

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2024

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2024, Issue 1, Volume 331

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання категорії «Б»,
РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019 та №409 від 17.03.2020

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 202□, № 2, Том 1 (33□)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Горяченко С. Л. , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї
Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., **Бойко Ю.М.**, д.т.н., **Говоруценко Т.О.**, д.т.н., **Гордєєв А.І.**, д.т.н., **Горяченко С. Л.**, к.т.н., **Грабок В.В.**, д.т.н., **Диха О.В.**, д.т.н., **Защепкіна Н.М.**, д.т.н., **Рубаненко О. О.**, д.с.н., **Захаркевич О.В.**, д.т.н., **Злотенко Б.М.**, д.т.н., **Зубков А.М.**, д.т.н., **Каплун П.В.**, д.т.н., **Карташов В.М.**, д.т.н., **Кичак В.М.**, д.т.н., **Любош Хес**, д.т.н., (Чехія), **Мазур М.П.**, д.т.н., **Мандзюк І.А.**, д.т.н., **Мартинюк В.В.**, д.т.н., **Мельничук П.П.**, д.т.н., **Місяць В.П.**, д.т.н., **Мясіщев О.А.**, д.т.н., **Нелін Є.А.**, д.т.н., **Павлов С.В.**, д.т.н., **Параска О.А.**, д.т.н., **Рогатинський Р.М.**, д.т.н., **Горошко А.В.**, д.т.н., **Сарібекова Ю.Г.**, д.т.н., **Семенко А.І.**, д.т.н., **Славінська А.Л.**, д.т.н., **Харжевський В.О.**, д.т.н., **Шинкарук О.М.**, д.т.н., **Шклярський В.І.**, д.т.н., **Щербань Ю.Ю.**, д.т.н., **Бубуліс Альгімантас**, доктор наук (Литва), **Елсаєд Ахмед Ельнашар**, доктор наук (Єгипет), **Кальчиньскі Томаш**, доктор наук (Польща), **Лунтовський Андрій**, д.т.н. (Німеччина), **Матушевський Мацей**, доктор наук (Польща), **Мушлевський Лукаш**, доктор наук (Польща), **Мушял Януш**, доктор наук (Польща), **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, д.т.н., (Грузія), **Попов Валентин**, доктор природничих наук (Німеччина)

<i>Технічний редактор</i>	Горяченко С. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 6 від 25.10.2023 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

☎	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm
	visnyk.khnu@gmail.com		

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

- © Хмельницький національний університет, 2023
- © Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2023

- **ФОТОННА ІНТЕГРАЛЬНА СХЕМА ТА ЇЇ КАЛІБРУВАННЯ**

ПРИНА АВДЄЙОНОК, ВОЛОДИМИР БОРОВИЦЬКИЙ (Автор)

11-17

- [PDF \(Англійська\)](#)

- **МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ WORM-ВІРУСІВ ЗГІДНО БАГАТОКЛАСОВОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ**

БОГДАН САВЕНКО (Автор)

18-28

- [PDF](#)

- **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СХЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ**

МИКОЛА ДИВАК , ОЛЕКСАНДР КІНДЗЕРСЬКИЙ (Автор)

29-37

- [PDF](#)

- **КОНЦЕПЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОЛІМОРФНИХ ВІРУСІВ**

ПАВЛО РЕГІДА , ОЛЕКСАНДЕР БАРМАК, АНТОНІНА КАШТАЛЬЯН, ЕДУАРД МАНЗЮК (Автор)

38-43

- [PDF](#)

- **ШЛЯХИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ГАЗОТЕРМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ МАШИН АПК**

ВІКТОР АНІСІМОВ , ІРИНА ГУНЬКО , СЕРГІЙ БУРЛАКА (Автор)

44-47

- [PDF](#)

- **ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПАРОЛІВ У ВЕБ-СИСТЕМАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ВДОСКОНАЛЕНИХ СХЕМ ХЕШУВАННЯ**

РУСЛАН БАГРІЙ , ОЛЕКСАНДР БАРМАК, ЕДУАРД МАНЗЮК (Автор)

48-51

- [PDF](#)

- **СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

ІГОР БАБИН, ОЛЕНА ТРУХАНСЬКА, СЕРГІЙ БУРЛАКА (Автор)

52-56

- **ПЕРЕДУМОВИ СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА ОДЯГУ В УКРАЇНІ**

ЛЮДМИЛА БУХАНЦОВА, ОКСАНА ЗАХАРКЕВИЧ, ЛАРИСА КРАСНЮК,
ОЛЕНА ЛУЩЕВСЬКА (Автор)

57-60

- [PDF](#)

- **ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТІВ АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ**

АНАТОЛІЙ ВОЙЦИЦЬКИЙ, ІННА НЕЗДВЕЦЬКА (Автор)

61-64

- **ТЕХНОЛОГІЯ ПРОФІЛАКТИКИ ОНІХОМІКОЗІВ**

РОМАН КАЧАН (Автор)

65-68

- [PDF](#)

- **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ПІД ДІЄЮ ДЖЕРЕЛ ТЕРМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

ДМИТРО ЛЕВКІН (Автор)

69-72

- [PDF \(Англійська\)](#)

- **ВИЗНАЧЕННЯ ВАГИ ВИЧАВЛЕНОЇ ОЛІЇ ШНЕКОВИМ ПРЕСОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ДАТЧИКА, МОДУЛЯ HX711 ТА ARDUINO**

ВОЛОДИМИР ГАВРАН (Автор)

73-76

- [PDF](#)

- **ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДРОБОВОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА**

ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ ДВОШАРОВОЇ СТРУКТУРИ

ЛЮДМИЛА КРИЛИК (Автор)

77-82

- [PDF](#)
- **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ОПРОМІНЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ В ГІДРОПОННІЙ УСТАНОВЦІ**

ІГОР КУПЧУК , ОЛЕКСАНДР МЕЛЬНИК (Автор)

83-88

- [PDF](#)
- **ТЕХНІЧНА ПЕРЕВАГА БІСТРУМОВОЇ СИСТЕМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

ОЛЕГ КІМСТАЧ, МИКОЛА ЧУМАК (Автор)

89-96

- [PDF](#)
- **ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У ВІЙСЬКОВИХ ЦІЛЯХ**

ДМИТРО МИХАЛЕВСЬКИЙ, ТЕТЯНА ШАПОВАЛОВА, ВЛАДИСЛАВ СУХОТЕПЛИЙ, ОЛЕКСІЙ ЛУЦЕНКО (Автор)

97-100

- [PDF](#)
- **АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ АБ'ЮЗИВНОГО ВМІСТУ В УКРАЇНОМОВНОМУ АУДИОКОНТЕНТІ ДЛЯ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ В ОБ'ЄКТНО-ОРІЄТОВАНУ ІНФОРМАЦІЙНУ СИСТЕМУ**

МАРИНА МОЛЧАНОВА, ОЛЕКСАНДР МАЗУРЕЦЬ, ОЛЕНА СОБКО, РОМАН ВІТ, В'ЯЧЕСЛАВ НАЗАРОВ (Автор)

101-106

- [PDF](#)
- **НЕЧІТКЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГОЛОВНОГО ВОДОВІДЛИВНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШАХТИ**

ОЛЕКСІЙ МИХАЙЛЕНКО, ВЛАДИСЛАВ БАРАНОВСЬКИЙ, ВАДИМ ЩОКІН, ВЛАДИСЛАВ ФЕДОТОВ, ПЕТРО ПОЛІЩУК (Автор)

107-115

◦ [PDF](#)

- [**ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗБАГАЧЕНОГО БЕЗДРІЖДЖОВОГО ХЛІБА З РІЗНИХ ВИДІВ БОРОШНА**](#)

МАРІЯ РАЦУК, ТЕТЯНА ЮРОВА, ЮЛІЯ САРІБСКОВА, ОЛЬГА ЧИХУН
(Автор)

116-120

◦ [PDF](#)

- [**АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРИ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СТРУКТУРИ СИЛОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПРИЛАДІВ В УМОВАХ ЇХ РОБОТИ В КОМУТАЦІЙНИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ АПАРАТАХ**](#)

НАТАЛІЯ САБАЛАСВА, ВАЛЕРІЙ ІЛЛАРІОНОВ, СЕРГІЙ ІНОСОВ,
ВОЛОДИМИР ПАВЛЕНКО (Автор)

121-127

◦ [PDF](#)

- [**ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ В ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ ПРИ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**](#)

АНДРІЙ СОЛОВЕЙ (Автор)

128-133

◦ [PDF](#)

- [**КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕРНА В МЕТАЛЕВИХ СИЛОСАХ ПРИ ТРИВАЛОМУ ЗБЕРІГАННІ**](#)

ОЛЕНА СОКОЛОВСЬКА, ЛЮДМИЛА ВАЛЕВСЬКА (Автор)

134-139

◦ [PDF](#)

- [**РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ БОБОВИХ ТРАВ**](#)

ІГОР ТВЕРДОХЛІБ, ВІТАЛІЙ ЯРОПУД, ОЛЕНА СОЛОНА, ЮРІЙ ПОЛЄВОДА,
ІГОР БАБИН (Автор)

140-144

◦ [PDF](#)

- **КОМП'ЮТЕРНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОДАЧІ НИТОК З ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМУ РЕКУРСІЇ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

ВОЛОДИМИР ЩЕРБАНЬ, ОЛЕКСІЙ ВОЛЯНИК, ОКСАНА КОЛИСКО, ГЕННАДІЙ МЕЛЬНИК, ЮРІЙ ЩЕРБАНЬ (Автор)

145-148

◦ [PDF](#)

- **АРХІТЕКТУРА ОЗЕРА ДАНИХ, ДЛЯ ГАЛУЗІ ОСВІТИ**

АНДРІЙ ПРИШЛЯК (Автор)

149-157

◦ [PDF](#)

- **ПРИКЛАДНА ЛІНГВІСТИКА АБСТРАКЦІЇ У ВИКЛАДАННІ МЕХАНІКИ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБНИЦТВ**

ЕЛСАЇД А. ЕЛНАШАР, ВІКТОРІЯ БЛИК, СЕРГІЙ ГОРЯЩЕНКО, МАХМУД І. А. ТАХА, ЗЕЙНАБ Е. ЕЛНАШАР, ІБРАХЕМ МОХАМЕД (Автор)

158-172

◦ [PDF](#)

- **ПОБУДОВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ПРАВИЛ З ФУНКЦІЯМИ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОБЛЕМ БУРІННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН**

ВОЛОДИМИР ПРОЦЮК (Автор)

173-179

◦ [PDF](#)

- **МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСІВ У БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ**

МИКОЛА ДИВАК, ВАДИМ ЗАБЧУК (Автор)

180-190

◦ [PDF](#)

- **ДО ПИТАННЯ РОЗБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ АСПЕКТІ**

СЕРГІЙ БОЙКО, ОЛЕКСІЙ КОТОВ, ЮЛІЯ КРИВИХ, СВЯТОСЛАВ ВИШНЕВСЬКИЙ, СТАНІСЛАВ ГВОЗДІК (Автор)

191-195

○ [PDF](#)

- [**ВИКОРИСТАННЯ MATHCAD І LABVIEW ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ, ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У ВІДЕОПОТОКАХ**](#)

ВОЛОДИМИР КРАСИЛЕНКО, ВАСИЛЬ КИЧАК, ОЛЕКСАНДР НІКОЛЬСЬКИЙ,
ОЛЕКСАНДР ЛАЗАРЄВ, ДІАНА НІКІТОВИЧ (Автор)

196-204

○ [PDF](#)

- [**КРЕМНІЄВИЙ ФОТОДІОД ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ \(FSO\) З ПІДВИЩЕНОЮ ШВИДКОДІЄЮ ТА ЧУТЛИВІСТЮ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 980 нм**](#)

ЮРІЙ ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ, ВОЛОДИМИР ЛІПКА (Автор)

205-214

○ [PDF](#)

- [**ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ ДЛЯ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ**](#)

СЕРГІЙ БОЙКО, СВЯТОСЛАВ ВИШНЕВСЬКИЙ, ДМИТРО ШОКАРЬОВ,
ПЕТРО ПОЛІЩУК, СТАНІСЛАВ ГВОЗДІК (Автор)

215-221

○ [PDF](#)

- [**КІНЕМАТИЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЯК ЗАСІБ УТОЧНЕННЯ КООРДИНАТ ВОРОЖИХ БПЛА**](#)

ІВАН АФТАНАЗІВ, ЛІЛІЯ ШЕВЧУК, ЛЕСЯ СТРУТИНСЬКА, ОРИСЯ СТРОГАН
(Автор)

222-232

- [**ОСОБЛИВОСТІ АНІЗОТРОПНОГО БІПОЛЯРНОГО ТЕРМОЕЛЕМЕНТА**](#)

АНАТОЛІЙ АЩЕУЛОВ, МИКОЛА ДЕРЕВ'ЯНЧУК, МАРГАРИТА
РОЖДЕСТВЕНСЬКА (Автор)

233-238

○ [PDF](#)

- **[ДВОКАНАЛЬНИЙ БАЛІСТИЧНИЙ ТРАСФОРМАТОРНИЙ ГРАВИМЕТР](#)**

ОЛЕНА БЕЗВЕСІЛЬНА, СЕРГІЙ НЕЧАЙ, ТЕТЯНА ТОЛОЧКО, МАРІЯ ГРИНЕВИЧ (Автор)

239-243

- [PDF](#)

- **[АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ПРИВАТНИХ ДАНИХ](#)**

МИКОЛА ОНАЙ, АНДРІЙ СЕВЕРІН (Автор)

244-247

- **[ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ PNN ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ В УМОВАХ АНАЛІЗУ МАЛИХ ДАНИХ ВИСОКОЇ РОЗМІРНОСТІ](#)**

МИРОСЛАВ ГАВРИЛЮК, НАЗАРІЙ ГОВДИШ (Автор)

248-251

- **[ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМУВАННЯ АЛГОРИТМІВ І СТРУКТУР ДАНИХ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАФІКУ](#)**

ВАЛЕРІЙ ЛЬОВКІН (Автор)

252-258

- [PDF](#)

- **[МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ТЕКСТУ ЗА РАХУНОК ПОВТОРНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ЗГЕНЕРОВАНОГО ТЕКСТУ НА МОДЕЛЬ](#)**

ПЕТРО ЗДЕБСЬКИЙ, АНДРІЙ БЕРКО (Автор)

259-263

- [PDF](#)

- **[РОЗРОБЛЕННЯ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВНУТРІШНЬО-ГРУНТОВОГО ДИФЕРЕНЦІЙОВАНОГО МІНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕННЯ З ОДНОЧАСНОЮ СІВБОЮ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР](#)**

ВОЛОДИМИР РУТКЕВИЧ, ВАЛЕРІЙ ОСТАПЕНКО (Автор)

264-270

- [PDF](#)
- **ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**
ВОЛОДИМИР СТАЦЕНКО, ВЛАДИСЛАВ ПИЛИПЕНКО (Автор)
271-276
- [PDF](#)
- **ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ХІМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ РІДИННОГО ОЗДОБЛЕННЯ ШКІРИ**
АНТОНІНА ЗАЄЦЬ, ОЛЬГА АНДРЕЄВА (Автор)
277-280
- [PDF](#)
- **АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ І РОЗРАХУНКИ АЕРОДИНАМІЧНОГО ЗАХОВЛЮВАЧА ДЕТАЛЕЙ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ ЗІ СТОСУ МАНІПУЛЯТОРІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ ШВЕЙНИХ МАШИН**
МИХАЙЛО МІСЯЦЬ, БРОНІСЛАВ ОРЛОВСЬКИЙ (Автор)
281-290
- [PDF](#)
- **АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ**
ВОЛОДИМИР КОРЧИНСЬКИЙ, ІРИНА ТАРАСЕНКО, СЕРГІЙ РАЦИБОРИНСЬКИЙ (Автор); ОЛЕКСАНДР АКАЄВ (Перекладач); АРТЕМ ХАДЖИОГЛО (Автор)
291-296
- [PDF](#)
- **КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ ПОЛІГРАФІЧНІ СИСТЕМИ: АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**
МИКОЛА ЗЕНКІН, ВАСИЛЬ КОХАНОВСЬКИЙ, АНДРІЙ ІВАНКО (Автор)
297-304
- [PDF](#)
- **ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ГАРТУВАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ**
ОЛЬГА ДРОБОТ, АНАТОЛІЙ НЕСТЕР, СВІТЛАНА ПІДГАЙЧУК (Автор)
305-311

- [PDF](#)
- **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ БАЗ ДАНИХ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОЇ МОДИФІКАЦІЇ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ БЛОКЧЕЙН ТА АЛГОРИТМУ КОНСЕНСУСУ PROOF-OF-WORK**

ОЛЬГА САЛІЄВА, АНАТОЛІЙ ГРИЦАК, ВІТАЛІЙ БІЛОУС, ТАРАС ІВАНЮК (Автор)

312-318

- [PDF](#)
- **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЯМОКОПАЧА ДЛЯ САДІННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ ДЕРЕВ**

ВОЛОДИМИР РУТКЕВИЧ, СЕРГІЙ РІПА (Автор)

319-324

- [PDF](#)
- **АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІЖБЛОЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ**

ОЛЕГ БУКОВСЬКИЙ, СЕРГІЙ ВИСЛОУХ (Автор)

325-329

- [PDF \(Англійська\)](#)
- **СУЧАСНІ РІШЕННЯ ТА НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

ОЛЕКСАНДР ХОЛОДЮК, ВОЛОДИМИР ДИНЯ, ОЛЕКСАНДР БОНЯКЕВИЧ, ДМИТРО МОВЧАН (Автор)

330-338

- [PDF](#)
- **ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ РУКАВІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИЛОЧНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ У МОРСЬКИХ ПОРТАХ**

ВІКТОР СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ (Автор)

339-342

- [PDF](#)
- **ПРИДАТНІСТЬ СОЛОМИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НА ВОЛОКНО**

ОЛЕГ ФУРСА, АНАСТАСІЯ АРХИП, ВАЛЕНТИНА ЄВТУШЕНКО (Автор)

343-346

- [PDF](#)
- [**ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ ПРОСТОРОВИХ МЕХАНІЗМІВ ГАЛТУВАЛЬНИХ МАШИН**](#)

МАРК ЗАЛЮБОВСЬКИЙ, ОЛЕКСІЙ ЗАЇКА, ОЛЕКСАНДР КОШЕЛЬ, ГАННА КОШЕЛЬ (Автор)

347-355

- [PDF](#)
- [**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ҐРУНТІВ РЕКУЛЬТИВОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ПІСЛЯ ВИДОБУВАННЯ ІЛЬМЕНІТУ НА ЖИТОМИРСЬКОМУ ПОЛІССІ**](#)

ОЛЬГА ШОМКО, ІРИНА ДАВИДОВА (Автор)

356-363

- [PDF \(Англійська\)](#)
- [**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ НЕРЖАВЮЧОЇ СТАЛІ МЕТОДОМ ТАГУЧІ**](#)

ЮЛІЯ СОКОЛАН, НАЗАРІЙ КЛЯСНИЙ, КАТЕРИНА СОКОЛАН (Автор)

364-369

- [PDF](#)
- [**ОСОБЛИВОСТІ СТИСНЕННЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ВТРАТАМИ**](#)

МИХАЙЛО ЗРЯХОВ, СЕРГІЙ КРИВЕНКО, VLADIMIR LUKIN (Автор)

370-376

- [PDF \(Англійська\)](#)
- [**ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**](#)

ОЛЕГ НАХАЙЧУК, ЕЛІНА ЗАХАРОВА, ВАЛЕНТИНА ГОРОБЧИШИНА, ОКСАНА ХРИСТЮК (Автор)

377-380

- [PDF](#)
- [**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРООПАЛЕННЯ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ АУДИТОРІЙ УНІВЕРСИТЕТУ**](#)

АНДРІЙ ЯВОРСЬКИЙ, ЛЮБОМИР ЖОВТУЛЯ, ВІТАЛІЙ ЦИХ, ІГОР РИБИЦЬКИЙ, ЮЛІЯ ХУДИЦЬКА (Автор)

381-389

- [PDF](#)
- [**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ МЕХАНІКИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗГІНАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ШНЕКА**](#)

ПЕТРО ПУКАЧ, ВІКТОР ПАБИРІВСЬКИЙ, НЕЛЯ ПАБИРІВСЬКА (Автор)

390-394

- [PDF](#)
- [**ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ АЛЮМІНІЮ**](#)

САЇДА ТАГІЄВА (Автор)

395-399

- [PDF \(Англійська\)](#)
- [**ВИКОНАННЯ ГРАФІЧНИХ НАТЮРМОРТІВ ТУШШЮ ЯК ОСНОВА ОВОЛОДІННЯ МОВОЮ ГРАФІКИ**](#)

ВЛАДИСЛАВ ЛИТВИНЕНКО, ГАЛИНА ЛОБАНОВА, СВІТЛАНА ПЕТРАЩУК (Автор)

400-408

- [PDF](#)
- [**ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОЇ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ АЗОТУВАННЯМ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**](#)

НАТАЛІЯ МАШОВЕЦЬ, АНТОН КОРИННИЙ, ТАРАС БАНАШКО (Автор)

409-414

- [PDF](#)
- [**ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДВІЙНИХ ЗАМКНЕНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ 10 КВ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛІЮ**](#)

ОЛЕКСАНДР РУБАНЕНКО, ОЛЕНА РУБАНЕНКО, БОГДАН ПОГРАНИЧНИЙ (Автор)

415-419

- [PDF](#)

- **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСЕРТНИХ СТРАВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

ЛАРИСА БАЛЬ-ПРИЛИПКО, АРТЕМ АНТОНЕНКО, ГАЛИНА ТОЛОК, СЕМЕН ТОЛОК, АРТЕМ ГОРКУН (Автор)

420-425

- [PDF](#)

- **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ НАВЧАННЯ**

КАТЕРИНА ПОЛІБИНА (Автор)

426-432

- [PDF \(Англійська\)](#)

- **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ РОЗТАШУВАННЯ РАЙОНІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯЙЦЯМИ ГЯНДЖІНСЬКО-ДАШКАСАНСЬКОГО ТА КАЗАХСКО-ТОВУЗСЬКОГО ЕКОНОМІЧНИХ РАЙОНІВ**

МАТАНАТ ШАХІН САДИХОВА (Автор)

433-437

- [PDF \(Англійська\)](#)

- **ПРОГНОСТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВИРОБНИЦТВО СОНЯШНИКУ: АНАЛІЗ РЯДІВ ДИНАМІКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТРЕНДІВ**

МИХАЙЛО ГУЗЬ, АЛЛА ЧУХЛІБ, ОЛЕНА СИМОНЕНКО (Автор)

438-445

- [PDF](#)

- **КОНТАКТНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБМІННОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИМИ ТОПОЛОГІЧНИМИ РОЗРИВАМИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОСТОРУ В УМОВАХ МОДУЛЯЦІЇ ДОБРОТНОСТІ, ТУНЕЛЮВАННЯ ТА СИЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ: ХОЛОДНИЙ БАФТИНГ СУПРОТИ ТЕПЛОЇ ВІЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

ЮРІЙ ЗАСПА (Автор)

446-455

- [PDF](#)

КУПЧУК ІГОР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2973-6914>e-mail: kupchuk.igor@i.ua

МЕЛЬНИК ОЛЕКСАНДР

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-0293-0629>e-mail: millermanel@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ОПРОМІНЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ В ГІДРОПОННІЙ УСТАНОВЦІ

Актуальними проблемами сільського господарства не тільки України, а й інших держав є підвищення урожайності сільськогосподарських культур, збільшення харчової цінності, якості та зниження собівартості продукції, зменшення потрібних виробничих площ, витрат на сільськогосподарську техніку тощо. У зв'язку із цим, досить перспективними представляються гідропонні установки, які при мінімальних зайнятій площі, капітальних та експлуатаційних витратах, забезпечують цілодобове вирощування широкої номенклатури сільськогосподарських культур, зі скороченням вдвічі періодом одержання урожаю. Широке впровадження гідропонної техніки та технології в Україні дозволить максимально повно реалізувати концепцію малих підприємств, які в даному випадку можуть створюватись практично за відсутності стартового капіталу. Крім цього, використання гідропоніки дозволить одержувати додатковий прибуток або цінну рослинну сировину вже існуючим підприємствам самого різного профілю та невеликим фермерським господарствам.

Гідропоніка – перспективний напрямок розвитку сучасного сільського господарства, що забезпечує багаторічне вирощування основних видів овочів та зелених насаджень на невеликих площах з мінімальними витратами води та добрив. Ця технологія дозволяє отримати досить великий урожай свіжих овочів в межах великих міст, включаючи офісні та житлові приміщення. Основними тенденціями вдосконалення зазначеної технології є розширення номенклатури вирощуваних культур, їх урожайності, більш ефективного використання площ, ґрунту, поживних речовин, мінеральних речовин, води, енергії, зниження собівартості готової продукції.

Стаття присвячена розробці та дослідженню математичної моделі впливу опромінення на продуктивність та якість вирощеної продукції гідропонним методом. Зокрема були отримані залежності для визначення впливу параметрів опромінення на показники розвитку салату використання яких дозволяє прогнозувати розміри та масу рослини, формулюючи підґрунтя для оптимізації режимних параметрів гідропонної установки.

Ключові слова: штучне освітлення, фотосинтетична активна радіація, вегетація, фотосинтез, живлення.

KUPCHUK IHOR, MELNYK OLEXANDER

Vinnytsia National Agrarian University

MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFECT OF IRRADIATION ON THE PRODUCTIVITY OF THE PROCESS OF GROWING PLANT PRODUCTS IN A HYDROPONIC UNIT

The actual problems of agriculture not only in Ukraine but also in other countries are to increase crop yields, increase nutritional value, quality and reduce production costs, reduce the required production area, the cost of agricultural machinery, etc. In this regard, hydroponic plants look quite promising, as they provide round-the-clock cultivation of a wide range of crops with minimal space, capital and operating costs, and a halved harvest period. The widespread introduction of hydroponic equipment and technology in Ukraine will allow for the fullest realization of the concept of small enterprises, which in this case can be created with little or no start-up capital. In addition, the use of hydroponics will allow existing enterprises of various profiles and small farms to receive additional income or valuable plant material.

Hydroponics is a promising area of modern agriculture that ensures long-term cultivation of the main types of vegetables and greenery in small areas with minimal water and fertilizer consumption. This technology allows you to get a fairly large harvest of fresh vegetables within large cities, including office and residential premises. The main trends in improving this technology are expanding the range of crops grown, their yields, more efficient use of land, soil, nutrients, minerals, water, energy, and reducing the cost of finished products.

The article is devoted to the development and study of a mathematical model of the influence of irradiation on the productivity and quality of hydroponically grown products. In particular, dependencies were obtained to determine the influence of irradiation parameters on the development of lettuce, the use of which allows predicting the size and weight of the plant, forming the basis for optimizing the operating parameters of the hydroponic plant.

Keywords: artificial lighting, photosynthetic active radiation, vegetation, photosynthesis, nutrition.

Вступ

Можливості сучасного землеробства в плані забезпечення населення нашої планети продуктами харчування мають суттєві обмеження, які значною мірою залежить від родючості ґрунту. В цій ситуації зростає роль гідропонних методів вирощування рослин. Саме гідропонне землеробство дозволяє більш ефективно використовувати воду і добрива, збільшує продуктивність традиційних культур. Так, за даними індійських вчених [1] продуктивність овочів в 2,5-3 рази вище при вирощуванні на гідропонній основі, ніж на відкритому ґрунті. Ще однією перевагою гідропонних систем перед традиційним землеробством є їхня урбаністична привабливість. Гідропонні системи зменшують залежність від ґрунту тому що отримують живлення безпосередньо з гідропонного розчину, який складається з води та поживних речовин. Ще одна перевага гідропонних систем - значно краща пристосованість до урбанізованого середовища. Адже вони

займають набагато меншу площу ніж поля традиційного землеробства, та урожай визріває зовсім поруч зі споживачем. Гідропонні системи в силу своєї компактності мають більше можливостей для регулювання і контролю росту рослин шляхом ретельного управління цілим рядом факторів: складом поживних речовин, параметрами живильного розчину та освітлення. При гідропонному вирощуванні рослин необхідні поживні речовини та елементи розчиняють у відповідних концентраціях для нормального росту рослин [2]. Управління параметрами роботи гідропонної системи є визначальним фактором врожайності та якості культур, що вирощується. Для успішного управління процесами гідропонного вирощування необхідно знати залежності між вхідними та вихідними величинами того або іншого параметра, тобто створити математичну модель впливу цього параметра на розвиток рослин. Саме тому питання створення математичної моделі опромінення рослин при гідропонному процесі вирощування салата наразі є актуальним питанням.

Аналіз останніх публікацій

Аналіз останніх вітчизняних джерел з питань гідропонних систем показує, що недостатньо уваги приділяється саме питанням глибокого вивчення процесів, в тому числі їх математичному опису. В роботі [3] поданий опис основних елементів гідропонної системи, відмічається що важливий вплив на продуктивність та якість вирощеного урожаю відіграє склад субстрату, поданий рекомендований склад саме для даного виду продукції. Всі переваги і недоліки гідропонного способу вирощування овочів проаналізовано в [4] та відмічено, що переваг у гідропонного способу перед традиційним вирощуванням дещо більше ніж недоліків. В зв'язку з цим викликає деяке здивування недостатнім розвитком гідропонного способу в нашій країні. Дане питання потребує додаткового вивчення вченими економістами, агрономами, інженерами тощо.

Вплив складу і особливості вирощування салату Ромен гідропонним способом досліджувались в [5, 6]. Дані роботи ще раз підкреслюють той факт, що для кожного овоча потрібні свої рецепти субстрату, кожен з них має свої особливості та відмінності від інших. Очевидно, що низький рівень універсалізації технології є однією з причин, що стоїть на заваді широкому розповсюдженню гідропонної системи вирощування культур.

Значно більше уваги приділяється гідропонним системам закордонними вченими та спеціалістами. Так в [7] розглянуто моделювання процесу живлення рослин при вирощуванні гідропонним способом. На відміну від попередніх робіт тут розглядається більш докладно модель живлення, яка, зокрема, враховує і фактори опромінення рослин. У роботі [8] розглядається динаміка розвитку рослин на температуру кореневої зони, яка змінюється за рахунок величини опромінення та температури субстрату. Варто зауважити, що зміна температури кореневої зони за рахунок збільшення температури субстрату - не найкращий, з точки зору законів термодинаміки, спосіб. В цій роботі також стверджується, що раціональною температурою для найкращого розвитку кореневої системи рослин є 23-25 °С.

Навіть такий, далеко не повний огляд останніх джерел щодо розвитку гідропонних систем свідчить про те, що наразі не вироблена єдина стратегія розвитку галузі, дослідження особливо в нашій країні, носять на системний, однонаправлений характер. Все це потребує додаткових досліджень, в першу чергу теоретичних, щодо впливу різних факторів на розвиток гідропонних культур, виявлення закономірностей впливу цих факторів на розвиток рослин.

Проведений аналіз останніх досліджень і публікації свідчить про те, що питання, особливо теоретичні, розвитку рослин в гідропонній системі потребують подальшого розвитку. Особливо це стосується питання впливу опромінення на розвиток рослин. Тому дослідження, присвячені розв'язанню цієї проблеми є актуальними та матимуть практичну цінність.

Мета досліджень

Метою дослідження є збільшення ефективності функціонування гідропонних систем шляхом створення математичної моделі впливу опромінення на продуктивність та якість вирощеної продукції.

Результати досліджень

Перш за все, потрібно зробити зауваження, що всі теоретичні та експериментальні дослідження відповідають положенням закону Буцена-Роско [9] стосовно фотосинтезу. В загальних рисах для випадку гідропонних систем сутність закону полягає в тому, що реакція об'єкту (рослини) та випромінювання визначається добутком інтенсивності (яка додається випромінюванням E) На час дії T , тобто дозою $H = E \cdot T$. Іншими словами, величини інтенсивності та експозиції опромінення взаємозамінні, тобто зміна одного з них може бути компенсована відповідною зміною іншої компоненти в зворотню сторону.

Дослідження проводили на гідропонних модулях, які розділені світлонепроникними екранами, які не дозволяють проникати світлу в сусідні секції, але забезпечують циркуляцію повітряних потоків, в лабораторному приміщенні без природного освітлення. В секціях підтримувались температура повітря 18-20°, відносна вологість повітря 60-70%, вміст CO_2 не менше 0,03%, швидкість повітря 0,3-0,5 м/с. Мінеральне споживання рослин здійснювали живильними розчинами, їх склад на протязі досліду залишався постійним. Загальний вигляд секцій представлений на рис. 1.

Мінеральне споживання рослин здійснювали живильними розчинами загального використання. Вимір складу елементів живлення та їх коригування здійснювали вручну для кожного досліду. В якості екстракту застосовувався розчин агроперліту. В якості параметрів оптимізації були використані – час опромінення (фотоперіод) на чотирьох рівнях: $T = 10; 15; 20; 24$ години на добу, а також величина опромінення $E = 12,5; 15; 20; 30$ Вт/м².



Рис. 1. Загальний вигляд гідропонної установки

Повний експеримент включив себе послідовне проведення чотири серії дослідів, в кожній серії були реалізовані чотири варіанти.

В якості джерел опромінення були використані експериментальні світлодіодні випромінювачі. Потрібний спектри випромінювання задавався пропорцією між синім, зеленим та червоним світлодіодами, а також величиною струму через світлодіоди. Спектральний склад всіх випромінювачів був однаковий, а співвідношення енергії в окремих спектральних діапазонах $k_{\text{син}}=30\%$, $k_{\text{зел}}=20\%$, $k_{\text{чер}}=50\%$. Середнє квадратичне відхилення частки енергії в окремих спектральних діапазонах від середнього складало не більше 2,5%.

Величину випромінювання рослин на протязі всього вегетаційного періоду підтримували на одному рівні шляхом зміни висоти підвіски засобів опромінення. Параметри світлової обстановки рослин наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

ФАР – фотосинтетична активна радіація

Параметр	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Опроміненість ФАР, Вт/м ²	30,0	20,0	15,0	12,5
Освітленість, кЛк	7,94	4,95	3,62	3,09
Фотонна випромінюваність ФАР, МКмоль/с•м ²	142,06	94,09	69,55	59,87

Для об'єктивної оцінки впливу опромінення на розвиток рослин використовували модель яка враховує динаміку зміни площі кожного листа рослини і його маси [10]. Листки з рослин одного віку розділяли на групи, у відповідності з їх номером n, у порядку появи на стеблі. Фіксувались кількість листя на рослині N, їх геометричні розміри (довжину вздовж черешка A_n і найбільшу ширину B_n), сиру масу M_n . Параметри розвитку рослини салата зручно визначати за площею його листка. Попередні дослідження показують що площу листка салату можна визначити за простою формулою $S_n = 0,61 A_n B_n$.

За результатами проведених експериментальних досліджень побудовані графічні залежності площі поверхні листків салату (рис. 2) та маси листя (рис. 3) від опроміненості та фотоперіоду.

Математична обробка результатів дослідів дозволила отримати залежності для визначення впливу параметрів опромінення на показники розвитку салату.

Площа листової поверхні рослини:

$$S = - 1,2T^2 + 60,11T - 1,31E^2 + 70,09E - 819,2 \quad (1)$$

де S – площа листової поверхні рослини салату, см²;

T – фотоперіод, год.;

E – опроміненість, Вт/м²;

Коефіцієнт детермінації для рівняння (1) дорівнює: $R^2 = 0,96$.

Маса листя M_n , г:

$$M_n = -0,06T^2 + 2,21T - 0,03E^2 + 1,62E - 32,01 \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації для цієї моделі: $R^2 = 0,95$.

Значно спростити залежності (1) і (2) можна, якщо використати величину дози опромінення, яка являє собою добуток величини опромінення [Вт/м²] на експозицію процесу опромінення [год]. Ця величина має розмірність [Вт год/м²] і позначається H .

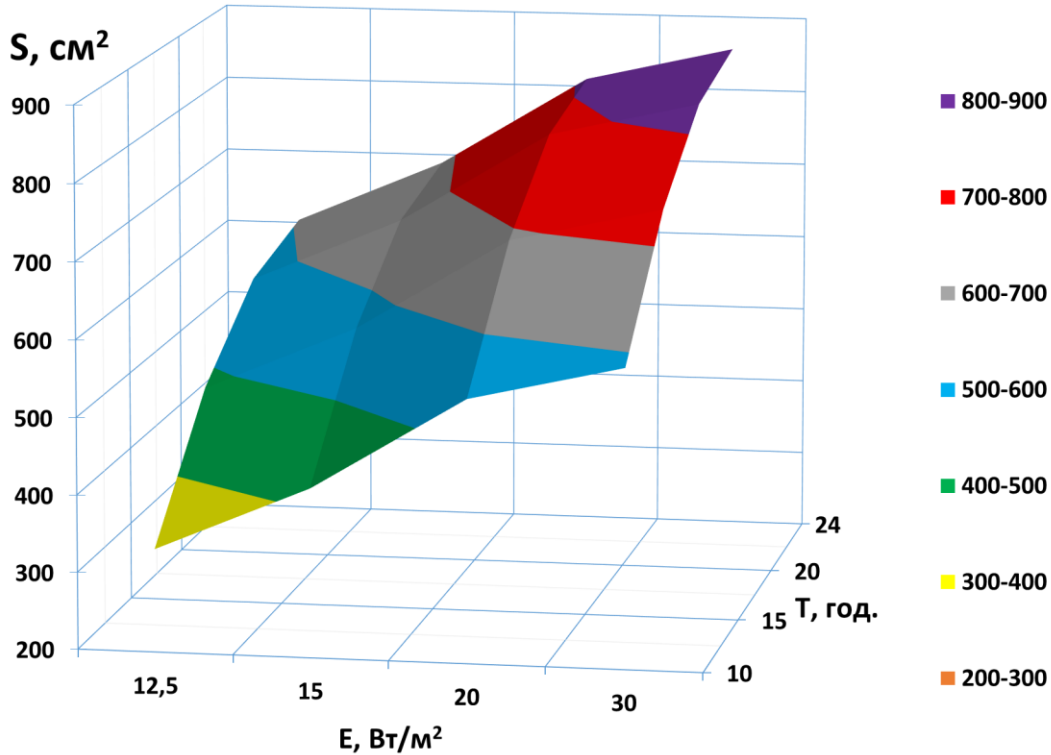


Рис. 2. Залежність площі поверхні листків салату (S , см²) від опроміненості (E , Вт/м²) та фотоперіоду (T , год)

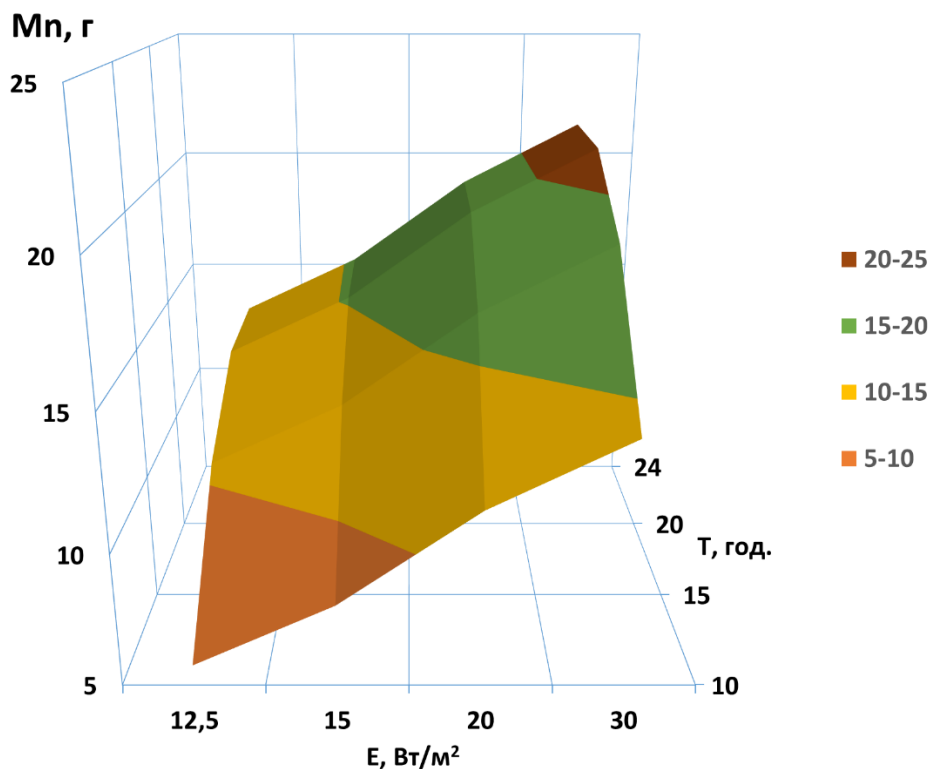


Рис. 3. Залежність маси листя салату (M_n , г) від опроміненості (E , Вт/м²) та фотоперіоду (T , год)

Для площі поверхні листків отримана залежність:

$$S_n = 870,1 \left[1 - \exp\left(-\frac{240,1}{H}\right) \right] \quad (3)$$

Для маси листків:

$$M_n = 46,15 \left[1 - \exp\left(-\frac{850,1}{H}\right) \right] \quad (4)$$

Залежність кількості листків на рослині салату від дози опромінення:

$$N = 0,0071H + 7,4 \quad (5)$$

Оцінка однорідності дисперсій паралельних дослідів була виконана за допомогою критерію Кохрена, його розрахункове значення не перевищує табличного при рівній його значущості 0,05. Перевірку статистичної значущості коефіцієнтів регресії проводили за допомогою критерія Ст'юдента, адекватність моделі – за допомогою критерія Фішера.

Отримані математичні залежності між параметрами навколишнього середовища і продуктивністю рослин дозволяють оптимізувати процес їх росту шляхом підбору необхідних значень зовнішніх параметрів, забезпечуючи при цьому максимальну продуктивність.

Висновки

1. Проведені експериментальні дослідження підтвердили висновки отримані на основі аналізу останніх досліджень і публікацій про значний вплив зовнішніх факторів, зокрема опромінення, на розвиток гідропонних рослин.

2. Отримані математичні моделі дозволяють прогнозувати розміри та масу листків салату залежності від випромінювання.

3. Отримані результати можуть бути використані для знаходження раціональних параметрів одного з чинників зовнішнього впливу на розвиток гідропонних рослин.

Література

1. Singh S, Singh Bs. Hydroponics – A technique for the cultivation of vegetables and medicinal plants. Nutrition and Livelihood Options : Proceedings of 4th Global Conference on Horticulture for Food., India, 2012. 220 p.
2. Yang T, Samarakoon U, Altland J, Ling P. Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) 'standard' under different electrical conductivities of nutrient solution. *Agronomy*. 2021. № 11. P. 13–40. DOI:10.3390/agronomy11071340.
3. Ковальов М.М. Вирощування огірка Козіма F1 на різних типах субстратів у гідропонних купольних теплицях. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 117. С. 80–89.
4. Лавренко С.О., Безручко Н.В. Аеропонічні системи в сучасному світі. *Збірник наукових праць ДВНЗ «ХДАУ»*. 2019. Вип. 33. С. 205–207.
5. Ковальов М., Михайлова Д. Вплив типу субстрату на вирощування мікрозелені салату Ромен в NFT системах. *Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання с/г продукції* : мат. Всеукр. н.-пр. конф. Кропивницький : ЦНТУ, 2021. С. 6–8.
6. Ковальов М.М., Васильковська К.В. Вплив сольового складу поживного розчину на вирощування різних сортів салату Ромен в гідропонних колонах. *Сучасний стан науки в с/г та природокористуванні: теорія і практика* : мат. II міжн. наук. інтернет-конф. Тернопіль. 2020. С. 83–86.
7. Barbieri G., Quintero G., Otero J. et al. A mathematical model to enable the virtual commissioning simulation of wick soilless cultivations. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2021. Vol. 16, № 4. P. 3325–3342.
8. Aji G.K., Haton K., Morimoto T. Modeling the dynamic response of plant Growth to root zone temperature in hydroponic Chili pepper plant using neural networks. *Agriculture*. 2020. 10 (6). 234. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060234>
9. Довідник хіміка 21 : веб-сайт. URL: <https://chem21.info/> (дата звернення: 15.01.2024).
10. Fageria Vd. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*. 2021. 24 (8). P. 1269–1290. DOI: 10.1081/PLN-100106981.

References

1. Singh, S, Singh, Bs. (2012). Hydroponics – A technique for the cultivation of vegetables and medicinal plants. Proceedings of 4th Global Conference on Horticulture for Food: Nutrition and Livelihood Options. (220 p.) India.
2. Yang, T, Samarakoon, U, Altland, J, Ling, P. (2021). Photosynthesis, biomass production, nutritional quality, and flavor-related phytochemical properties of hydroponic-grown arugula (*Eruca sativa* Mill.) 'standard' under different electrical conductivities of nutrient solution. *Agronomy*, 11, 13-40. DOI: 10.3390/agronomy11071340 [in English].
3. Kovalov, M.M. (2021). Vyroshchuvannya ohirka Kozima F1 na riznykh typakh substrativ u hidropornykh kupol'nykh teptylysyakh [Growing Kozima F1 cucumber on different types of substrates in hydroponic dome greenhouses]. *Tavriys'kyi naukovyy visnyk – Taurida Scientific Herald*, № 117, 80-89 [in Ukrainian].
4. Lavrenko, S.O., Bezruchko, N.V. (2019). Aeroponichni systemy v suchasnomu sviti [Aeroponic systems in the modern world]. *Zbirnyk naukovykh prats' DVNZ «KHDAU» – Collection of scientific papers of the State Higher Educational Institution «KhSAU»*, 33, 205-207 [in Ukrainian].
5. Kovalov, M., Mykhailova, D. (2021). Vplyv typu substratu na vyroshchuvannya mikrozeleni salatu Romen v NFT systemakh

[Influence of substrate type on the cultivation of Romaine lettuce microgreens in NFT systems]. Mat. All-Ukrainian scientific and industrial conf. «Achievements and prospects of the agricultural production, processing and storage industry». (p. 6-8). Kropyvnytskyi: CSTU [in Ukrainian].

6 Kovalov, M.M., Vasytkovska, K.V. (2020). Vplyv sol'ovoho skladu pozhyvnoho rozchynu na vyroshchuvannya riznykh sortiv salatu Romen v hidroponnykh kolonakh [Influence of the salt composition of the nutrient solution on the cultivation of different varieties of Romaine lettuce in hydroponic columns]. Proceedings of the II international scientific. Internet conf. «Current state of science in agriculture and nature management: theory and practice». p. 83-86. Ternopil [in Ukrainian].

7 Barbieri, G., Quintero, G., Otero, J. et al. (2021). A mathematical model to enable the virtual commissioning simulation of wick soilless cultivations. *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 16, № 4, 3325-3342 [in English].

8 Aji, G.K., Haton, K., Morimoto, T. (2020). Modeling the dynamic response of plant Growth to root zone temperature in hydroponic Chili pepper plant using neural networks. *Agriculture*, 10 (6), 234. DOI:<https://doi.org/10.3390/agriculture10060234> [in English].

9 Dovidnyk khimika 21 [Chemist's handbook 21]. Retrieved from <https://chem21.info> [in Ukrainian].

10 Fageria, Vd. (2021). Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (8), 1269-1290. DOI: 10.1081/PLN-100106981 [in English].