль якості через якість розчину. Гідропонні системи дозволяють уникнути використання пестицидів та гербіцидів, що поліпшує якість продукту та забезпечує безпеку

для споживача;

- Гнучкість розташування гідропонної системи.

Для вирощування якісної продукції в теплицях гідропонним способом фермер повинен мати знання про склад та фізико-хімічні властивості різних поживних розчинів, які використовуються для гідропонного вирощування рослин. Є потреба у постійному контролі та впливу при необхідності на рівень рН та електропровідність розчину [16].

Промислове устаткування відрізняється переважно збільшенням кількості посадкових місць через збільшення ярусів для вирощування та зміною розташування сільськогосподарських культур у приміщенні (рис. 9).

Принцип роботи будь-якої установки для гідропоніки зберігається один – наситити коріння рослини необхідними мікроелементами і речовинами для його швидкого зростання, максимального і безпечного для людини та розвитку самої культури. Для збільшення продуктивності вирощування на одиницю площі, полегшення та забезпечення можливості доступу для обслуговування обладнання облаштовують засобами механізації (переміщення, повороту чи обертання) лотків з рослинами.



Рис. 9. Промислові гідропонні системи з розміщенням рослинами у декілька ярусів



Так компанія Yibiyuan Water-Saving Irrigation Technology Co., Ltd., що заснована в Китаї виробляє комплексне професійне рішення, це вертикальна вежа для гідропоніки (рис. 10). Пропоновано для вирощування сільськогосподарських тепличних овочів, трав та полуниці.



Рис. 10. Вертикальна вежа для гідропоніки

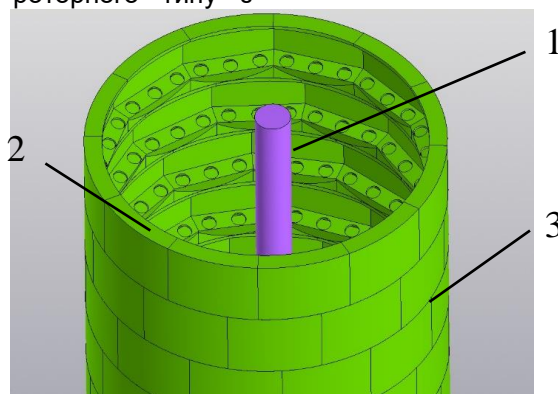
Для того, щоб максимально повно використовувати температуру, світло, теплові



Рис. 11. Горизонтальні роторні гідропонні установки

У зв'язку з великою кількістю недоліків, як спосіб вирішення запропоновано застосування гідропонної системи удосконаленої конструкції роторного типу з

вертикальним розташуванням та периферійним розташуванням горщиків з вирощуваною культурою у середину ротора (рис. 12).



1 – лампа освітлення; 2 – трубчастий канал для живильного розчину;
3 – набorna секція конструкції

Рис. 12. Схема вертикальної гідропонної установки циліндричної форми



Циліндрична форма дає можливість на меншій площі покриття отримати більшу площу посадки та місць для посадки, ніж при ярусному вертикальному методі вирощування. За рахунок автоматизації вирощування рослин та застосування програмно-апаратних контролерних модулів зменшується об'єм людської праці необхідної для обслуговування.

Принцип дії запропонованої конструкції гідропонної установки ґрунтується у способі розташування рослин навколо джерела світла. При цьому поживний розчин рослини отримують з живильного шару, який перекачується насосом. Розчин стікає по периферії циліндру у резервуар, який знаходиться в нижній частині установки. Застосування технології з запропонованою циліндричною гідропонною установкою дає можливість отримати значну економію посадкових місць, та збільшити продуктивність.

Вертикальна циліндрична гідропонна система в приміщенні займає площу, що дорівнює площі циліндра установки. Площа, яку займають рослини цієї установки при розгортці їх на плоску поверхню залежить від висоти

установки і розраховується за формулою:

$$S = 2 \pi r b \quad (1)$$

де r – радіус циліндричної гідропонної установки;

b – висота циліндра гідропонної установки.

Так, при використанні площі в 1 м у діаметрі, площа посадки збільшується на значення π , що дає роторній установці приблизно в 3,14 рази більшу площу на однаковій площі закритого ґрунту.

Споживання енергії на освітлення рослин знижується за рахунок вирівнювання відстані від джерела світла до посадкової площі всіх рослин і зменшення розсіювання світла за площею, де воно не несе впливу на культури, оскільки корисна площа вирощування знаходиться на 360° навколо джерела світла (рис.13).

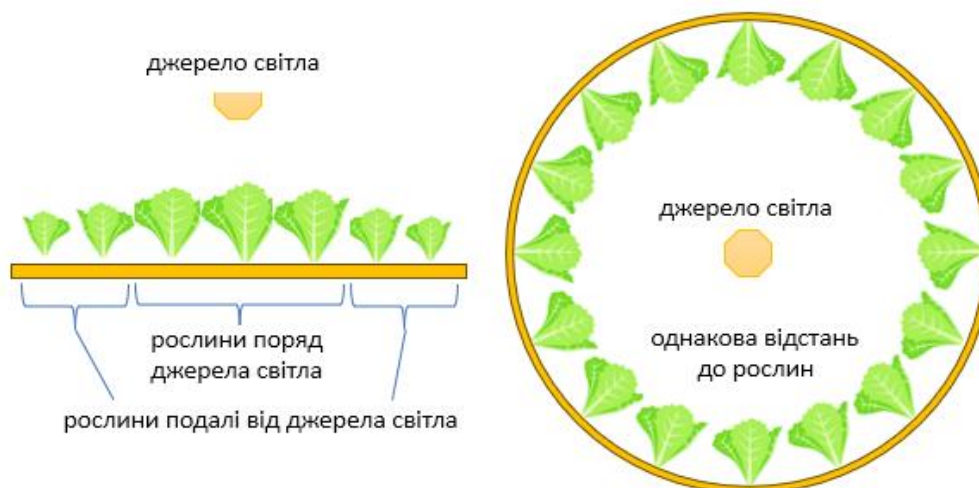


Рис. 13. Графічне порівняння дії освітлення плоскої (а) та вертикальної циліндричної (б) гідропонних систем.

Мінімальний діаметр кола по якому мають розташовуватися горщики для вирощування рослин обирається виходячи з рекомендованої номінальної відстані приладів освітлення для вирощуваної культури.

Для освітлення фахівці пропонують використовувати фітолампи відомого виробника Phillips, які за рекомендаціями повинні знаходитись на відстані від 30 до 60 см від листової поверхні рослин [16].

З цього розраховується мінімальний можливий діаметр циліндра установки:

$$D_{\min} = 2 \cdot (r_{\text{lamp}} + f) \quad (2)$$

де r_{lamp} – радіус приладу освітлення гідропонної установки;

f – відстань від поверхні освітлювального приладу до посадкової поверхні, м.

Рекомендовано освітлення вмикати на час до 18 годин на добу, при довшому освітленні результат не надто відрізняється [17].

Крім освітлення необхідно враховувати вплив інших характеристик мікроклімату: концентрації CO_2 , склад живильного розчину та субстрату. Комбінація всіх цих факторів повинна бути максимально ефективною і постійно контролюватися [16]. Перевагою використання циліндричної форми з внутрішнім розташуванням



рослин є запобігання розсіюванню тепла по приміщенню і його локалізація у середині циліндра. Це дозволяє такій конструкції використовувати перевагу вирощування зелені та мікрозелені у гроубоксах., так як споживання електроенергії лягає на собівартість продукції.

У якості автоматизації процесу вирощування рослин пропонувано

використовувати систему автоматизації на основі мікроконтролерного програмованого керування з підтриманням основних параметрів.

Для свого розвитку рослина потребує макро-, мікроелементів, освітлення, дотримання певної температури, вологості та складу навколишнього повітря. Постійне спостереження та підтримка їх людиною потребує великих витрат людського ресурсу (рис. 14).

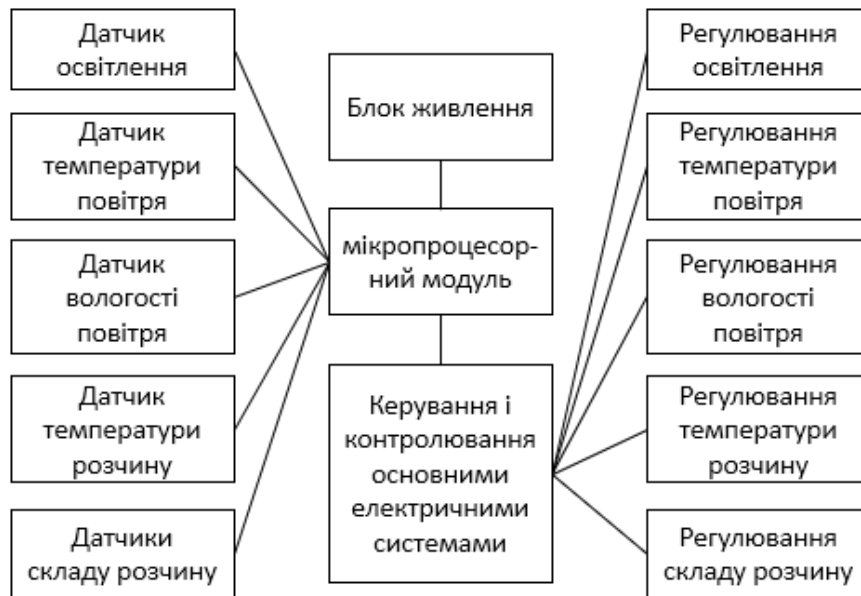


Рис. 14. Принципова схема системи автоматизації гідропонної установки

Для автоматизації розвитку рослин розглядається застосування програмно мікропроцесорних модулів з використанням плат типу ARDUINO. Дані з датчиків потрапляють в мікропроцесорний модуль, де зчитуються і за заданим програмним кодом забезпечується виконання відповідних дій, що забезпечує регулювання та керування відповідними параметрами і відповідно процесами.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Використання систем гідропоніки в сучасних умовах зменшить необхідні площі, необхідні для вирощування при високій урбанізації і може стати альтернативним способом отримання зеленої маси салатних культур займаючи невелику площу та ефективно витрачаючи енергію. Автоматизація процесу зростання рослин зменшить витрати праці та вплив людського фактору на процес вирощування.

Список використаних джерел

1. Гіль Л. С., Пашковський А. І., Суліма Л. Т. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту : навч. посібник. Вінниця : Нова Книга, 2008. 368 с. ISBN 978-966-382-203-7
2. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування : навч.

посібник. / Барало О. В., Самоїленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. Київ : Аграрна освіта, 2010. 557 с.

3. Севостьянов І. В., Мельник О. С. Удосконалення роботи гідропонних установок. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. № 4 (115). С. 119–127.

4. Барабаш О. Ю. Овочівництво : підручник. Київ : Вища школа, 1994. 374 с. ISBN 5-11-003617-9

5. Water Culture System Home Hydroponic Systems : веб-сайт. URL: http://www.homehydrosystems.com/hydroponic-systems/water-culture_systems.html (дата звернення: 08.06.2023).

6. Білик Ю. М., Мартинюк А. В. Гідропоніка – минуле, сучасність і майбутнє... *Галузеве машинобудування (Агрпереробка та інжиніринг)* : веб-сайт. URL: <https://gma.khmn.edu.ua/hidroponika/> (дата звернення: 10.06.2023).

7. Що таке гідропоніка та в чому її особливості. *Vbud Блог про сучасне будівництво та ремонт*: веб-сайт. URL: <https://vbud.in.ua/shho->



take-gidroponika-ta-v-chomu-yiyi-osoblivosti/ (дата звернення: 10.06.2023).

8. Гідропоніка: сільське господарство без ґрунту. "Агрономія сьогодні" - агрономічний довідник для фермерів та агрономів : веб-сайт. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/1581-hidroponika-silске-hospodarstvo-bez-gruntu.html> (дата звернення: 12.06.2023).

9. Гідропоніка – технологія сьогоdnішнього. Hydroponics : веб-сайт. URL: <https://hydroponics.in.ua/ua/art-что-takoe-gidroponika> (дата звернення: 12.06.2023).

10. Гідропоніка в домашніх умовах квіти. Публікації Фахівця : веб-сайт. URL: <https://evercar.pp.ua/gidroponika-v-domashnih-umovah-kviti/> (дата звернення: 12.06.2023).

11. Що таке гідропонне вирощування. Теплиці, системи зрошення, освітлення та опалення від Еко Теклиця : веб-сайт. URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a427663-что-takoe-gidroponnoe.html> (дата звернення: 14.06.2023).

12. William Texier Hydroponics for Everybody. All about Home Horticulture : Paris : HydroScope, 2013. 296 p. e-ISBN 978-2-84594-267-7.

13. Гідропоніка. Flora Growing – Усе для вирощування рослин : веб-сайт. URL: <https://floragrowing.com/uk/encyclopedia/gydroponyka> (дата звернення: 14.06.2023).

14. Гідропонні установки і гроубокси. Зелений шеф : веб-сайт. URL: <https://green-chief.com.ua/ustanovki-i-grouboksy/> (дата звернення: 14.06.2023).

15. Вертикальна Вежа Для Гідропоніки. Juancheng County Yibiyuan Water-Saving Equipment Tchnology Co., Ltd. : веб-сайт. URL: <https://ua.yby-irrigation.com/hydroponic-system/rotary-hydroponic-planter-tower.html> (дата звернення: 14.06.2023).

16. Вплив температури при вирощуванні базилика на гідропоніці. Гідропоніка для всіх. : веб-сайт. URL: <https://hydroponics.net.ua/uk/novyny/> (дата звернення: 14.06.2023).

17. Зелень на гідропоніці під LED-лампами. Промисловий портал : веб-сайт. URL: <https://uprom.info/news/agro/v-seli-solonka-viroshhuyut-zelen-na-gidroponitsi-pid-led-lampami/> (дата звернення: 14.06.2023).

References

1. Hil L. S., Pashkovskiy A. I., Sulima L. T. (2008). Suchasni tekhnologii ovochivnytstva zakrytoho i vidkrytoho ґрунту : navch. posibnyk. Vinnytsia : Nova

Knyha, 368 p. ISBN 978–966–382–203–7 [in Ukrainian].

2. Baralo O. V., Samoilenko P. H., Hranat S. Ye., Kovalov V. O (2010). Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv i systemy avtomatychnoho keruvannya : navch. posibnyk. Kyiv : Ahrarna osvita, 557 p. [in Ukrainian].

3. Sevostyanov I. V., Melnyk O. S. (2021). Udoskonalennya roboty hidroponnykh ustanovok. Tekhnika, energetyka, transport APK. № 4 (115). P. 119–127 [in Ukrainian].

4. Barabash O. Yu. (1994) Ovochivnytstvo : pidruchnyk. Kyiv: Vyshcha shkola, 374 p. ISBN 5-11-003617-9 [in Ukrainian].

5. Water Culture System Home Hydroponic Systems : veb-sait. URL: <http://www.homehydrosystems.com/hydroponic-systems/water-culture-systems.html> (data zvernennya: 08.06.2023).

6. Bilyk Yu. M., Martyniuk A. V. Hidroponika – mynule, suchasnist i maibutne... Haluzeve mashynobuduvannya (Ahropererobka ta inzhynirynh) : veb-sait. URL: <https://gma.khmnu.edu.ua/hidroponika/> (data zvernennya: 10.06.2023).

7. Shcho take hidroponika ta v chomu yii osoblyvosti. Vbud Bloh pro suchasne budivnytstvo ta remont: veb-sait. URL: <https://vbud.in.ua/shho-take-gidroponika-ta-v-chomu-yiyi-osoblivosti/> (data zvernennya: 10.06.2023).

8. Hidroponika: silske hospodarstvo bez ґрунту. "Ahronomiia sohodni" - ahronomichniy dovidnyk dlia fermeriv ta ahronomiv : veb-sait. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/1581-hidroponika-silске-hospodarstvo-bez-gruntu.html> (data zvernennya: 12.06.2023).

9. Hidroponika – tekhnolohiia sohodnishnoho. Hydroponics : veb-sait. URL: <https://hydroponics.in.ua/ua/art-что-takoe-gidroponika> (data zvernennya: 12.06.2023).

10. Hidroponika v domashnikh umovakh kvity. Publikatsii Fakhivtsia : veb-sait. URL: <https://evercar.pp.ua/gidroponika-v-domashnih-umovah-kviti/> (data zvernennya: 12.06.2023).

11. Shcho take hidroponne vyroshchuvannya. Teplytsi, systemy zroshennia, osviltennia ta opalennia vid Eko Teklytsia : veb-sait. URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a427663-что-takoe-gidroponnoe.html> (data zvernennya: 14.06.2023).

12. William Texier (2013). Hydroponics for Everybody. All about Home Horticulture : Paris : HydroScope, 296 p. e-ISBN 978-2-84594-267-7.

13. Hidroponika. Flora Growing – Use dlia vyroshchuvannya roslin : veb-sait. URL:



<https://floragrowing.com/uk/encyclopedia/gydroponyka>
(data zvernennya: 14.06.2023).

14. Hidroponni ustanovky i hrouboksy. Zelenyi shef : veb-sait. URL: <https://green-chief.com.ua/ustanovki-i-grouboksy/> (data zvernennya: 14.06.2023).

15. Vertykalna Vezha Dlia Hidroponiky. Juancheng County Yibiyuan Water-Saving Equipment Tchnology Co., Ltd. : veb-sait. URL: <https://ua.yby-irrigation.com/hydroponic-system/rotary-hydroponic-planter-tower.html> (data zvernennya: 14.06.2023).

16. Vplyv temperatury pry vyroshchuvanni bazylika na hidroponitsi. Hidroponika dlia vsikh. : veb-sait. URL: <https://hydroponics.net.ua/uk/novyny/> (data zvernennya: 14.06.2023).

17. Zelen na hidroponitsi pid LED-lampamy. Promyslovyy portal : veb-sait. URL: <https://uprom.info/news/agro/v-seli-solonka-viroshhuyut-zelen-na-gidroponitsi-pid-led-lampami/> (data zvernennya: 14.06.2023).

ADVANTAGES OF USING HYDROPONIC PLANTS OF CYLINDRICAL FORM WITH AUTOMATED GROWING PROCESS

The article raises the question of the use of hydroponics for growing agricultural crops in modern conditions - this is the growth of plants under the condition of limiting the area and lighting of the premises for cultivation. This approach makes it possible to implement hydroponic systems on an industrial scale in conditions of urban population growth and urbanization. Solving the issue simplifies the chain "agricultural enterprise - consumer" and provides an opportunity to reduce the cost of final products.

The main modern cultivation methods and schemes were analyzed, the shortcomings of such systems were identified, and a solution was proposed that would lead to the minimization of costs. This will preserve all the advantages of growing plants in a soilless environment using nutrient solutions.

From a large list of options for hydroponic plants and different ways of arranging plants and their root systems in the growing process, the one proposed for use of the equipment based on the technique of using a nutrient layer flowing in the middle of the plant with a cylindrical arrangement of plants in the complex prevails in terms of the use of space and consumption of energy resources. The cultivation process when using such equipment by the position of the plants on the periphery effectively combines almost all the advantages of the technology.

The cylindrical rotary hydroponic system proposed for use makes it possible to obtain a larger number of planting places for cultivation on a smaller area of coverage than with the vertical method of cultivation using a multi-tiered method. At the same time, energy costs for the use of lighting and additional lighting are reduced.

Due to the automation of the growing process in hydroponic systems, the required amount of human labor is reduced. The use of a modern complex microcontroller control system, consisting of programmable modules controlling individual systems, allows almost complete automation of the growing process and completely excludes the influence of the human factor on the course of events.

Therefore, automation in hydroponic systems is an important step towards increasing the efficiency and sustainability of plant cultivation in modern agriculture.

Key words: *cultivation intensification, hydroponics, energy saving, cylindrical shape, automation, industrial installation, growbox, greenhouse.*

Відомості про авторів

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Луц Павло Михайлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: luts@vsau.vin.ua).

Veselovska Nataliia – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Machines and Equipment of Agricultural Production of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Luts Pavlo – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: luts@vsau.vin.ua).