

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КАБІNET
ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ У ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ЗДОБУВАЧІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ
У 2025-2026 НАВЧАЛЬНОМУ РОЦІ

Збірник науково-дослідницьких робіт

Житомир
ТОВ «Видавничий дім «Бук-Друк»
2026

УДК 377.2/.3:001.891(477)(082)

Н-34

*Рекомендовано до друку Навчально-методичною радою при
Навчально-методичному кабінеті професійно-технічної освіти у
Житомирській області (протокол № 2 від 29.05.2026 р.)*

Рецензенти:

- Миرونчук Н. М. - доктор педагогічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри соціальних технологій, професор кафедри професійно-педагогічної, спеціальної освіти, андрагогіки та управління Житомирського державного університету імені Івана Франка;
- Нагаєвська І. О. - кандидат психологічних наук, методист Навчально-методичного кабінету професійно-технічної освіти у Житомирській області;
- Ткачук І. М. - в.о. директора Навчально-методичного кабінету професійно-технічної освіти у Житомирській області

**Н-34 Наукові дослідження здобувачів професійної освіти
Житомирської області у 2025-2026 навчальному році :
зб. науково-дослідницьких робіт / уклад. І. Д. Сахневич.
Житомир : ТОВ «Видавничий дім «Бук-Друк», 2026. 488 с.**

У збірнику представлені підсумки участі здобувачів професійної освіти Житомирської області у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України (2025-2026 н.р.) та науково-дослідницькі роботи учасників Конкурсу.

Адресовано педагогічним працівникам закладів професійної освіти, аспірантам, студентам та особам, яких цікавить організація науково-дослідницької діяльності зі здобувачами освіти.

УДК 377.2/.3:001.891(477)(082)

Н-34

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. Підсумки участі здобувачів професійної освіти Житомирської області у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України (2025-2026 н.р.)	8
РОЗДІЛ 2. Науково-дослідницькі роботи здобувачів професійної освіти Житомирської області у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України (2025-2026 н.р.)	17
2.1. Кіянець Іванна, здобувачка професійної освіти Любарського професійного ліцею; науково-дослідницька робота «Біопрепарати як інструмент підвищення продуктивності та стійкості кавунів до стресових факторів», <i>1 місце у II етапі Конкурсу</i> ..	17
2.2. Пугачова Ангеліна, здобувачка професійної освіти Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей», науково-дослідницька робота «LI-FI: технологія бездротового зв'язку через світло», <i>2 місце у II етапі Конкурсу</i>	55
2.3. Василенко Артем, здобувач професійної освіти Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради, науково-дослідницька робота «Дослідження роботи вітрогенератора як альтернативного джерела енергії», <i>спеціальний диплом у II етапі Конкурсу</i>	98
2.4. Заведій Дмитро, здобувач професійної освіти Бердичівського професійного будівельного ліцею, науково-дослідницька робота «Розроблення та дослідження теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	146

2.5. Роїк Марія, здобувачка професійної освіти Професійного коледжу сервісу і дизайну міста Житомира, науково-дослідницька робота «Чорнобривці (tagetes erecta) як інноваційна сировина у харчових і фармацевтичних технологіях», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	167
2.6. Шанюк Тимур, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Вплив роботи сміттєпереробного заводу на екологічний стан міста», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	213
2.7. Чернишов Василь, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Перспективи застосування деревного генераторного газу для транспортних засобів у аграрному виробництві», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	239
2.8. Вітовський Максим, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Дослідження спектральних класів зір. Діаграма Герцшпрунга-Рассела», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	282
2.9. Ільїнська Дар'я, здобувачка професійної освіти Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Вплив скандинавських мов на англійську мову», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	322
2.10. Ємець Олександр, здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище», науково-дослідницька робота «Розробка та валідація моделі машинного навчання для виявлення ознак дезінформаційних компаній у соціальних мережах», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	350

2.11. Приймук Владислав, здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище», науково-дослідницька робота «Вплив психологічного стану на фізичне здоров'я людини», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	373
2.12. Пешко Іван, здобувач професійної освіти Овруцького професійного ліцею, науково-дослідницька робота «WordMate: розробка інтерактивного англomовного тренажера у вигляді Telegram-бота», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	404
2.13. Бескровна Альона, здобувачка професійної освіти Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж», науково-дослідницька робота «Чеське поселення на Чуднівщині: від еміграції до рееміграції», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	430
2.14. Нагорна Єлізавета, здобувачка професійної освіти Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж», науково-дослідницька робота «Особливості впливу харчових добавок на здоров'я людини», <i>диплом учасника Конкурсу</i>	459

ВСТУП

Вирішальним чинником суспільного розвитку є творча людина, відповідно акцент у сучасній освіті переноситься на формування в дітей нових якостей особистості: креативності мислення, комунікативності, уміння логічно мислити й робити правильний вибір у зміні видів діяльності, відповідальності й самостійності тощо. Лише творча особистість у сучасних умовах може мати професійні досягнення, здійснювати самореалізацію та самоствердження, стати успішною особисто і зробити успішною свою родину.

Найповніше відповідати цим високим вимогам може лише людина, яка оволоділа навичками наукового мислення. Залучення дитини до наукового пізнання цікавої для неї проблеми дає дитині досвід поєднання теоретичних знань з життєвою практикою. Дослідницька робота змінює світогляд дитини, підвищує самооцінку, формує індивідуальний стиль пізнавальної діяльності, має значний вплив на формування життєвих цінностей, створює поле для самовираження, тому держава стимулює активне залучення здобувачів освіти старшого підліткового віку до пошукової та дослідницької діяльності. Наукові товариства, гуртки, творчі об'єднання та Мала академія наук з мережею секцій різних наукових напрямів створюють оптимальні організаційно-педагогічні та дидактичні умови для наукових досліджень творчо обдарованих і талановитих дітей.

Всеукраїнський конкурс-захист науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України є одним із провідних заходів МАН. Основними завданнями конкурсу є виявлення і підтримка обдарованих дітей, залучення інтелектуально й творчо обдарованої учнівської молоді до науково-дослідницької та експериментальної роботи, формування активної громадянської позиції здобувачів освіти, виховання в них самостійності, наполегливості, вміння формувати й обстоювати власну думку. Всеукраїнський конкурс-захист МАН охоплює понад 60 секцій у 12 наукових відділеннях, висвітлюючи майже всі напрями природничих, гуманітарних і суспільних наук.

Щороку близько 100 тисяч обдарованих дітей з усієї України беруть участь у відбірних I етапах Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України. За результатами проведення I етапів у січні-лютому проводяться II (регіональні) етапи на базі вищих навчальних закладів, інститутів післядипломної освіти, обласних позашкільних навчальних закладів, тощо. Найкращі представники територіальних відділень Малої академії наук України – переможці регіональних етапів конкурсу-захисту (понад 1000 осіб) беруть участь у фінальному III етапі конкурсу-захисту в м. Києві.

З 2009 року у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт беруть участь і здобувачі професійної освіти Житомирської області та отримують призові місця. У 2015 році створена Філія наукового товариства учнів професійно-технічних навчальних закладів «Професіонали» при Навчально-методичному кабінеті професійно-технічної освіти у Житомирській області. У 2021 році відкрито Наукове товариство здобувачів освіти закладів професійної (професійно-технічної) освіти «Професіонали» при Навчально-методичному кабінеті професійно-технічної освіти у Житомирській області. У зазначеному конкурсі приймають участь усі заклади професійної освіти області.

У збірнику представлені підсумки участі учасників наукового товариства «Професіонали» у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України (2025-2026 н.р.) та науково-дослідницькі роботи учасників Конкурсу. Збережено орфографічні та пунктуаційні особливості науково-дослідницьких робіт.

Збірник адресовано педагогічним працівникам закладів професійної освіти, аспірантам, студентам та особам, яких цікавить організація науково-дослідницької діяльності зі здобувачами освіти.

РОЗДІЛ 1
ПІДСУМКИ УЧАСТІ ЗДОБУВАЧІВ ПРОФЕСІЙНОЇ
ОСВІТИ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ У
ВСЕУКРАЇНСЬКОМУ КОНКУРСІ-ЗАХИСТІ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИХ РОБІТ
МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Інформаційно-методичний лист Навчально-методичного кабінету професійно-технічної освіти у Житомирській області від 03.03.2026 № 84 «Про підсумки участі здобувачів професійної освіти у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт МАН України (2025-2026 н.р.)



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КАБІНЕТ ПРОФЕСІЙНО-
ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ У ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ

10014 м. Житомир, вул. Небесної Сотні, 11, тел. (0412)55-01-15,
E-mail: nmkptozhytomyr@ukr.net, ЄДРПОУ 26556261

03.03.2026 № 84

**Керівникам
закладів професійної освіти області**

Інформаційно-методичний лист

Про підсумки участі здобувачів професійної освіти у Всеукраїнському конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів-членів Малої академії наук України (2025-2026 н.р.)

Відповідно до наказу Міністерства освіти і науки від 04.11.2025 року № 1470 «Про проведення Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України у 2025-2026 навчальному році», наказів

Департаменту освіти і науки Житомирської обласної військової адміністрації від 18.11.2025 № 164 «Про проведення I етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт у 2025/2026 н.р.»; від 28.01. 2026 № 17 «Про проведення II етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт у 2025-2026 навчальному році» з метою підтримки розвитку духовного, інтелектуального і творчого потенціалу учнівської молоді і створення умов для формування інтелектуального потенціалу нації, з 16 по 27 лютого 2026 року проведено II етап Конкурсу.

Варто відзначити активну участь членів Наукового товариства здобувачів освіти закладів професійної освіти «Професіонали» при Навчально-методичному кабінеті професійно-технічної освіти у Житомирській області у зазначеному Конкурсі, а саме: Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж», Бердичівського професійного будівельного ліцею, Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира, Територіального відокремленого спеціалізованого відділення с. Турчинівка Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж»; Професійного коледжу сервісу і дизайну міста Житомира; Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей»; Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира; Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище»; Овруцького професійного ліцею; Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради; Любарського професійного ліцею.

У I етапі Конкурсу брали участь 14 здобувачів професійної освіти області зі своїми науково-дослідницькими роботами у таких відділеннях та секціях:

Назва відділення	Секція	Прізвище та ім'я здобувача професійної освіти; назва закладу; тема наукового дослідження; педагогічний керівник
Філологія	Англійська мова та англомовна література	Ільїнська Дар'я, здобувачка професійної освіти Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира. <i>Тема науково-дослідницької роботи «Вплив скандинавських мов на англійську мову».</i> Педагогічна керівниця – Кабанець Ірина Володимирівна, викладачка англійської мови Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира
Історія	Історичне краєзнавство	Бескровна Альона, здобувачка професійної освіти Територіального відокремленого спеціалізованого відділення с. Турчинівка Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж». <i>Тема науково-дослідницької роботи «Чеське поселення на Чуднівщині: від еміграції до реєміграції».</i> Педагогічна керівниця – Івахно Вікторія Леонідівна, викладачка історії Територіального відокремленого спеціалізованого відділення с. Турчинівка Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж»
Інженерія та	Технології виробництва	Роїк Марія, здобувачка професійної освіти Професійного коледжу сервісу і дизайну міста

<p>матеріало- знавство</p>		<p>Житомира. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Чорнобривці (tagetes erecta) як інноваційна сировина у харчових і фармацевтичних технологіях». <i>Педагогічна керівниця</i> – Богонос Тетяна Михайлівна, викладачка з предметів професійно-теоретичної підготовки Професійного коледжу сервісу і дизайну міста Житомира</p>
	<p>Екологічно безпечні технології та ресурсозбереження</p>	<p>Чернишов Василь, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Перспективи застосування деревного генераторного газу для транспортних засобів у аграрному виробництві». <i>Педагогічні керівники:</i> Окомельчук Андрій Олександрович, викладач з предметів професійно-теоретичної підготовки з професій сільськогосподарського напрямку; Редько Петро Миколайович, майстер виробничого навчання з професій сільськогосподарського напрямку Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира.</p>
	<p>Інформаційно-телекомунікаційні системи та технології</p>	<p>Пугачова Ангеліна, здобувачка освіти Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей». <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «LI-FI: технологія бездротового зв'язку через світло». <i>Педагогічний керівник:</i> Шовкун Сергій Борисович – викладач фізики та</p>

		астрономії Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей»
Інформаційні технології	Кібербезпека	Смець Олександр, здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище». <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Розробка та валідація моделі машинного навчання для виявлення ознак дезінформаційних компаній у соціальних мережах». <i>Педагогічна керівниця</i> – Базилівська Анастасія Олегівна, викладачка інформатики та інформаційних технологій Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище»
	Інтернет-технології та вебдизайн	Пешко Іван, здобувач професійної освіти Овруцького професійного ліцею. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «WordMate: розробка інтерактивного англomовного тренажера у вигляді Telegram-бота». <i>Педагогічний керівник</i> – Барановський Євгеній Миколайович, викладач предметів професійно-теоретичної підготовки Овруцького професійного ліцею
Фізика і астрономія	Астрономія	Вітовський Максим, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Дослідження спектральних класів зір. Діаграма Герцшпрунга-Рассела». <i>Педагогічний керівник</i> –

		Ковбан Віталій Павлович, викладач фізики та астрономії Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира
	Прикладна фізика	Василенко Артем, здобувач професійної освіти Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Дослідження роботи вітрогенератора як альтернативного джерела енергії». <i>Педагогічний керівник</i> – Безпалюк Микола Володимирович, викладач фізики Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради
Хімія та біологія	Біологія людини	Нагорна Єлізавета, здобувачка професійної освіти Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж». <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Особливості впливу харчових добавок на здоров'я людини». <i>Педагогічна керівниця</i> – Кондратенко Катерина Валеріївна, викладачка харчових технологій Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж»
	Органічна хімія та біохімія	Шанюк Тимур Євгенійович, здобувач освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Вплив роботи сміттєпереробного заводу

		на екологічний стан міста». <i>Педагогічна керівниця</i> – Кузьмук Тетяна Володимирівна, викладачка хімії Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира
	Охорона здоров'я	Приймук Владислав Володимирович, здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище». <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Вплив психологічного стану на фізичне здоров'я людини». <i>Педагогічна керівниця</i> – Лібіченко Юлія Віталіївна, викладачка біології та хімії Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище»
Екологія та аграрні науки	Охорона довкілля та раціональне природоко-ристування	Заведій Дмитро, здобувач професійної освіти Бердичівського професійного будівельного ліцею. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Розроблення та дослідження теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев». <i>Педагогічна керівниця</i> – Чернюк Ірина Василівна, викладачка з предметів професійно-теоретичної підготовки Бердичівського професійного будівельного ліцею
	Агрономія	Кіянець Іванна, здобувачка освіти Любарського професійного ліцею. <i>Тема науково-дослідницької роботи</i> «Біопрепарати як інструмент підвищення продуктивності та стійкості кавунів до стресових факторів».

		Педагогічний керівник – Дереча Ірина Миколаївна, майстриня виробничого навчання Любарського професійного ліцею
--	--	--

У ході заочного оцінювання зазначені науково-дослідницькі роботи були відправлені для участі у II етапі Конкурсу. На підставі протоколів засідань журі у II етапі Конкурсу призіві місця отримали:

№ з/п	ППП здобувача освіти	Назва навчального закладу	Заочне оцінювання робіт	За постерний захист (бали)	За наукову конференцію (бали)	Загальний бал (макс. 100 балів)
1.	Кіянець Іванна	Любарський професійний ліцей	19,20	42,84	35,00	97,04 I місце
2.	Пугачова Ангеліна	ДНЗ «Малинський професійний ліцей»	16,88	37,53	27,76	82,17 II місце
3.	Василенко Артем	Житомирський професійний ліцей Житомирської обласної ради	19,12	40,77	27,16	87,05 Спец диплом

Відповідно до наказу Департаменту освіти і науки обласної військової адміністрації від 27.02.2025 № 38 «Про підсумки II етапу Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт у 2025-2026 н.р.» здобувачі професійної освіти Наукового товариства «Професіонали» представлені для нагородження дипломами:

- Кіянець Іванна, Любарський професійний ліцей – **за 1 місце;**
- Пугачова Ангеліна, Державний навчальний заклад «Малинський професійний ліцей» – **за 2 місце.**

Спеціальним дипломом за кращий проєкт відзначений Василенко Артем, здобувач професійної освіти Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради.

Усі інші конкурсанти отримують диплом учасника конкурсу.

У III етапі Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт прийматимуть участь Кіянець Іванна, Любарський професійний ліцей та Пугачова Ангеліна, Державний навчальний заклад «Малинський професійний ліцей».

У ході проведення Конкурсу-захисту виявлено ряд недоліків:

- відсутність проблемно-пошукового характеру роботи, ступеню новизни дослідження, теоретичного та прикладного значення роботи;
- порушення структури основної частини роботи: розділи без підрозділів, пунктів або взагалі один підрозділ у розділі на 1 сторінку;
- використання нерелевантної мови, упереджених тверджень і дискурсу під час дослідження;
- висновки дослідницької роботи не базуються на фактах і недостатньо обґрунтовані;
- невчасне подання робіт на I етап;
- роботи відправлені на доопрацювання у минулому році не подаються повторно.

Враховуючи вищезазначене НМК ПТО у Житомирській області рекомендує:

- звертати увагу на актуальність, практичне, прикладне значення роботи, її новизну під час вибору теми дослідження;
- викладати матеріал у розділах, підрозділах, пунктах, підпунктах науково-дослідницької роботи чітко, логічно, послідовно і грамотно;
- формулювати висновки зі стислим викладенням наведених у розділі наукових і практичних результатів у кінці кожного розділу;
- своєчасно подавати необхідні документи та оформлювати науково-дослідницькі роботи у відповідності до тематики секцій та умов проведення конкурсу-захисту.

В.о. директора НМК ПТО

Ірина ТКАЧУК

РОЗДІЛ 2
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКІ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ
ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ, ПРЕДСТАВЛЕНІ У
ВСЕУКРАЇНСЬКОМУ КОНКУРСІ-ЗАХИСТІ
МАЛОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
(2025-2026 Н.Р.)

2.1. Кіянець Іванна, здобувачка професійної освіти Любарського професійного ліцею; науково-дослідницька робота «Біопрепарати як інструмент підвищення продуктивності та стійкості кавунів до стресових факторів»

Здобувачка професійної освіти Любарського професійного ліцею Кіянець Іванна Олександрівна за науково-дослідницьку роботу «Біопрепарати як інструмент підвищення продуктивності та стійкості кавунів до стресових факторів» отримала *1 місце у II етапі Конкурсу*

Відділення: екологія та аграрні науки
Секція: агрономія

Педагогічна керівниця: Дереча Ірина Миколаївна, майстриня виробничого навчання Любарського професійного ліцею

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ КАВУНА ЗВИЧАЙНОГО ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ	6
1.1. Морфологічні особливості кавуна звичайного	6
1.2. Біологічні особливості кавуна звичайного (<i>Citrullus lanatus</i>)	7

1.3. Фенологічні фази розвитку кавуна звичайного за дії біопрепаратів	8
1.4. Вплив біопрепаратів на ріст і розвиток рослин кавуна звичайного	10
Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ	16
2.1. Кліматичні і ґрунтові умови проведення досліджень	16
2.2. Схема досліду і методика проведення дослідження	17
Висновки до розділу 2	20
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ БІОПРЕПАРАТІВ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН КАВУНА ЗВИЧАЙНОГО	22
Висновки до розділу 3	25
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28
ДОДАТКИ	33

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Зміни клімату, що проявляються у підвищенні температур та тенденції до глобального потепління за останні десятиліття, істотно впливають на розвиток аграрного сектору. Нові кліматичні умови змушують виробників адаптувати технології вирощування, переорієнтовувати господарську діяльність та розширювати спектр культур, які раніше були притаманні переважно південним регіонам України. Додатковим чинником є наслідки повномасштабного російського вторгнення та часткова окупація Херсонської, Миколаївської, Одеської областей, які традиційно були основними постачальниками баштанних культур, насамперед кавунів. У зв'язку з цим зростає економічна доцільність їх вирощування в інших регіонах країни, що відкриває нові можливості для малих і середніх аграрних підприємств. Важливу роль відіграють і логістичні переваги: зменшується потреба у транспортуванні продукції на значні

відстані, що є вагомим фактором, адже кавун є чутливою до перевезення ягодою і потребує особливих умов транспортування. Отже, сформовані передумови стимулюють зацікавленість виробників у культивуванні баштаних культур, насамперед кавунів, які стабільно користуються високим споживчим попитом. Це зумовлює необхідність упровадження сучасних агротехнологій, добору продуктивних сортів, оптимізації системи захисту рослин із акцентом на екологічну безпеку та розширення застосування біопрепаратів.

Одним із ефективних способів забезпечення екологічно безпечного вирощування баштаних культур та одночасного підвищення їх продуктивності є застосування біопрепаратів у агрофітоценозах кавунів. Основними перевагами такого підходу є позитивний вплив на родючість ґрунту, зміцнення природної стійкості рослин до хвороб та абіотичних стресів (що набуває особливої актуальності в умовах кліматичних змін), активізація ростових процесів, стимулювання раннього цвітіння та прискорення дозрівання плодів, що може забезпечити приріст урожайності до 30%. Таким чином, використання біологічних препаратів є перспективним напрямом у сучасному агровиробництві, зокрема при вирощуванні кавунів, оскільки сприяє підвищенню врожайності та рентабельності, одночасно покращуючи якість продукції та знижуючи ризик накопичення шкідливих речовин. Це, у свою чергу, дозволяє отримувати екологічно чисті врожаї та сприяє збереженню здоров'я споживачів.

Метою дослідження було оцінити вплив біопрепаратів на ріст і розвиток рослин, урожайність плодів та вдосконалення елементів технології вирощування кавуна звичайного в умовах лісостепу.

Завдання дослідження:

– проаналізувати літературні джерела щодо сучасних підходів до застосування біопрепаратів у вирощуванні баштаних культур;

– охарактеризувати ґрунтово-кліматичні умови зони проведення досліджень та біологічні особливості культури кавуна;

– закласти польовий дослід із використанням різних біопрепаратів у посівах кавунів;

- провести облік та оцінку показників росту і розвитку рослин під впливом біопрепаратів;
- визначити урожайність та якість плодів за використання різних біопрепаратів;
- узагальнити результати та сформулювати практичні рекомендації щодо доцільності впровадження біопрепаратів у виробництво.

Об'єктом дослідження сорт кавуна Кримсон Світ, біопрепарати.

Предметом дослідження: залежність формування продуктивності кавуна від використання біопрепаратів

Методи дослідження: польовий – для оцінки впливу біопрепаратів на ріст і розвиток рослин кавуна; вимірювально-ваговий – для встановлення показників урожайності кавуна; розрахунковий – для оцінки економічної ефективності проведених досліджень; статистичний – для перевірки достовірності та надійності отриманих експериментальних результатів.

Наукова новизна. Уперше для умов досліджуваного регіону встановлено особливості впливу різних біопрепаратів на ріст, розвиток та формування урожайності рослин кавуна. Виявлено закономірності зміни фітосанітарного стану посівів кавуна за використання біологічних препаратів як альтернативи або доповнення хімічного захисту. Уточнено показники реакції культури на дію біопрепаратів в умовах кліматичних стресів, що дозволяє розширити наукові уявлення про адаптивний потенціал кавуна. Науково обґрунтовано ефективність біопрепаратів у підвищенні продуктивності та якості плодів

Практична цінність. Результати дослідження дозволяють рекомендувати економічно доцільні схеми застосування біопрепаратів у технології вирощування кавуна. Запропоновані підходи сприяють зменшенню використання синтетичних речовин, що підвищує екологічну безпеку продукції та відповідає вимогам ринку. Отримані дані можуть бути використані для оптимізації технологій вирощування баштанних культур у регіонах із новими кліматичними умовами та для підвищення рентабельності виробництва. Матеріали дослідження можуть бути використані у практичному овочівництві для:

- підвищення продуктивності рослин та покращення якості плодів;
- збільшення стійкості рослин до стресових факторів, таких як посуха та дефіцит поживних речовин;
- оптимізації агротехнічних заходів із застосуванням біопрепаратів у лісостеповій зоні;
- розробки рекомендацій щодо економічно доцільного використання біопрепаратів у технології вирощування кавуна.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, 3 малюнків, 1 таблиця, висновків до розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Список використаних джерел складає 43 найменування.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ І РОЗВИТКУ КАВУНА ЗВИЧАЙНОГО ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ

1.1. Морфологічні особливості кавуна звичайного

Кавун звичайний (*Citrullus lanatus*) є важливою баштанною культурою, що має як харчове, так і господарське значення. Він цінується за високу врожайність, добру транспортабельність і можливість вирощування в різних кліматичних умовах, зокрема в регіонах із недостатнім зволоженням [21, с. 92-95; 6, 18-24]. Кавун широко використовується у свіжому вигляді, а також для переробки – виготовлення соків, сиропів, цукатів, меду-нарду, варення. Його високі смакові якості та дієтична цінність роблять культуру затребуваною на ринку [27, с. 156-161].

Кавун звичайний належить до однорічних трав'янистих рослин родини гарбузових (*Cucurbitaceae*). Він характеризується розгалуженими, плетистими батогами довжиною 2-6 метрів, що вкриті короткими волосками.

Стебла порожнисті, розгалужені, зі здатністю швидко плентатися по поверхні ґрунту [25, с. 35-40]. Коренева система у кавуна стрижнева з численними бічними коренями, що дозволяє

рослині засвоювати воду та поживні речовини з глибоких шарів ґрунту та підвищує посухостійкість [15, с. 40-60].

Листки великі, черешкові, п'ятилопатеві або трилопатеві, з зубчастими краями, темно-зеленого забарвлення, із зморшкуватою поверхнею. Листки формують значну асиміляційну поверхню, що сприяє високому фотосинтетичному потенціалу рослини [7, с. 71-77].

Квіти одностатеві, жовтого кольору, розташовані поодинокі або в групах на пазушних суцвіттях. Переважно чоловічі квітки з'являються раніше, ніж жіночі, що забезпечує запилення і формування плодів. Запилення здійснюється комахами, переважно бджолами [15, с. 10-25].

Плід кавуна – багатонасінна ягода великого розміру, округлої або видовженої форми. Шкірка щільна, різноманітного забарвлення – зелена з темними смугами або плямами, залежно від сорту. М'якоть соковита, червона або рожево-червона, солодка, насичена цукрами та каротиноїдами. Насіння чорне або коричневе, плоске або овальне, розташоване по всій м'якоті. Розмір плодів залежить від сорту і може коливатися від 1 до 10 кг і більше [31, с. 438-442].

Батоги і листки рослини здатні активно розростатися по ґрунту, утворюючи щільний покрив, що частково пригнічує бур'яни і зменшує випаровування вологи [7, с. 71-77].

1.2. Біологічні особливості кавуна звичайного (*Citrullus lanatus*)

Кавун звичайний належить до теплолюбних рослин із подовженим вегетаційним періодом та високими вимогами до світла. Насіння проростає за температури не нижче +12–+14°C, а оптимальна температура для росту і розвитку рослин становить +25–+30°C. Рослини є чутливими до заморозків, а короткочасне зниження температури пригнічує їхній розвиток [18].

Культура потребує інтенсивного сонячного освітлення, добре переносить посуху завдяки розвиненій кореневій системі, яка здатна засвоювати вологу з глибоких шарів ґрунту. Надмірне зволоження та застій води негативно впливають на рослини, знижують цукристість і сприяють розвитку хвороб [8, с. 13-23; 34, с. 767-777].

Кавун формує чоловічі та жіночі квітки, запилення відбувається переважно комахами, що визначає важливість сприятливих погодних умов під час цвітіння. Плід є багатонасінною ягодою, для формування якої необхідна висока сума активних температур [15, с. 65].

До ґрунтів культура відносно невибаглива, однак найкраще росте на легких, структурних, добре аерованих ґрунтах із нейтральною або слабколужною реакцією. Важкі, кислі та перезволожені ґрунти знижують продуктивність.

Біологічною особливістю кавуна є здатність накопичувати сухі речовини та цукри в період досягання плодів, що потребує достатнього тепла та світла. Тривалість вегетаційного періоду залежить від сорту та становить у середньому 70–90 діб [28, с. 131-139; 20, с. 116-118]. У сучасних умовах зміни клімату культура демонструє добру адаптивність до підвищених температур і дефіциту вологи, що розширює можливості її вирощування у регіонах, де раніше воно було обмеженим.

1.3. Фенологічні фази розвитку кавуна звичайного за дії біопрепаратів

Фаза проростання та сходів. Характеризується набуханням насіння та появою проростків. Процес відбувається за температури ґрунту не нижче +12...+14 °С, а оптимальні умови становлять +25...+30 °С. Сходи з'являються на 6–12 день залежно від вологості, температури та якості насіння. У цей період рослини особливо чутливі до ґрунтової кірки, низьких температур та шкідників, що уражають проростки [19, с.7-15]. Застосування біопрепаратів, зокрема мікробних стимуляторів росту та ґрунтових інокулянтів, прискорює набухання насіння, покращує енергію проростання та підвищує відсоток схожості насіння. Біопрепарати сприяють ранньому формуванню здорових сходів та підвищують стійкість молодих рослин до ґрунтових патогенів [23, с. 266-270].

Фаза формування справжніх листків. Після появи сім'ядоль розвиваються перші, а далі наступні справжні листки. У цей час рослина нарощує асиміляційну поверхню, посилюється коренеутворення. Кавун вимогливий до тепла та світла, дефіцит яких пригнічує ріст. Надмірна вологість може спричинити

розвиток корневих гнилей [13, с. 20-25]. У фазі активного наростання листкової поверхні біопрепарати стимулюють синтез хлорофілу та активізують фотосинтетичну діяльність рослин. Це забезпечує інтенсивний ріст і міцність пагонів, а також покращує розвиток кореневої системи, що підвищує здатність рослин до засвоєння поживних речовин.

Фаза стеблуння. Рослина формує батоги, спостерігається активне наростання вегетативної маси. Коренева система заглиблюється, що забезпечує посухостійкість. У цей період закладається потенціал майбутньої урожайності, тому важливі оптимальні живлення, температура та сонячне освітлення [14, с.45-55]. Біопрепарати сприяють підвищенню вегетативного росту батогів і зміцненню структури стебел. Крім того, вони активізують вироблення фітогормонів (ауксинів, цитокінінів), що підвищує адаптаційний потенціал рослин до посушливих умов та температурних коливань [31, с. 438-442].

Фаза бутонізації та цвітіння. Спочатку формуються чоловічі квітки, через 5-10 днів – жіночі. Запилення здійснюється переважно комахами, тому сприятлива погода (тепла, суха, без сильного вітру) є критично важливою. Погодні стреси (похолодання, дощі) знижують запилюваність і зав'язування плодів [12, с. 102-108]. Використання біопрепаратів покращує формування квіткових бруньок та стимулює цвітіння. Це підвищує кількість жіночих квіток і забезпечує більш ефективне запилення, що важливо для формування високого потенціалу урожайності. Біопрепарати також підвищують стійкість квіток до абіотичних стресів (низьких температур, посухи) [34, с. 767-777].

Фаза зав'язування плодів і плодоутворення. Після успішного запилення формується зав'яз, починається ріст плодів. У цей період рослина потребує достатньої кількості тепла і сонця, а надмірний полив або дощі погіршують смакові якості та підвищують ризик захворювань. Тривалість фази залежить від сорту та умов і становить у середньому 20-35 днів [29, с. 131-137]. Біопрепарати стимулюють зав'язування плодів, підвищують відсоток плодів, що формуються, і сприяють рівномірному росту плодів. Вони поліпшують мінеральне живлення та водопостачання рослин, що позитивно впливає на якість та масу плодів.

Фаза наливу та досягання плодів. Відбувається активне накопичення сухих речовин, цукрів, органічних кислот та пігментів. Оптимальні умови – тепла суха погода. Перезволоження знижує цукристість та може спричинити розтріскування плодів. Визначальними стають сума активних температур та сонячна інсоляція [2, с. 78-91]. У період наливу біопрепарати активізують обмін речовин у рослині, сприяють накопиченню цукрів та сухих речовин у м'якоті, покращують смакові якості плодів і підвищують цукристість. Використання біопрепаратів також зменшує ризик розвитку грибкових хвороб плодів.

Фаза господарської стиглості. Плоди набувають характерного забарвлення, смаку, аромату та щільності м'якоті. Насіння повністю сформоване. Ознаки стиглості: висихання плодоніжки, матовість шкірки, глухий звук при постукуванні. Тривалість вегетаційного періоду від сходів до стиглості становить приблизно 70-90 днів залежно від сорту та клімату [10, с.21-28]. На заключній фазі біопрепарати підтримують метаболізм рослини, що забезпечує оптимальні умови для завершального дозрівання плодів. Це сприяє отриманню екологічно чистої продукції з високими смаковими якостями та знижує накопичення шкідливих речовин у плодах.

1.4. Вплив біопрепаратів на ріст і розвиток рослин кавуна звичайного

У сучасних умовах зміни клімату та інтенсифікації сільськогосподарського виробництва особливої важливості набуває впровадження екологічно безпечних технологій вирощування баштанних культур, зокрема кавуна звичайного (*Citrullus lanatus*). Підвищення температури, посухи та нестабільність зрощувальних режимів створюють стресові умови для рослин, що негативно впливає на ріст, розвиток і врожайність культури [29, с. 131-137; 2, с. 78-91]. Біопрепарати здатні підвищувати стійкість рослин до біотичних та абіотичних стресів, стимулювати ріст і розвиток кореневої та вегетативної системи, а також покращувати родючість ґрунту. Впровадження таких засобів у технології вирощування кавуна дозволяє отримувати високоякісну продукцію з меншим використанням хімічних

добрив і засобів захисту рослин, що забезпечує екологічну безпеку та здоров'я споживачів [26, с. 34-37; 1, с. 15-22].

Крім того, у зв'язку з частковою окупацією південних регіонів України, традиційних постачальників баштанних культур, зростає економічна доцільність вирощування кавуна в інших областях країни. Використання біопрепаратів у нових умовах дозволяє підвищити ефективність виробництва, адаптувати рослини до місцевих кліматичних та ґрунтових умов, знизити витрати на агротехнічні заходи та забезпечити стабільний рівень врожайності [22, с. 179-181].

Біологічні препарати – це спеціалізовані засоби, створені на основі живих мікроорганізмів та продуктів їх життєдіяльності, таких як гриби, бактерії та віруси. Нині вони широко використовуються не лише у рослинництві, але й у загальному сільському господарстві [4, с. 5-14; 41, 9-25]. Основне призначення біопрепаратів полягає в екологічно безпечному захисті культур від збудників хвороб, шкідників та гризунів. Крім того, біопрепарати сприяють підвищенню родючості ґрунту, що позитивно впливає на ріст та розвиток рослин. Вони містять біологічно активні компоненти, які не викликають розвиток резистентності у бактерій, вірусів та інших шкідливих організмів, що забезпечує їх ефективність протягом тривалого часу. Більшість біопрепаратів одночасно захищає рослини та стимулює розвиток кореневої системи, покращує засвоєння поживних речовин, підвищує стійкість до абіотичних стресів і сприяє збільшенню врожайності вирощуваних культур [24, с. 30-41; 11, с. 5-17].

Бактерії роду *Bacillus subtilis* входять до складу біопрепаратів завдяки високій ефективності у стимуляції росту рослин та їх захисті від різноманітних захворювань. Дослідження показали, що інші штами цього роду здатні пригнічувати розвиток фітопатогенних організмів, таких як *Pseudomonas*, *Fusarium* та *Trichothecium* [41, с. 9-25].

Бактерії роду *Bacillus polymyxa* демонструють антагоністичну активність проти патогенних грибів, зокрема знижують поширення кореневої гнилі майже вдвічі, пригнічують розвиток хвороби в п'ять разів та сприяють збільшенню надземної біомаси рослин на 56 % [4, с. 5-14].

Сапрофітні гриби виду *Trichoderma harzianum* ефективно протидіють фітопатогенам, таким як *Fusarium oxysporum*, *Fusarium moniliforme*, *Fusarium roseum* та інші. Антагоністична активність *Trichoderma harzianum* зумовлена здатністю синтезувати різні антибіотики, зокрема мікобацилін, бацилізин, сурфактин, поліміксин, мікосубтилін, турин, ліхенізин тощо. Ці речовини змінюють структуру клітинної стінки патогенних організмів або проявляють мембранотропну дію, що спричиняє пригнічення їх росту та розвитку [4, с. 5-14; 41, с. 9-25].

Мікоризуючі гриби відіграють ключову роль у процесі мікоризації, сприяючи ефективному засвоєнню рослинами вологи та поживних речовин у доступній формі через обмін на вуглеводи, утворені в процесі фотосинтезу. Розвиток мікоризи стимулює поглиблене проникнення кореневої системи в ґрунт, що підвищує здатність рослин до поглинання води та елементів живлення [3, с. 59-62; 35, с. 76-88].

Крім того, мікоризні гриби стимулюють синтез природних антибіотиків, які пригнічують розвиток фітопатогенів, таких як збудники фітофторозу, фузаріозу, бактеріозів, альтернаріозів, корневих гнилей, а також контролюють чисельність шкідників, включно з нематодами [30, с. 1772-1780; 36, с. 81-88]. Це забезпечує додатковий захист рослин від патогенів, підвищує їх стійкість до стресових факторів (посухи і заморозків) та інших несприятливих умов – покращує загальний фітосанітарний стан і сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур [37, с. 185].

Гриб *Glomus intraradices* формує взаємовигідні симбіотичні зв'язки з кореневою системою більшості сільськогосподарських культур. Рослини постачають гриби цукрами, які слугують джерелом енергії, а гриби, у свою чергу, поглинають поживні речовини з ґрунту, функціонуючи як додаткові корені. Завдяки такому симбіозу рослини можуть ефективніше використовувати великий об'єм ґрунту, що покращує поглинання води та поживних елементів, зокрема фосфору (у тому числі в недоступних формах), азоту, міді, заліза, калію, кальцію та інших [38, с. 9].

Бактерії, що входять до складу біопрепаратів, виконують важливі функції для росту та розвитку рослин: забезпечують доступність поживних речовин, сприяють розкладанню

органічних решток, продукують фітогормони та стимулятори росту, а також стимулюють розвиток кореневої системи. Крім того, вони допомагають реалізувати генетичний потенціал культури, запобігають загибелі рослин під час ґрунтової посухи та пригнічують розвиток ряду фітопатогенів [32, с. 15].

Згідно з результатами польових досліджень, застосування біопрепаратів на сільськогосподарських культурах позитивно впливає на ріст і розвиток рослин та підвищує врожайність більш ніж на 30 % [11, с. 5-17]. Удосконалення окремих елементів технології вирощування сприяє підвищенню врожайності та покращенню якісних показників продукції

У своїх працях науковці висвітлили синергетичний вплив *Bacillus subtilis* і *Paecilomyces lilacinus* на деградацію ґрунту, мікробну структуру та врожайність кавуна. У результаті застосування цих мікроорганізмів призвело до покращення фізико-хімічних властивостей ґрунту та показників фотосинтезу листя. У результаті врожайність кавуна значно збільшилась порівняно з контролем [33, с. 8].

У дослідженні, опублікованому N. Yavuz та ін. (2025), оцінювали вплив двох штамів *Pseudarthrobacter polychromogenes* та *Paenarthrobacter aurescens* на урожайність і якість плодів кавуна за різних методів дефіцитного зрошення. Було показано, що при сильному водному стресі ці ризобактерії здатні підвищити врожай кавуна на 20 %. Мікроорганізми знижували стрес рослин, впливаючи на індекс водного стресу, що дозволяє рослинам краще переносити дефіцит вологи. Вчені підкреслюють, що ризобактерії здатні значно знижувати негативний ефект дефіциту води, що є важливим для баштанних культур, особливо в умовах зростаючого кліматичного стресу [42, с. 10]. Отже, біопрепарати можуть бути інтегровані в технології біологізації вирощування кавуна як засіб адаптації до зміни клімату [40, с. 9].

Згідно з методичними рекомендаціями, системи застосування біопрепаратів разом із регуляторами росту й іншими агротехнічними заходами можуть бути важливою складовою інтегрованого захисту та живлення кавуна [16, с. 12].

У оглядовій публікації науковці також згадують позитивний вплив біологічних препаратів на ґрунтове середовище та продуктивність. Постійний розвиток і селекція

ефективних штамів мікроорганізмів відкриває нові можливості для сталого виробництва баштанних культур із меншим екологічним навантаженням [39, с. 236]. Дослідженнями встановлено, що застосування бактеріальних інокулянтів на основі *Bacillus spp.* сприяло росту кавуна, підвищувало ефективність фотосинтезу та врожайність, а також покращувало якість плодів.

Сучасні дослідження свідчать, що біопрепарати, значно впливають на ріст, розвиток і урожайність кавуна [43 с. 7]. Їх використання дозволяє:

- підвищити продуктивність навіть за стресових (дефіцит вологи) умов,
- поліпшити якість плодів,
- стимулювати фотосинтетичні процеси,
- відновлювати або покращувати родючість деградованих ґрунтів.

Ці результати підкреслюють перспективність впровадження біологізації в технологію вирощування кавуна, особливо в контексті сталого землеробства та адаптації до кліматичних змін [22, с. 179-181].

Таким чином, дослідження ефективності застосування біопрепаратів у посівах кавуна є актуальним і перспективним з наукової, екологічної та економічної точок зору, оскільки сприяє підвищенню продуктивності, якості продукції та рентабельності виробництва баштанних культур в умовах сучасного аграрного виробництва.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз морфологічних особливостей кавуна звичайного свідчить, що добре розвинена коренева система, потужні сланкі пагони та сформована асиміляційна поверхня забезпечують його високу адаптивність і продуктивність за сприятливих ґрунтово-кліматичних умов. Ці ознаки визначають вимоги культури до тепла, світла й родючості ґрунту, що необхідно враховувати під час вирощування.

2. Кавун характеризується підвищеною потребою у вологі в період активного росту та зав'язування плодів, але погано реагує на її надлишок, що зумовлює необхідність раціонального

режиму зрошення. Біологічні властивості рослини також передбачають високу потребу в поживних речовинах, що вимагає забезпечення достатнього рівня мінерального та органічного живлення. Отже, біологічні особливості кавуна визначають вимоги до умов вирощування і є ключовим чинником у формуванні продуктивності культури.

3. Застосування біопрепаратів сприяє прискоренню проходження основних фенологічних фаз кавуна звичайного, зокрема появи сходів, початку цвітіння та формування зав'язей. Обробка біопрепаратами активізує фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, що забезпечує швидший розвиток і позитивно впливає на загальну тривалість вегетації та формування врожаю.

4. Застосування біопрепаратів позитивно впливає на ріст і розвиток рослин кавуна звичайного, сприяючи активнішому формуванню вегетативної маси, збільшенню кількості зав'язей та покращенню загального фізіологічного стану рослин. Біопрепарати підсилюють адаптивні властивості культури, що забезпечує більш інтенсивний розвиток та підвищує потенціал урожайності.

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Кліматичні і ґрунтові умови проведення досліджень

Дослідження були проведені в умовах лісостепової зони України, яка характеризується помірно-континентальним кліматом із чіткою сезонністю та сприятливими умовами для вирощування сільськогосподарських культур. Середньорічна температура повітря становить +7–+9 °С, із теплим вегетаційним періодом, тривалістю 250-270 днів. Кількість активних температур (понад +10 °С) досягає 2600-3000 °С, що забезпечує інтенсивний ріст і розвиток теплолюбних культур. Безморозний період триває 145-160 діб.

Річна сума опадів коливається в межах 500-650 мм, з яких основна частина (до 70 %) припадає на теплий період року. У

літні місяці можливі короточасні посухи, що зумовлює нерівномірний розподіл вологи та потребу в заходах зі збереження ґрунтової вологи. Випаровуваність перевищує кількість опадів, що формує періодичний дефіцит вологи в ґрунті, особливо у фазі активного росту рослин. Помірна вітрова активність і достатня сонячна радіація створюють сприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур, проте періодичні посухи та заморозки потребують адаптованих агротехнологій.

Ґрунтовий покрив представлений чорноземами опідзоленими, що відзначаються високою природною родючістю. Вміст гумусу у верхньому горизонті становить 3,5-5,5 %, гранулометричний склад – середньо- та важкосуглинковий. Реакція ґрунтового розчину слабокисла або близька до нейтральної (рН 6,2-6,8). Чорноземи характеризуються доброю водостійкою структурою, високою поглинальною здатністю та забезпеченістю основними елементами живлення, зокрема азотом і калієм, за середнього забезпечення фосфором.

Рівень ґрунтових вод залягає на значній глибині, що запобігає перезволоженню та створює оптимальні умови для розвитку кореневої системи. За умов періодичних літніх посух продуктивність агроценозів значною мірою залежить від ефективності вологозберезувальних технологій та застосування біопрепаратів, спрямованих на підвищення стресостійкості рослин.

Ґрунт дослідних ділянок характеризується такими агрохімічними показниками: уміст гумусу 2,2 %, уміст азоту, що легко гідролізується – 108 мг/кг, уміст рухомих форм фосфору – 110 мг/кг, уміст обмінного калію – 125 мг/кг ґрунту, рН – 6,6.

Отже, ґрунтово-кліматичні умови лісостепової зони на чорноземах є сприятливими для проведення польових досліджень, забезпечуючи надійне відтворення результатів і високу чутливість рослин до застосовуваних факторів.

2.2. Схема досліду і методика проведення дослідження

Польові дослідження стосовно оцінки ефективності використання біологічних препаратів (Додаток М) для

підвищення стійкості і урожайності плодів кавуна звичайного проводили за такою схемою:

1. Контроль (обробка водою);
2. Мікофренд, р.2,5;
3. Біонорма Овочі, р., 2 л/т;
4. Ендоспор ДМ, ЗП, 0,25 кг/т.

Розміщення варіантів і повторень наведено на рис. 2.1.

Рис. 2.1.

Схема дослідю

1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I повторення			II повторення			III повторення			IV повторення		

Облікова площа дослідних ділянок 10 м². Повторність дослідних ділянок у досліді чотириразова разова, розміщення варіантів у повторенні систематичне. У дослідях кавун звичайний вирощували розсадним способом. Для дослідження використовували насіння кавуна сорт Кримсон Світ (Додаток А).

Ботаніко-біологічна характеристика та господарсько цінні ознаки сорту сорту кавуна Кримсон Світ у вигляді таблиці [17] (Додаток К та Додаток Л).

Насіння висівали на розсаду в третій декаді квітня у попередньо продезінфіковані спиртом чашки Петрі. На фільтрувальний папір у кожному чашку пінцетом розміщували по 20 насінин кожного сорту та вносили 6 мл дистильованої води (Додаток Б).

Перші проростки відмічали через п'ять діб після висівання (Додаток В).

Пророщене насіння обох сортів кавунів висаджували в однакові за розміром контейнери на 12-й день після посіву (Додаток Г). Як вирощувальний субстрат застосовували торф'яний ґрунт нейтральної реакції (рН 5,5–6,5) середньої щільності, з повним забезпеченням рослин доступними макро- та мікроелементами і відсутністю патогенних мікроорганізмів. Масові сходи відмічали на 15-у добу. Формування перших справжніх листків спостерігали через 24 дні після висаджування.

Розсаду кавунів переносили у відкритий ґрунт у третій декаді травня, після стабілізації температури та зникнення ризику

заморозків, за прогрівання ґрунту до 15–16 °С. Висаджування проводили у віці 30–35 діб.

Дослідження з вирощування кавуна звичайного проводили у польових умовах лісостепової зони за загальноприйнятою технологією з урахуванням біологічних особливостей культури та ґрунтово-кліматичних факторів регіону. Після збирання попередника здійснювали лушення стерні, а восени – оранку на глибину 25–27 см. Рано навесні проводили боронування та культивуацію для закриття вологи та вирівнювання поверхні поля.

Кавун звичайний, як і інші овочеві культури, характеризується підвищеною потребою в родючому ґрунті та значним виношенням елементів живлення. Тому на початкових етапах росту та у фазі бутонізації рослини підживлювали біопрепаратами. Упродовж вегетації виконували три міжрядні розпушування. Проведення пасинкування сприяло раціональному розподілу поживних речовин на формування плодів, що позитивно впливало на урожайність і якість продукції. Упродовж вегетаційного періоду проводили фенологічні спостереження за загальноприйнятими методиками (Додаток Д).

Висадку проводили за схемою 1,4 × 0,7–1,0 м (з розрахунку 6–10 тис. рослин/га). Під час висаджування розсади кавунів у відкритий ґрунт здійснювали перший полив (по 1–1,5 л води у лунку). Другий – у фазу «цвітіння – зав'язування плодів», третій – у період масового цвітіння, а наступні поливи проводили під час інтенсивного формування плодів. Загалом за сезон виконували вісім поливів. Упродовж вегетації здійснювали міжрядні розпушування на глибину 8–10 см. Видалення бур'янів проводили вручну до змикання батогів.

Перед збиранням урожаю зрошення припиняли, оскільки надлишок вологи погіршує якісні показники плодів. Появу перших стиглих кавунів відмічали в першій декаді серпня. Збір урожаю проводили вибірково, у міру досягання плодів.

Фенологічні спостереження здійснювали протягом усього вегетаційного періоду з фіксацією таких етапів розвитку: дата сівби, поява початкових та повних сходів, початок цвітіння жіночих квіток, формування зав'язей, досягання перших плодів та період їхнього збирання. Початок цвітіння жіночих генеративних органів відзначали за умови, коли перші квітки

розкривалися у 15 % рослин. Після цього на кожній обліковій площі підраховували кількість рослин і визначали їх частку від загальної кількості [9, с. 270].

Збирання урожаю розпочинали після досягнення плодами сортової стиглості. Облік урожайності проводили шляхом ручного збирання плодів з кожної ділянки та повторення досліду.

Стиглість плодів визначали за такими ознаками: всихання вусика, характерний малюнок на поверхні шкірки та глухий звук під час легкого постукування долонею. Першу дату збирання встановлювали за появи окремих стиглих плодів ультрараннього сорту, наступні – проводили в один день з рівними інтервалами. Тривалість між збираннями могла змінюватися залежно від темпів досягання плодів, щоб запобігти їх перестиганню та забезпечити своєчасний збір урожаю.

Плоди кавунів після збирання врожаю сортували за категоріями та проводили їх зважування. Для оцінки скоростиглості визначали урожайність стиглих плодів, отриманих під час перших двох збирань. Дрібні та уражені хворобами плоди відокремлювали та фіксували їх масу окремо. Для кожної категорії розраховували загальну масу та її частку у відсотках від сумарного врожаю в повторенні. У кожному повторенні також визначали середню масу плодів. З цією метою для кожного сорту тричі підраховували кількість плодів і встановлювали їх загальну масу. Середню масу плоду обчислювали шляхом ділення сумарної маси плодів на їх кількість за результатами трьох збирань [5, с. 98]. У всіх повтореннях визначали середню масу плодів. Середню масу плода сортів кавуна визначали діленням суми маси плодів на кількість за три збирання.

Отримані результати піддавали статистичному аналізу методом дисперсійного аналізу (ANOVA).

Висновки до розділу 2

1. Грунтово-кліматичні умови лісостепової зони в основному були сприятливими для вирощування кавуна звичайного. Чорноземні ґрунти регіону характеризуються високою природною родючістю, оптимальною структурою, хорошою аерацією та достатнім вмістом поживних речовин, що

забезпечує належний розвиток кореневої системи та формування плодоносних батогів. Помірно тепле літо, достатня сума активних температур, тривалий безморозний період і достатнє сонячне випромінювання створювали умови, необхідні для нормального проходження фенологічних фаз кавуна та накопичення цукрів у плодах. Отже, поєднання родючих чорноземних ґрунтів і сприятливих кліматичних характеристик Лісостепу забезпечує високу придатність зони для вирощування кавуна, сприяючи отриманню стабільних і якісних урожаїв.

2. Розсадний спосіб вирощування кавуна звичайного є найбільш оптимальним для умов лісостепової зони. Використання розсади забезпечує швидше проходження ранніх етапів органогенезу, підвищує енергію росту рослин та сприяє кращому укоріненню в період після висаджування. Такий спосіб дає змогу успішно компенсувати нестачу тепла у весняний період, зменшити ризик ушкодження рослин низькими температурами та забезпечити формування раннього й більш дружного врожаю.

Завдяки розсадному методу підвищується стійкість рослин до стресових факторів, скорочується тривалість вегетаційного періоду у відкритому ґрунті та збільшується продуктивність культури, що робить цей спосіб найбільш ефективним і доцільним для агрокліматичних умов лісостепу.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ БІОПРЕПАРАТІВ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН КАВУНА ЗВИЧАЙНОГО

За результатами проведених досліджень встановлено, що рослини сортів кавуна відрізнялися між собою за біометричними показниками.

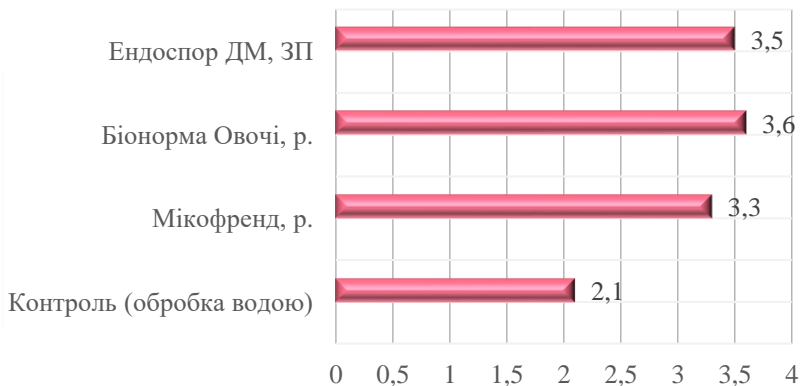
У результаті проведених польових досліджень з'ясовано, що рослини кавуна звичайного сорту Кримсон Світ відрізнялися між собою за біометричними показниками (рис. 3.1).

При застосуванні Мікофренд, р. кількість плодів на рослину становила 3,3 шт., що на 57% перевищує контрольні показники. Під дією біопрепарату Ендоспор ДМ, ЗП кількість

плодів зроста до 3,5 шт., що на 67 % перевищує контроль. Використання біопрепарату Біонорма Овочі, р. сприяло формуванню 3,6 штук плодів, що на 71 % більше порівняно з контролем.

Рис.3.1.

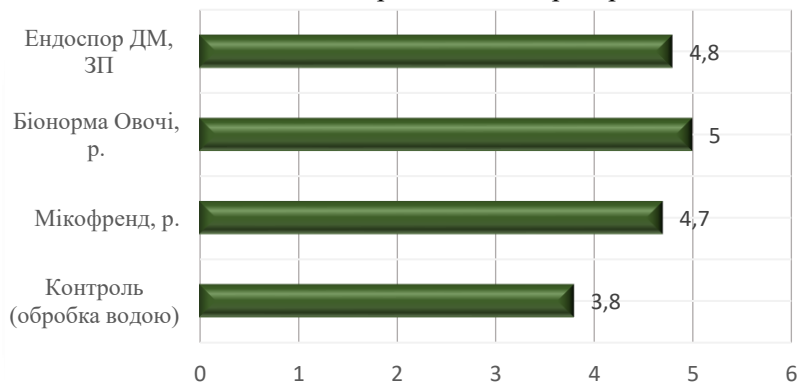
Кількість плодів з однієї рослини кабуна звичайного сорту Кримсон Світ залежно від використання біопрепаратів, штук



На контрольному варіанті середня маса плодів кабуна звичайного сорту Кримсон Світ становила 3,8 кг (рис. 3.2).

Рис. 3.2

Середня маса 1 плоду кабуна звичайного сорту Кримсон Світ залежно від використання біопрепаратів, кг

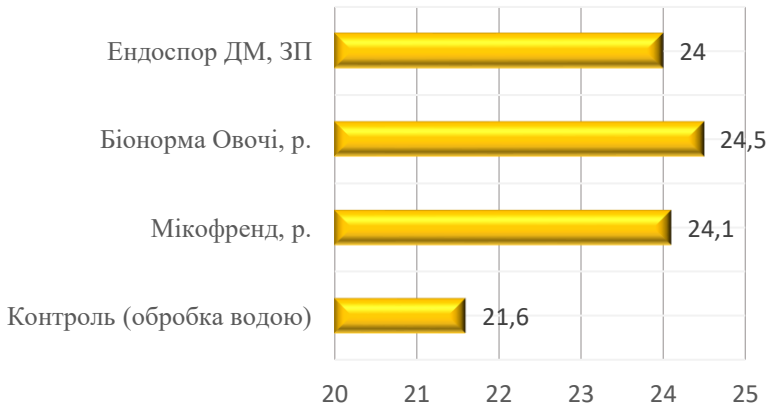


Застосування біопрепарату Мікофренд, р. забезпечує збільшення середньої маси плодів кавуна звичайного до 4,7 кг., що на 24% перевищує контроль. Під впливом біопрепарату Ендоспор ДМ, ЗП середня маса плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ зросла до 4,8 кг, що на 26,0 % перевищує контрольні показники. Використання біопрепарату Біонорма Овочі, сприяло формуванню середньої маси плодів 5,0 кг, що на 32 % більше порівняно з контролем (Додаток Ж).

На контрольному варіанті діаметр плодів сортів Кримсон Світ і Вогник становила 21,8 і 23,1 см відповідно (рис. 3.3.), (Додаток Ж).

Рис. 3.3.

Діаметр плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ залежно від використання біопрепаратів, штук



Під дією біопрепарату Ендоспор ДМ, ЗП діаметр плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ збільшився до 24,0 см, що на 11,0 % перевищує показники контролю. При застосуванні Мікофренд, р. діаметр плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ становив 24,1 см, що на 11,6 % більше порівняно з контролем. Використання біопрепарату Біонорма Овочі, р. сприяло формуванню плодів а звичайного сорту Кримсон Світ діаметром 24,5 см, що на 13,4 % перевищує контрольні значення.

Дослідженнями встановлено, що формування урожайності плодів кавуна звичайного Кримсон Світ упродовж років експерименту суттєво залежало від застосування біопрепаратів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вплив використання біопрепаратів на урожайність плодів
кавуна звичайного сорту Кримсон Світ

Варіант досліджу	Урожайність, т/га		
	середня	± до контролю	% до контролю
Контроль (обробка водою)	32,1	–	–
Мікофренд, р.	35,6	3,6	11,2
Біонорма Овочі, р.	36,2	4,1	12,8
Ендоспор ДМ, ЗП	35,9	3,8	11,8

На контрольному варіанті середня урожайність плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ становила 32,1 т/га. Під впливом біопрепарату Ендоспор ДМ, ЗП урожайність плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ зросла до 35,9 т/га, що на 11,8 % перевищує контрольні значення. При використанні Мікофренд, р. урожайність плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ становила 35,6 т/га, що на 11,2 % більше порівняно з контролем. Застосування біопрепарату Біонорма Овочі, р. забезпечило урожайність плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ на рівні 36,2 т/га, що на 12,8 % перевищує контрольні показники. (Додаток Е)

Після проведених досліджень було проведено дегустацію смакових властивостей плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ (Додаток И).

Застосування біопрепаратів сприяло підвищенню стійкості рослин кавуна до стресових факторів, зокрема посухи та нестачі поживних речовин, завдяки покращенню розвитку кореневої системи та активізації обмінних процесів у рослині. Це забезпечило більш рівномірний ріст, формування зав'язей і плодів, що в результаті призвело до підвищення урожайності та поліпшення якості плодів порівняно з контролем. Таким чином, біопрепарати є ефективним засобом стимулювання продуктивності кавуна та підвищення його адаптивних властивостей у польових умовах.

Висновки до розділу 3

1. Досліджено, що під впливом біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі, р. кількість плодів на одній рослині кавуна звичайного сорту Кримсон Світ зростала до 3,3–3,6 штук.

2. Використання біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі, р. сприяло збільшенню середньої маси плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ на 24–32% порівняно з контрольними показниками.

3. Під впливом біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі спостерігалось збільшення діаметру плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ на 11,0–13,4 % порівняно з контрольним варіантом.

4. Встановлено, що застосування біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі сприяло формуванню максимальної урожайності плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ на рівні 35,6–36,2 т/га..

ВИСНОВКИ

1. Кавун звичайний (*Citrullus lanatus*) все частіше впроваджується в нетрадиційні зони, зокрема Лісостеп України, що зумовлено високим попитом на великоплідні, солодкі та транспортабельні гібриди. У таких умовах особливого значення набуває використання біопрепаратів, які підвищують стійкість рослин і сприяють їх кращій адаптації до нових ґрунтово-кліматичних умов.

2. Встановлено, що застосування біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі, р. сприяло підвищенню біометричних показників рослин кавуна звичайного сорту Кримсон Світ. Під дією препаратів збільшувалася довжина батогів та кількість зав'язей порівняно з контролем. Біопрепарати позитивно впливали на формування плодів кавуна звичайного, оскільки збільшувалася не лише їх кількість з однієї рослини, але й середня маса та діаметр. Це підтверджує позитивний вплив препаратів на ростові процеси та формування продуктивності, забезпечуючи кращий розвиток рослин і підвищення

господарсько-цінних показників кавуна звичайного сорту Кримсон Світ.

3. Досліджено, що кількість плодів з однієї рослини кавуна звичайного Кримсон Світ збільшувалася до 3,3–3,6 штук залежно від використання біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі, р.

4. Застосування біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП та Біонорма Овочі, р. підвищує середню масу плодів кавуна звичайного Кримсон Світ до 4,7–5,0 кг, що на 24–32% більше порівняно з контролем.

5. У результаті впливу біопрепаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП і Біонорма Овочі встановлено збільшення діаметру плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ на 11,0–13,4% порівняно з контролем.

6. Під впливом біологічних препаратів Мікофренд, р., Ендоспор ДМ, ЗП і Біонорма Овочі, р урожайність плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ зросла до 35,6–36,2 т/га, що на 11,2–12,8 % перевищує контрольні значення.

7. Біопрепарати Мікофренд, Ендоспор ДМ та Біонорма Овочі відрізняються механізмами дії та спектром впливу на рослини кавуна. Мікофренд покращує живлення через мікоризацію, Ендоспор ДМ пригнічує патогени та стимулює ріст, а Біонорма Овочі забезпечує комплексне підсилення живлення й стресостійкості. У результаті усі досліджувані препарати підвищують продуктивність кавуна звичайного.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення різних комбінацій біопрепаратів для підвищення росту, врожайності та якості плодів кавуна, а також на оцінку їх впливу на стійкість рослин до стресових факторів і родючість ґрунту. Окрім того, важливо дослідити економічну ефективність застосування біопрепаратів у різних виробничих системах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Власюк О. С., Тимошук Т. М. Ефективність мікробних препаратів залежно від удобрення ячменю ярого. *Scientific Horizons*. 2018. №1(64). С. 15-22.

2. Грицак Л. Р., Кравець М. Я. Аналіз адаптивного потенціалу кавуна звичайного (*Circullus lanatus* (thunb.) matsum. et nakai) до росту в агроекологічних умовах західного регіону України. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.*, 2023. Т. 83, № 3-4. С. 78-91.

3. Димитров С. Г., Саблук В. Т. Покращення структурно-агрегатного стану ґрунту за мікоризації кореневої системи рослин сільськогосподарських культур мікоризоутворювальними грибами. *Вісник СНАУ. Серія «Агрономія і біологія»*, 2022, Вип. 2 (48), С. 59-62.

4. Крутякова В. І. Біометод – основа сталого розвитку вітчизняного землеробства. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 9 (810). С. 5-14.

5. Лимар А. О., Сніговий В. С., Кашеев О. Я. Методика селекційного процесу та проведення польових дослідів з баштанними культурами (методичні рекомендації). Київ: Аграрна наука, 2001. 132 с.

6. Лимар В. А., Шашкова Н. І., Шабля О. С. Холодняк О. Г. Шляхи інноваційного розвитку галузі баштанництва на Півдні України. *Український науковий вісник Херсонського державного університету*. 2020. Вип. 38. С. 18-24.

7. Ліннік З. П., Митенко І. М., Сергієнко О. В. Порівняльна характеристика зразків кавуна звичайного української та іноземної селекції. *Генетичні ресурси рослин*. 2021. № 28. С. 71-77.

8. Ліннік З.П., Чаюк О.О., Сергієнко О.В., Онищенко О.І. Вихідний матеріал кавуна для селекції на комплексну стійкість до хвороб. *Овочівництво і баштанництво*. Вип. 69. 2021. С. 13-23.

9. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / за ред. Г.Л. Бондаренка, К.І. Яковенка. 3 вид. Харків: Основа, 2001. 370 с

10. Наумов А. О., Лимар А. О., Способи підвищення адаптивних здатностей рослин кавуна до негативних абіотичних чинників Південного Степу. *Вісник аграрної науки*, 2019. Вип. 9. С. 21-28.

11. Остапчук М. О., Поліщук І. С., Мазур В. А. Використання біопрепаратів – перспективний напрямок

вдосконалення агротехнологій. *Сільське господарство та лісівництво*. 2015. № 2. С. 5-17.

12. Семенченко О. Л., Мельник О. В., Заверталюк В. Ф., Пастухов В. І. Вплив ущільнення посівів кабачка та кавуна на врожайність плодів в умовах Північного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 121. С. 102-108

13. Сергієнко О. В., Ліннік З. П., Лук'янчикова О. А., Вітренко Н. К. Технологія вирощування насіння кавуна (науково-практичні рекомендації). Селекційне: ІОБ НААН, 2021. 32 с.

14. Сергієнко О. В., Шабетя О. М., Ліннік З. П., Сергієнко М. Б., Повлін І. Е. Добір вихідного матеріалу кавуна за адаптивністю для селекції на придатність до вирощування за інтенсивної та органічної технологій. *Селекція і насінництво*. 2023. № 124. С. 45-55.

15. Сергієнко О. В., Могильна О. М., Ліннік З. П., Лук'янчикова О. А. Методичні підходи з використання ідентифікованого за морфологічними генами лінійного матеріалу у гетерозисній селекції кавуна. Харків. 2020. 96 с.

16. Система оптимізації живлення та захисту кавуна для інтегрованих технологій вирощування (практичні рекомендації) / за ред. О. В. Куц та ін. Селекційне: ІОБ НААН, 2021. 20 с.

17. Сич З. Д. Топ сортів кавуна для кожного регіону України. Сонце Сад. 2021. № 4. URL : [https://soncesad.com/statti/ovochi/kavuni/kavun-%E2%80%93smachni-lik-i-iz-vlasnogo-gorodu-\(zhurnal-sonczesad-%E2%84%964/2021\)](https://soncesad.com/statti/ovochi/kavuni/kavun-%E2%80%93smachni-lik-i-iz-vlasnogo-gorodu-(zhurnal-sonczesad-%E2%84%964/2021)) (дата звернення 15.10.2025).

18. Сич З. Д. Український кавун: цілюща ягода на ціну золота. Ягідник. 2021. URL : <http://www.jagodnik.info/ukrayinskyj-kavun-tsiluyushha-yagoda-na-tsinu-zolota/> (дата звернення 17.10.2025).

19. Сорти кавуна та агротехнологія вирощування насіння : рекомендації / Яровий Г. І. та ін. Харків, 2006. 16 с.

20. Тимошук Т. М., Герасимов В. І. Перспективні сорти і гібриди *Citrullus Lanatus* в Україні. *Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку* : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. Біла Церква : БНАУ, 2024. С. 116-118.

21. Тимошук Т. М., Герасимов В. І., Дереча І. М., Бредіхіна О. Г. Сучасний стан сортових ресурсів кавунів в

Україні. Захист і карантин рослин: історія і сьогодення. *Інноваційні методи захисту рослин: матеріали XXV Міжнар. наук.-практ. форуму «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій»*. Львів : ЛНУП, 2024. С. 92-95.

22. Тимощук Т. М., Давидов Д. В., Сологуб Л. В., Шульга С. Ю. Біопрепарати як інструмент регуляції стресостійкості рослин у зеленому сільському господарстві. *Сучасні технологічні аспекти виробництва зерна та переробки сільськогосподарської продукції: матеріали Міжнар. наук. конф.* Дніпро: ДУ ІЗК НААН, 2024. С. 179-181.

23. Тимощук Т. М., Дереча О. А., Солodka Л. О. Вплив сумісного застосування біологічних і хімічних засобів захисту рослин на проростання насіння і розвиток озимої пшениці. *Вісник ДАУ*. 2003. № 1. С. 266-270.

24. Титова Л. В., Сергієнко В. Г. Ефективність комплексного застосування мікробних препаратів з фунгіцидами для контролю захворювань та підвищення продуктивності овочевих культур. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2018. № 4. С. 30-41.

25. Фролов В. В., Холодняк О. Г., Рябчун В. К. Методичні рекомендації з вивчення відмінності генофонду баштанних культур (кавун, диня, гарбуз, кабачок, патисон). Херсон: Айлант, 2010. 52 с.

26. Чайка О. В., Лапа С. В., Тимощук Т. М., Грицюк Н. В. Дослідження ефективності застосування біопрепарату Мікро-1 проти хвороб ячменю ярого в умовах Полісся. *ScienceRise: Biological Science*. 2017. № 2 (5) С. 34-37.

27. Шапля О. С. Методичні підходи щодо визначення конкурентоспроможності вітчизняних сортів баштанних культур. *Таврійський науковий вісник*. 2012. Вип. 80. С. 156-161.

28. Шапля О. С., Холодняк О. Г. Організаційно-маркетинговий підхід до процесу селекції нових сортів баштанних культур в південному регіоні України. *Овочівництво і баштанництво*. 2021. Вип. 69. С. 131-139.

29. Яценко Н. В. Адаптивно-продуктивний потенціал гібридів *Citrullus lanatus* (Thunb.) matsum. & nakai у Правобережному Лісостепу України. *Подільський вісник:*

сільське господарство, техніка, економіка. Вип. 3 (48) 2025. С. 131-137.

30. Abdel-Salam E., Alatar A., El-Sheikh M.A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose. *Saudi journal of biological sciences*. 2018. Vol. 25(8). P. 1772-1780

31. Akashi K., Miyake C., Yokota A. Citrulline, a novel compatible solute in drought tolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger. *FEBS Letters*. 2001. Vol. 508, Is. 3. P. 438–442

32. Cai X., Zhao H., Liang C., Li M., Liu R. Effects and mechanisms of symbiotic microbial combination agents to control tomato *Fusarium* crown and root rot disease. *Frontiers in microbiology*. 2021. Vol. 12, P. 629793

33. Chen P., Zhang J., Li M., Fang F., Hu J., Sun Z, Zhang A., Gao X. and Li J. Synergistic effect of *Bacillus subtilis* and *Paecilomyces lilacinus* in alleviating soil degradation and improving watermelon yield. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 13. P. 1101975.

34. Devi P., Tymon L., Keinath A., Miles C. Progress in grafting watermelon to manage *Verticillium* wilt. *Plant Pathology*. 2021. Vol. 70, Iss. 4. P. 767-777.

35. Gerasko T., Tymoshchuk T., Sayuk O., Rudenko Yu., Mrynskyi I. Investigation of the response of sweet cherries to root mycorrhisation with biologics for sustainable horticulture development. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26(5), P. 76-88.

36. Jin L., Wang Q., Wang Q., Wang X., Gange, A. C. (2017). Mycorrhizal-induced growth depression in plants. *Symbiosis*. 2017. Vol. 72. P. 81-88.

37. Jumrani K., Bhatia V.S., Kataria S., Alamri S.A., Siddiqui M.H., Rastogi A. Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates the adverse effects of high temperature in soybean. *Plants*. 2022. Vol. 11. P. 2210

38. Kokkoris V., Hamel C., Hart, M.M. Mycorrhizal response in crop versus wild plants. *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14(8). P. e0221037

39. Li L., Liu K., Lan F., Xiao W., Wang B.; Zhou J., Zhang J., A Study on the Preparation of Multifunctional *Bacillus* spp.

Composite Inoculants and Their Ability to Promote Watermelon Growth. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. P. 350.

40. Tian M., Liang J., Liu S., Yu R., Zhang, X. Effects of Watermelon Cropping Management on Soil Bacteria and Fungi Biodiversity. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, P. 1010.

41. Vdovenko S., Palamarchuk I., Mazur O., Mazur O., Havrys I. (2024). Influence of biological preparations on organic cultivation of vegetable plants. *Plant and Soil Science*. 2024. Vol. 15(1). P. 9-25.

42. Yavuz N., Seymen M., Yavuz D., Kurtar E. S., Kal S., Gür A. Functional roles of plant growth-promoting rhizobacteria in ungrafted and grafted watermelons under various deficit irrigation strategies. *Agricultural Water Management*. 2025, Vol. 318, P. 109687

43. Zheng Y.-P., Global characteristics and trends of researches on watermelon: Based on bibliometric and visualized analysis, *Heliyon*, 2024. Vol. 10, Iss. 5, P. e26824.

ДОДАТКИ

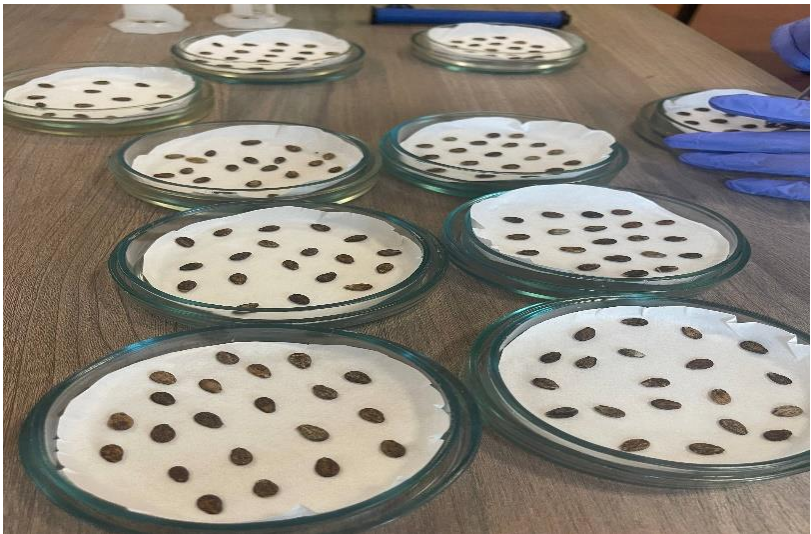
Додаток А

Насіння кавуна звичайного сорту Кримсон Світ





Додаток Б
Висівання насіння у чашки Петрі для пророщування



Додаток В

Проростки кавуна звичайного на 7 і 12 добу після висівання



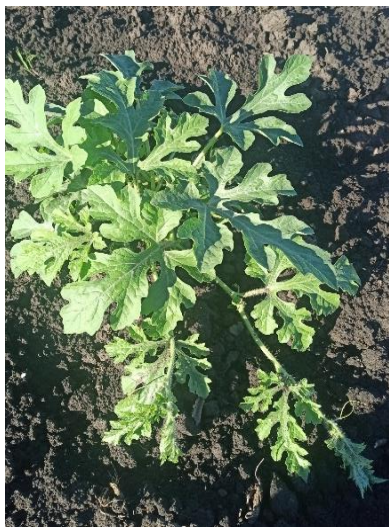
Додаток Г

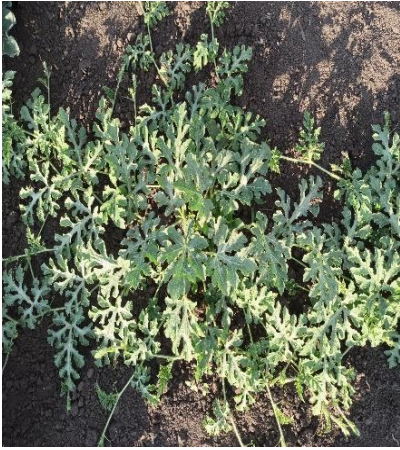
Поява перших справжніх листочків кавуна звичайного сорту Кримсон Світ





Додаток Д
**Ріст і розвиток рослин кавуна звичайного сорту
Кримсон Світ після висаджування розсади в ґрунт**





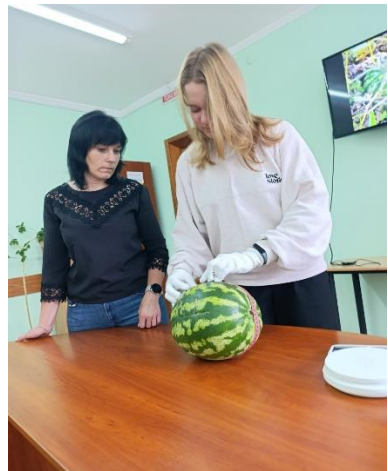
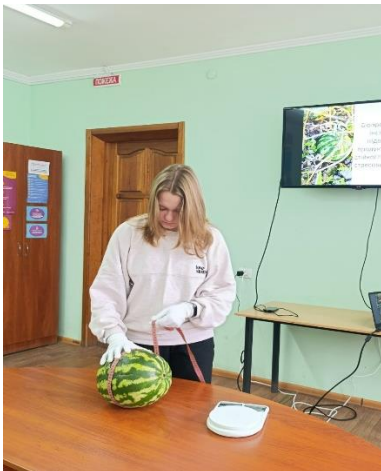
Додаток Е
Діаметр плодів кавуна звичайного сорту Кримсон
Світ залежно від використання біопрепаратів, штук



**Достигання плодів кавуна звичайного сорту
Кримсон Світ**



Додаток Ж
Контрольний варіант біометричних показників
плодів кавуна звичайного сорту Кримсон Світ
Вимірювання діаметру плоду кавуна



Вимірювання маси плоду кавуна



Додаток И

Дегустація



Господарсько цінні ознаки сорту кавуна Кримсон Світ

Показник	Характеристика сорту Кримсон Світ
Тип сорту / гібриду	Ранньостиглий, високоврожайний сорт (часто представлений у вигляді F1-гібридів)
Тривалість вегетаційного періоду	65–80 діб залежно від умов вирощування
Маса плоду	4–7 кг (за інтенсивної технології можливе збільшення)
Форма плоду	Округла або овально-округла
Забарвлення шкірки	Темно-зелені смуги на світло-зеленому фоні
Забарвлення м'якуша	Насичено-червоне, соковите
Смакові якості	Високі, солодкий смак із високим вмістом цукрів
Товщина шкірки	Середня – забезпечує хорошу транспортабельність
Стійкість до хвороб	Відносна стійкість до фузаріозу та антракнозу
Урожайність	30–45 т/га залежно від технології вирощування та умов
Господарське використання	Споживання у свіжому вигляді, переробка, придатність до транспортування на великі відстані
Адаптивність	Добре адаптується до умов Лісостепу та степових регіонів
Транспортабельність	Висока, завдяки щільній м'якоті та достатній товщині шкірки

Ботаніко-біологічна характеристика сорту кавуна Кримсон Світ у вигляді таблиці

Показник	Характеристика сорту Кримсон Світ
Життєва форма	Однорічна трав'яниста рослина родини Гарбузові (Cucurbitaceae).
Тип рослини	Сильноросла, з добре розвиненим головним батогом та бічними пагонами.

Коренева система	Потужна стрижнева, заглиблюється до 1,5 м; забезпечує стійкість до посухи.
Стебло	Довжина 2–3 м, добре облиственене, опушене, гнучке.
Листки	Великі, глибокорозсічені, темно-зелені; добре пристосовані до жарких умов.
Квітки	Одностатеві; рослина однодомна. Запилення перехресне, переважно комахами.
Тривалість вегетації	70–80 діб від сходів до досягання.
Основні фази розвитку	Сходи → батоги → цвітіння → зав'язування плодів → налив плодів → дозрівання.
Характеристика плода	Округло-овальний; маса 8–12 кг (інколи більше при оптимальних умовах).
Забарвлення кори	Світло-зелене з темно-зеленими смугами; гладка, середньої товщини, міцна, транспортабельна.
М'якуш	Яскраво-червоний, дуже соковитий; дрібнозернистий; високі смакові якості.
Цукристість	Висока –10–12 % та більше, залежно від умов вирощування.
Насіння	Дрібне або середнє, темно-коричневе з чорними краплями.
Вимоги до тепла	Дуже теплолюбний гібрид; оптимум +25...+30 °С. Погано переносить зниження температури.
Вимоги до світла	Світлолюбний; потребує відкритих, сонячних ділянок без затінення.
Вимоги до вологи	Посухостійкий; надлишок води знижує цукристість і підвищує ризик хвороб.
Вимоги до ґрунту	Найкраще росте на супіщаних та легких піщаних ґрунтах; потребує доброго прогрівання та аерації.
Стійкість до хвороб	Помірно стійкий до фузаріозу та антракнозу; добре реагує на біопрепарати мікробного походження.
Господарська цінність	Висока врожайність, відмінні смакові якості, добра транспортабельність і лежкість; популярний для свіжого ринку.

Характеристика досліджуваних біопрепаратів

Показник	Мікофренд	Ендоспор ДМ	Біонорма Овочі
Тип препарату	Мікоризний біопрепарат	Бактеріальний біопрепарат	Комплексний біопрепарат для овочевих культур
Основні мікроорганізми	Арбускулярні мікоризні гриби (AMF)	Спорові бактерії <i>Bacillus spp.</i>	Азотфіксуючі та фосфатмобілізуючі бактерії
Механізм дії	Формує мікоризу, покращує поглинання води та елементів живлення	Пригнічує патогени, стимулює ріст і розвиток кореневої системи	Активізує живлення рослин, підсилює імунітет і стресостійкість
Основний ефект	Зміцнення кореневої системи, покращення росту за стресу	Зменшення інфекційного навантаження, підвищення життєздатності рослин	Інтенсивне формування вегетативної маси та плодів
Вплив на продуктивність (за дослідженням)	Збільшення середньої маси плодів до 4,7 кг та урожайності до 35,6 т/га	Підвищення середньої маси до 4,8 кг та урожайності до 35,9 т/га	Найвищі показники: маса плодів 5,0 кг та урожайність 36,2 т/га
Переваги	Підвищує посухостійкість і доступність фосфору	Ефективний проти ґрунтових патогенів, безпечний	Комплексний вплив, значне збільшення маси й урожайності
Рекомендоване застосування	На початкових етапах росту для формування мікоризи	Для профілактики стресів і хвороб протягом вегетації	У системах інтенсивного вирощування для максимізації врожаю

2.2. Пугачова Ангеліна, здобувачка освіти Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей», науково-дослідницька робота «LI-FI: технологія бездротового зв'язку через світло»

Науково-дослідницька робота здобувачки професійної освіти Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей» Пугачової Ангеліни Анатоліївни «LI-FI: технологія бездротового зв'язку через світло», отримала **2 місце у II етапі Конкурсу**

Відділення: інженерія та матеріалознавство

Секція: інформаційно-телекомунікаційні системи та технології

Педагогічний керівник: Шовкун Сергій Борисович, викладач фізики та астрономії Державного навчального закладу «Малинський професійний ліцей»

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Wi-Fi ТА Li-Fi ПЕРЕДАЧІ	6
1.1. Поширення електромагнітної хвилі	6
1.2. Принцип передачі інтернет речей	7
1.3. Порівняльна характеристика Wi-Fi та Li-Fi	10
1.4. Перспективи використання Li-Fi мереж у повсякденному житті та промисловості	13
1.5. Принцип побудови мереж Li-Fi	19
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. НАПРЯМКИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ITS	25
2.1. Застосування технологій Li-Fi у закладах освіти	25
2.2. Практична реалізація VLC у ITS	29
2.2. Прототип світлодіодних світлофорів	28
2.3. Системи світлодіодних передавачів та камери-приймача	29

2.4. Оптична система зв'язку V2V	31
Висновки до розділу 2	34
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТКИ	43

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Wi-Fi	– технологія бездротового зв'язку, яка дозволяє електронним пристроям підключатися до Інтернету або обмінюватися даними між собою без використання дротів;
Li-Fi	– технологія бездротового зв'язку, яка використовує видиме світло для передачі даних;
VLC - Visible Light Communications	– технологія бездротового оптичного зв'язку, яка використовує видиме світло (спектр 400–700 нм);
ІЧ	– інфрачервоне випромінювання;
РЧ	– радіочастотне випромінювання;
VR	– віртуальна реальність;
ITS	– сукупність технологій та методів, які застосовуються для надання інноваційних послуг, пов'язаних з різними видами транспорту та управлінням рухом;
IoT	– концепція мережі, яка складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв оснащених вбудованими датчиками, програмним забезпеченням та іншими технологіями;
BLE	– бездротова Bluetoothтехнологія.
Mesh-мережі	– топологія комп'ютерної мережі, в якій кожен вузол (або пристрій) у мережі з'єднаний з іншими вузлами, виконуючи роль не лише кінцевого пристрою, але й ретранслятора (комутатора);

WiGig	– стандарт бездротового зв'язку, розроблений для забезпечення надвисоких швидкостей передачі даних на коротких відстанях;
AR-навігація	– технологія, яка накладає віртуальні елементи безпосередньо на зображення реального світу;
GMP	– система стандартів і правил, що регулюють виробництво та контроль якості продукції;
UAV	– Unmanned Aerial Vehicle, що українською означає Безпілотний Літальний Апарат (БПЛА);
RF-джемінг	– навмисне випромінювання потужного радіочастотного (РЧ) сигналу, який перешкоджає або блокує роботу іншого РЧ-зв'язку чи системи;
Swarm	– автономна повітряна інтелектуальна система;
Локальний AI-	– система штучного інтелекту;
V2X	– технологія, яка дозволяє автомобілям обмінюватися інформацією в реальному часі;
V2V	– технологія яка дозволяє автомобілям обмінюватися інформацією про їхнє місцезнаходження, швидкість, напрямок руху, гальмування.

ВСТУП

Актуальність дослідження. У світовому бездротовому зв'язку Wi-Fi являється основною технологією багато років. Проте в останні роки з'явилась нова технологія бездротової передачі даних. Ця технологія називається Li-Fi, скорочено від Light Fidelity. Li-Fi – це технологія бездротового зв'язку, яка використовує видиме світло для передачі даних, на відміну від Wi-Fi, який використовує радіохвилі. Ця технологія привертає все

більше уваги в останні роки завдяки своїм потенційним перевагам над традиційною технологією Wi-Fi.

Переваги Li-Fi технології:

– Li-Fi технології можуть передавати інтернет дані зі швидкостями набагато більшими ніж Wi-Fi; теоретично швидкість може сягати до 224Гбіт/с.;

– Li-Fi технології безпечніші ніж Wi-Fi, це обумовлюється тим, що світло не може проходити крізь стіни, а це не дає можливості перехоплення даних хакерами;

– Wi-Fi легко порушити іншими пристроями, як на Li-Fi не впливають електромагнітні перешкоди;

– Li-Fi технології мають низьку енергоефективність, тому що використовує світлодіодні лампи.

Недоліки Li-Fi технології:

– сигнали Li-Fi не можуть проходити крізь стіни, тому мають обмежений радіус дії;

– у зв'язку з тим, що технології Li-Fi використовують світло, то необхідна чітка пряма видимість світла;

– дана технологія новітня, тому вартість обладнання на даному етапі досить висока на відміну від обладнання технологій Wi-Fi;

– обладнання технології Li-Fi наразі не сумісний з більшістю існуючих пристроїв, а це означає, що потрібно буде розробляти і встановлювати нові пристрої, щоб скористатися перевагами технології Li-Fi [10, с. 12-15].

Мета дослідження: теоретичне дослідження сфер застосування Li-Fi технологій у різноманітних сферах народного господарства.

Об'єкт дослідження: технології бездротового доступу

Предмет дослідження: технологія Li-Fi

Завдання дослідження:

– створити порівняльну характеристику Li-Fi з іншими технологіями бездротового доступу;

– провести аналіз стандарту для мереж Li-Fi;

– описати принцип побудови мереж Li-Fi;

– проаналізувати напрямки практичної реалізації ITS.

Методи дослідження: аналіз, систематизація та узагальнення даних з різних джерел інформації, синтез

отриманих наукових знань, описати та моделювати експериментальний метод.

Практичне значення. Результати дослідження можуть використовуватися викладачами інформаційних технологій, фізики на уроках, гурткової роботі, у виховних заходах.

Наукова новизна. Доведено що Li-Fi не замінить Wi-Fi глобально, але стане ключовим доповненням у нішах високої безпеки, швидкості та локальності, вирішуючи кризу радіочастотного спектру та сприяючи еволюції IoT та C-ITS до більш надійних, енергоефективних і безпечних систем.

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Список використаних джерел налічує 36 найменувань.

РОЗДІЛ 1 Wi-Fi ТА Li-Fi ПЕРЕДАЧІ

1.1. Поширення електромагнітної хвилі

Електромагнітна хвиля є процесом поширення змінного електромагнітного поля у просторі. Поширення електромагнітної хвилі базується на взаємозв'язку між електричним та магнітним полями, описаному в рівняннях Максвелла. Хвиля виникає внаслідок прискореного руху електричних зарядів (наприклад, у провіднику зі змінним струмом або в антені). Змінне електричне поле породжує змінне вихрове магнітне поле. У свою чергу, це змінне магнітне поле породжує змінне вихрове електричне поле. Ці взаємні перетворення електричного та магнітного полів підтримують одне одного і поширюються у просторі, формуючи єдине змінне електромагнітне поле – електромагнітну хвилю [1, с. 70-100].

Електромагнітні хвилі є поперечними. Це означає, що коливання вектора напруженості електричного поля і вектора магнітної індукції відбуваються у взаємно перпендикулярних площинах, і обидва ці вектори перпендикулярні до напрямку поширення хвилі. У вакуумі всі електромагнітні хвилі поширюються з однаковою максимальною швидкістю, що

дорівнює швидкості світла ($v_{\text{світла}} = 3 \cdot 10^8$ м/с). На відміну від механічних хвиль, для поширення електромагнітних хвиль не потрібне матеріальне середовище (середовище навіть сповільнює їх). Вони найкраще і найшвидше поширюються у вакуумі. Електромагнітна хвиля переносить енергію, яка складається з енергії електричного та магнітного полів, через простір [1, с. 75-105].

1.2. Принцип передачі інтернет речей

Інтернет речей (IoT) – це концепція мережі, що складається із взаємопов'язаних фізичних пристроїв (речей), які оснащені вбудованими сенсорами, програмним забезпеченням та іншими технологіями. Електромагнітна хвиля передає дані в Інтернеті речей (IoT) шляхом використання різних технологій бездротового зв'язку. Принцип полягає в тому, що цифрові дані (інформація, зібрана сенсорами, або команди для виконавчих пристроїв) кодується в радіохвилі або мікрохвилі (різновиди електромагнітних хвиль), які потім поширюються у просторі та приймаються іншими пристроями.

Основні принципи передачі даних.

1. *Кодування даних:* сенсорний пристрій або шлюз IoT перетворює цифрові дані в електричні сигнали (наприклад, показники температури, тиску, введення команди увімкнути/вимкнути).

2. *Модуляція:* дозволяє «закодувати» низькочастотний інформаційний сигнал (наприклад, звукові коливання) у високочастотну несучу хвилю. Це робиться шляхом зміни її амплітуди, частоти або фази. Це дозволяє «записати» інформацію на хвилю.

3. *Випромінювання:* антена пристрою випромінює цю модульовану електромагнітну хвилю в простір.

4. *Поширення:* хвиля поширюється від передавача до приймача.

5. *Прийом та демодуляція:* приймальна антена вловлює хвилю. Приймач пристрою виконує демодуляцію – виділяє початковий електричний сигнал (дані) з прийнятої електромагнітної хвилі.

6. *Декодування*: електричний сигнал декодується назад у цифрову інформацію, яку вже може обробити комп'ютер, хмарна платформа або інший пристрій [2].

Принцип передачі даних в Інтернеті речей (IoT) базується на взаємодії чотирьох основних компонентів: пристроїв, мережі, системи обробки даних та застосунків (додатків):

1. *Збір даних.*

«Речі» (пристрої IoT), оснащені сенсорами (датчиками) та виконавчими пристроями, збирають інформацію про навколишнє середовище або власний стан. Ці фізичні явища перетворюються на цифрові дані.

2. *Передача даних (Мережа).*

Зібрані дані передаються через мережу до місця подальшої обробки (найчастіше – до хмарного сховища або локального шлюзу). Для зв'язку використовуються різні протоколи та технології, вибір яких залежить від відстані, швидкості, енергоспоживання та ресурсів пристрою.

3. *Обробка та аналіз даних (Сервер/Хмара).*

Отримані дані надходять до шлюзів, а потім – до хмарних або локальних серверів (платформ IoT). Там вони фільтруються, об'єднуються в єдине ціле, зберігаються та аналізуються спеціальним програмним забезпеченням.

4. *Дія (Зворотний зв'язок) [3].*

На основі результатів аналізу система автоматично або через команду користувача генерує зворотний сигнал. Цей сигнал відправляється назад до виконавчих пристроїв (наприклад, «увімкнути світло», «відрегулювати температуру», «скоригувати полив»). Виконавчий пристрій отримує команду і виконує відповідну фізичну дію, завершуючи цикл.

Таким чином, принцип передачі даних в IoT – це безперервний цикл «Збір → Передача → Обробка → Дія», що забезпечує автоматизовану взаємодію фізичних об'єктів без постійного втручання людини.

Технології бездротового зв'язку в IoT.

Інтернет речей використовує широкий спектр бездротових технологій, які використовують електромагнітні хвилі на різних частотах У таблиці 1 представлено порівняльну характеристику технологій бездротового зв'язку для IoT [4].

Таблиця 1.1.

Порівняння технологій бездротового зв'язку для IoT.

Технологія	Діапазон частот (приклади)	Призначення в IoT
Wi - Fi	2.4 ГГц, 5 ГГц	Підключення до локальної мережі та Інтернету. Підходить для пристроїв, що потребують високої пропускну здатності (камери, шлюзи).
Bluetooth	2.4 ГГц	Зв'язок на коротких відстанях (персональні пристрої, розумні замки, маячки). BLE енергоефективний.
Cellular (Стільниковий зв'язок)	Різні ліцензовані діапазони	Зв'язок на великих відстанях, підключення до Інтернету без локальної мережі (моніторинг активів, розумні міста).
ZigBee	2.4 ГГц (ZigBee), 868/915 МГц (Z - Wave)	Локальні мережі з низьким енергоспоживанням (Mesh-мережі) для розумного будинку та промисловості.
LPWAN	Неліцензовані субгігагерцові діапазони (наприклад, 868 МГц)	Зв'язок на дуже великих відстанях при дуже низькій швидкості передачі даних і мінімальному енергоспоживанні (моніторинг, сільське господарство).

Таким чином, електромагнітні хвилі є фізичним носієм для передачі цифрової інформації між мільярдами пристроїв IoT.

1.3. Порівняльна характеристика Wi-Fi та Li-Fi

Технологія Wi-Fi відіграє ключову роль у сучасній цифровій інфраструктурі. Проте, незалежно від географічного розташування, користувачі періодично стикаються з проблемами стабільності підключення до мережі Інтернет.

Li-Fi – тип бездротового з'єднання, який може бути в 100 разів швидшим, ніж Wi-Fi. Li-Fi – це технологія бездротової оптичної мережі, яка використовує світлодіоди для передачі

даних. Використання світла для передачі даних може принести ряд переваг. Таких як робота у районах де заборонено застосування Wi-Fi, лікарнях, роботі на більш високій пропускній можливості, збільшення швидкості передачі даних, заводах хімічного виробництва [5].

Принцип роботи Li – Fi.

Li - Fi – це система Visible Light Communications-VLC – (комунікації у видимому світлі), що передає бездротовий Інтернет-зв'язок з дуже високою швидкістю. Ця технологія дозволяє світлодіодній лампі випромінювати імпульси світла, які не можна виявити за допомогою людського ока, і всередині цих випромінюваних імпульсів дані можуть переходити до приймачів і від них. У додатку А показано принцип роботи Li-Fi мережі.

Потім приймачі збирають інформацію та інтерпретують передані дані. Це концептуально схоже на розшифровку коду Морзе, але значно швидше – мільйони разів на секунду. Швидкість передачі Li - Fi може перевищувати 100 Гбіт/с, в 14 разів швидше, ніж WiGig. На відміну від традиційного Wi-Fi, який використовує діапазони 2,4 ГГц та 5 ГГц, WiGig працює у неліцензованому діапазоні 60 ГГц. WiGig ідеально підходить для завдань, що вимагають надшвидкої передачі великих обсягів даних на короткій відстані [6].

Дані фіксуються на модульованих частотах світла твердотілого світлодіодного джерела світла, а потім передаються та приймаються пристроями з підтримкою Li-Fi. Світлочутливий детектор демодулює світловий частотний сигнал і перетворює його назад в електромагнітний потік даних, це дозволяє швидше, ніж будь-коли, більш безпечно, двонаправлене бездротове спілкування.

У містах вуличні світильники забезпечують передачу інтернету пішоходам, транспортним засобам та різноманітним елементам інфраструктури. Технологія Li-Fi незабаром інтегрується в системи розумних будинків. Прогнозується, що майбутня автоматизація домогосподарств значною мірою буде залежати від Li-Fi завдяки високій швидкості передачі даних та підвищеному рівню безпеки. Споживання бездротових даних щороку зростає. Це означає, що радіочастотний простір повільно стає насиченим, що призведе до явища кризового спектру. Кризовий спектр – це потенційна відсутність достатнього

бездротового частотного діапазону, необхідного для підтримки зростаючої кількості споживчих пристроїв, а також різних державних та приватних секторів використання радіочастот у широкому діапазоні, виділених для різних типів бездротового зв'язку [7].

Професор кафедри мобільного зв'язку в Единбургському університеті Гаральд Хаас (Додаток Б), вважається засновником технології Li-Fi. Він ввів термін Li-Fi, який означає точність світла, коли він просував цю технологію у своїх TED Global talk 2011 та допоміг запустити компанію з її продажу. TED Global talk – це виступ (лекція) з конференції TEDGlobal, яка є однією з міжнародних конференцій під егідою некомерційної організації TED (Technology, Entertainment, Design – Технології, Розваги, Проекти).

Li-Fi може бути застосований у системах контролю руху, використовуючи фари автомобіля, або на хімічних заводах, де радіочастота занадто небезпечна і може спричинити іскри антени. Співзасновник компанії Хаас називається pureLiFi, раніше pureVLC – фірма виробника обладнання, створена для комерціалізації продуктів Li-Fi для інтеграції з існуючими системами світлодіодного освітлення [4; 7; 8; 13].

Зв'язок VLC має деякі переваги в порівнянні з традиційним радіочастотним (РЧ) і інфрачервоним (ІЧ) зв'язком. Основною перевагою VLC є неліцензований і майже необмежений діапазон частот 400 ТГц для зв'язку. ІК має таку ж широку смугу частот, як і VLC, але вся смуга РЧ має ширину всього 300 ГГц, вона строго обмежена і регулюється. Використання більш високих радіочастот також має недолік, що полягає в зменшенні відстаней між лініями зв'язку, що впливає на придатність цих частот в певних програмах, таких як висока мобільність. Ще однією перевагою VLC є низьке енергоспоживання і низькі витрати на впровадження при використанні ламп освітлення для VLC. ІЧ і РЧ зв'язок вимагають власних базових станцій і споживання енергії в них. Найбільша різниця між радіочастотами в інфрачервоних і видимих променях – це поширення через перешкоди. РЧ може забезпечувати з'єднання через перешкоди, в той час як VLC і ІЧ можуть забезпечувати безпечні високошвидкісні з'єднання з користувачами в певній галузі. Це тому, що покриття і

мобільність обмежені в VLC і ІК-зв'язку. РЧ зв'язок також страждає від електромагнітних завад (ЕМІ), тоді як VLC і ІЧ можуть постраждати від навколишнього освітлення. При порівнянні ризиків для здоров'я технології РЧ можуть мати більше потенційних ризиків для здоров'я, ніж ІЧ і VLC [8].

Wi-Fi, що означає Wireless Fidelity, – це назва технології бездротових мереж, яка використовує радіохвилі для створення бездротових мережевих з'єднань, надання доступу до Інтернету або передачі даних. Коли на антену подається струм радіочастоти (РЧ), створюється електромагнітне поле, яке поширюється через будь-який простір. Це створює точку доступу, в якій користувачі можуть підключитися та отримати доступ. Ці точки доступу доступні на відстані від 20 до 50 метрів. Однак для підключення до точки доступу користувачеві потрібно буде встановити адаптер бездротової мережі на пристрій доступу. Wi-Fi працює в радіочастотному спектрі. Радіоспектр – частина електромагнітного спектра, що має частоти від 3 Гц до 3000 ГГц. Хвилі, що випромінюються в цьому діапазоні частот, що називаються радіохвилями, широко використовуються, особливо в телекомунікаціях, завдяки чому вони схильні до перешкод, що виникають на різних частотах.

Wi-Fi має багато недоліків. Підключення до Wi-Fi, як правило, не є безпечним. Її недостатня безпека, як правило, пояснюється широким діапазоном сигналів, що дозволяє доступ до мережі в радіусі від 20 до 50 метрів. Це дозволяє іншим доступ до мережі, поки вони залишаються в межах досяжності. Навіть коли з'єднання захищено паролем, інші можуть спробувати зламати мережу, залишаючи вразливими всі приватні дані. Щоб протистояти цьому, більшість застосовують складні методи, що використовують високі технології для захисту своїх даних. Однак такі методи мають і свої слабкі сторони, які можна використовувати для отримання доступу. Вони також дуже дорогі в реалізації. Ще одним недоліком Wi-Fi – з'єднань є те, що сигнали, як правило, ненадійні. Це тому, що радіочастоти все ще піддаються різним зовнішнім перешкодам. Ці перешкоди можуть спричинити різні проблеми підключення, такі як забезпечення слабких сигналів, поганий прийом або навіть втрата зв'язку. Додайте до цього той факт, що Wi-Fi-з'єднання за своєю суттю повільніше, ніж дротові. Зазвичай бездротові з'єднання мають

швидкість від 1 до 54 Мбіт/с, тоді як дротові з'єднання мають швидкість 100 Мбіт/с і вище [3-5; 13].

На відміну від радіохвиль, Li-Fi використовує видиме світло. Це дозволяє Li-Fi отримувати доступ до більшого діапазону доступних частот, оскільки спектр видимого світла в 10 000 разів більший, ніж весь радіочастотний спектр. Спектр видимого світла охоплює частоти від 430 000 до 770 000 ГГц, а кольори – від ультрафіолетового майже до інфрачервоного [4; 7; 13].

1.4. Перспективи використання Li-Fi мереж у повсякденному житті та промисловості

Li-Fi (Light Fidelity) – це технологія бездротового зв'язку на основі видимого світла (від LED-ламп), яка передає дані на швидкостях до 100 Гбіт/с. На 2025 рік вона все ще вузько направлена (не заміна Wi-Fi), але має великий потенціал у сценаріях з високими вимогами до безпеки, швидкості та стійкості до перешкод. Головні переваги: безперешкодність (світло не проникає стінами), низька латентність (час, який проходить з моменту відправлення запиту) і енергоефективність, але є і мінуси: обмежене покриття (10-20 м) та чутливість до зовнішнього світла.

Перспективи використання Li-Fi:

1. Перспективи в повсякденному житті (побут і сервіси)

Li-Fi вже тестують у повсякденних сценаріях, де Wi-Fi «забивається» або потрібна приватність. Розвиток йде повільно, але до 2030 прогнозують 1 млрд пристроїв (за даними ABI Research – глобальна аналітична компанія, яка займається дослідженням інноваційних технологій та надає стратегічні консультації).

– *Розумний дім і офіс*: LED-лампи як «роутери» – інтернет на 10 Гбіт/с без Wi-Fi, для 4K – стрімінгу чи VR. У квартирах – приватність (сусіди не «підслухають»). Тести в Індії (2024): 50 % швидше від Wi - Fi.

– *Торгівля та навігація*: у магазинах – Li-Fi для «індор-позиціонування» (система позиціонування всередині приміщень), працює як GPS, але всередині, точність 10 см. Клієнти сканують

лампу смартфоном – отримують персональні пропозиції чи мапу. Приклад: ІКЕА (шведська корпорація із швидко збірних меблів) тестує в 2025 для AR-навігації.

– *Транспорт і авто*: у машинах – фари як Li-Fi для V2X (зв'язок авто з авто/інфраструктурою). У метро/автобусах – швидкий інтернет без перешкод від металу. Тести проводили Audi (2025): 1 Гбіт/с для оновлення ПЗ (програмне забезпечення). [3-6, 13]

2. *Перспективи в промисловості*

Тут Li-Fi – «темна конячка», бо стійка до перешкод (метал, волога, пил). За прогнозами Marketsand Markets (компанії, що займається дослідженням ринку та конкурентною розвідкою у 2025), ринок Li-Fi в промисловості зросте на 70 % до 2030 року.

– *Виробництво та фабрики*: проводились дослідження у цехах (виробництво гранул) – передача даних з датчиків ОЕЕ (які фіксують температуру, кількість пилу) з допомогою Li-Fi мереж швидкість передачі на 10 Гбіт/с більша та відсутність радіоперешкод. Також проводились дослідження у компанії Siemens (2024) – Li-Fi для IoT в автомобільному виробництві, зменшення лагів (затримка або відставання у роботі комп'ютерної програми) на 80 %.

– *Фармацевтична і харчова промисловість*: проводили дослідження Li-Fi мереж у стерильних зонах GMP (класи A-D) – моніторинг процесів роботи сита, чоперів (подрібнювачів). На роботу даного обладнання впливає радіовипромінювання, що заважає його роботі. Також проводили тести у компанії Pfizer (2025): передача масивів даних з HPLC – аналізаторів (прилад, що використовується для проведення високоефективної рідинної хроматографії), датчики ОЕЕ (прилад для автоматизованого збору даних, необхідних для розрахунку показника Загальної Ефективності Обладнання) – ефективність роботи обладнання зросла на 15%.

– *Нафто-газова промисловість та шахти*: дослідження проводились у вибухонебезпечних зонах (ATEX) – Li-Fi мережі передавали швидкісний інтернет без загрози вибуху (на антенах Wi-Fi передавачів може виникнути іскровий розряд, що призведе до вибуху). Дослідження проводили в компанії Shell (2025) – датчики в свердловинах, глибина покриття мережі 20 м

без кабелів та загрози виникнення іскрового розряду [4, 7, 9, 12-13].

– *Логістика та склади*: на складах використовують LED – світильники для трекінгу товарів (процес моніторингу переміщення вашого замовлення, починаючи від моменту його відправлення продавцем чи інтернет-магазином і закінчуючи доставкою до вас або у відділення пошти/кур'єрської служби). Тестування проводила компанія Amazon (2025) для роботів - точність позиціонування 5 см. [4; 9; 12-13].

Чому Li-Fi стійке до перешкод (метал, волога, пил)?

Заявляю «стійке до перешкод» для Li-Fi (на відміну від Wi-Fi) не означає «непроникне для всього», а радше «менш чутливе до типових RF-перешкод» (RF-перешкоди, це радіочастотні перешкоди - по суті електронний «шум», який накладається на корисний сигнал, спотворюючи або повністю блокуючи його). Радіохвилі Wi-Fi у свою чергу, реагують на метал/вологу/пил сильніше на відміну від Li-Fi. Li-Fi використовує видиме світло (LED-лампи), яке поводиться інакше, ніж радіохвилі. Давайте спробуємо розібратись по пунктах, як це працює і які є «плюси» та «мінуси» на основі фізики та тестів.

1. Метал (машини, стіни, обладнання).

– Wi-Fi: радіохвилі відбиваються від металу (як у цеху з грануляторами), створюючи «мертві зони» або інтерференцію – сигнал слабшає на 50-80 %.

– Li-Fi: світло відбивається від металу (як дзеркало), але в замкненій зоні (кімната 10 м) це не заважає – сигнал прямує прямо (line-of-sight). У промисловості (фабрики) Li-Fi передає дані з датчиків на металевих конструкціях без втрат, бо не «розсіюється» на відміну від радіохвиль.

– Стійкість: 90-95 % ефективність у металевих середовищах (тести проводила компанія Siemens у 2024). Мінус: якщо метал блокує пряму видимість – сигнал гасне.

2. Волога (пара, конденсат, вологе повітря).

– Wi-Fi: радіохвилі поглинаються водою (H₂O резонує на частоті 2.4 ГГц), сигнал падає на 30-50 % у вологих зонах (як СІР-очищення в фармацевтичній промисловості).

– Li-Fi: світло (видимі хвилі 400-700 нм) проходить через сухе/помірно вологе повітря без значних втрат (абсорбція <5% при RH – відносна вологість – 60 %). У лабораторних тестах

(Edinburgh University, 2025) Li-Fi тримає 8 Гбіт/с у 80 % вологості.

– *Стійкість*: Краще для вологих цехів (грануляція з binder'ом), бо світло не «розсіюється» водяною парою, як радіохвилі. Мінус: сильний туман/дощ блокує (але це не для приміщень).

3. Пил.

– *Wi-Fi*: пил (особливо провідний, як від добрив) розсіює/поглинає радіохвилі, сигнал слабшає на 20-40 % (явище інтерференції).

– *Li-Fi*: світло розсіюється пилом (Rayleigh scattering), але в контрольованій зоні (пряма видимість 5-10 м) втрати мінімальні (<10% при 10 мг/м³). У тестах для промисловості (pureLiFi, 2025) Li-Fi передає 5 Гбіт/с у запиленому середовищі (фабрика), бо частинки >1 мкм не сильно впливають на видимі хвилі.

– *Стійкість*: при густині повітря 70-80 г/м³ – з локальною витяжкою (циклони) Li-Fi працює стабільніше Wi-Fi, бо світло «проходить» через пил, як сонце через туман. Мінус: високий пил блокує на 30-50% (рекомендують НЕРА-фільтри перед зоною) [4; 7; 13].

Чи можна використовувати Li-Fi для управління дронами?

Так, Li-Fi (Light Fidelity) вже активно досліджується та тестується для управління дронами (UAV – unmanned aerial vehicles), особливо в сценаріях, де потрібна висока швидкість передачі даних, стійкість до перешкод (радіочастот) і безпека. Технологія не замінить традиційний Wi-Fi чи радіозв'язок повсюдно (через обмежене покриття – 10-20 м і чутливість до світла), але у вузьких колах застосування – це перспективний інструмент. Основна ідея: LED-лампи на дроні чи базовій станції передають дані світлом, що дозволяє «масивну» комунікацію (відео, сенсори) без інтерференції від металу/вологи.

Перспективи використання Li-Fi у дронах. Дану перспективу представлено у додатку В.

«Матка» дрон. Ідея з сильно захищеною «маткою»-дроном (mother drone) з власним інтелектом, яка передає Li-Fi сигнал рою дронів (swarm) – це один з найперспективніших підходів для управління роями UAV (unmanned aerial vehicles). Це

не фантастика, а вже тестується в дослідженнях 2024-2025 років, де центральний дрон діє як «координатор» або «хаб», передаючи дані через Li-Fi для швидкої і безпечної комунікації [19-23].

Позитивні характеристики.

– *Централізований контроль з автономією:* «Матка» – це захищений хаб (з AI для обробки даних, як нейромережа для маршрутизації), який передає команди рою (позиція, сенсорні дані, синхронізація). Li-Fi забезпечує високу швидкість (1-10 Гбіт/с) і низьку латентність (<1 мс), що критично для рою (10-100 дронів), де Wi-Fi «забивається» інтерференцією.

– *Захист:* «Матка» згортається в панцир (металевий корпус, анти-РЕБ - екран), з резервними каналами (акустика для дальності). Рій – «розподілений» (кожен дрон має локальний AI для автономії, якщо сигнал згасне).

– Переваги для рою: 1) швидкість і об'єм даних; 2) передача масивів (відео, сенсори ОЕЕ – подібні) на 100-х швидше; 3) безпека: світло не просочується за зону, стійке до RF-джемінгу (РЕБ глушить радіохвилі, але не світло); 4) енергія: LED на «матці» – низьке споживання енергії (5-10 Вт), також рій «спить» між сигналами.

Згідно з дослідженнями 2025 року, такий підхід уже тестують для роїв у військових і морських операціях [19-23].

Реалізація даного напрямку застосування Li-Fi.

1. Архітектура.

– Матка: центральний дрон (розмір 1-2 м, маса 10-50 кг) з AI (нейромережа для планування рою, як у SWARM – протоколі), LED – джерелом (синє світло для підводних, 450 нм). Захист: антилазерні покриття, резервна акустика.

– Рій: 10-50 дронів (розмір 0.5 м, маса 1-5 кг), кожен з фотодіодом - ресивером і локальним AI (для автономної навігації, якщо Li-Fi згасне). Дрон «ловить» сигнал від «матки» і ретранслює рою (relay mode).

– Сигнал: мерехтіння LED на 1000 + Гц – дані передають зі швидкістю 1-5 Гбіт/с (команди, відео, сенсори). Дальність: 10-30 м у повітрі, 5-20 м під водою.

2. Тестування 2025 року.

– SWARM-протокол: «Матка» координує рій через Li-Fi для одночасної передачі даних (RF + Li-Fi), в морських і повітряних операціях.

- Li-Fi-enabled UAV swarm net works: симуляція рою з центральним хабом – Li-Fi для 99 % надійності в щільному трафіку.

- Європейський консорціум: Oledcomm тестує «матку» для рою дронів у обороні – Li-Fi для безпечної координації.

- Flying LiFi net work: планування рою з UAV – хабом для виробництва (дрони як «матка» передають дані).

- AeroSyn: архітектура рою з MQLink для Li-Fi комунікації, де «матка» готова до зони з перешкодами [19-23].

3. «Плюси» та «мінуси» такого підходу.

«Плюси».

- Масштабованість: «Матка» керує 50+ дронами, AI розподіляє «завдання» (один – розвідка, інший – моніторинг).

- Стійкість: Li-Fi без радіо – важко заглушити (РЕБ на світло не впливає - лазери, і «матка» при цьому захищена).

- Енергія: рій «спить» між сигналами, «матка» – з сонячними панелями для автономії.

«Мінуси»

- Дальність польоту: 10-30 м – рій мусять бути компактним; для дальності – гібрид з акустикою.

- Інтерференція: під водою – каламутність. Сигнал «гасить» на 50%; рішення : синьо-зелене світло + лінзи.

- Захист «матки»: якщо її збити – рій «осліпне» (AI на дронах - резерв, але обмежений) [19-23].

У 2025 році це вже не теорія – пілоти в обороні (Європа, США, Україна) показують, що «матка» з Li-Fi – готова для роїв у морі чи повітрі. Також дану технологію можна застосувати у сільському господарстві (агро - дрони) та фармацевтичній промисловості (моніторинг). В даних галузях можна використовувати по 5-10 дронів.

1.5. Принцип побудови мереж Li-Fi

Типова архітектура VLC. Типова архітектура, яку показано у додатку Г, VLC містить об'єкти передавача і об'єкти приймача, що обмінюються один з одним модульованим видимим світлом. Кожен об'єкт передає і приймає дані за допомогою випромінювача VLC і приймача VLC відповідно. Випромінювач VLC є оптоелектронний перетворювач, який

передає інформацію з використанням видимого світла як фізичне середовище передачі; зазвичай використовуються світлодіоди високої яскравості. Світлодіоди модулюються на таких високих частотах, що людське око не може сприймати різницю в освітленні в порівнянні з тим, коли немає модуляції. У результаті передавачі VLC можуть використовуватися одночасно для освітлення і передачі даних. Приймач VLC є оптоелектронний перетворювач (фотодіод PIN, лавинний фотодіод або датчик CMOS), який приймає інформацію, попередньо модульовану в спектрі видимого світла, і перетворює її в електричні сигнали, які можуть оброблятися демодулятором / декодером.

Побудова мереж Li-Fi (VLC) для інтелектуальних транспортних систем

Найостаннішими досягненнями в області інтелектуальних транспортних систем (ITS), просуваються науковими колами, промисловими зацікавленими сторонами та організаціями по розробці стандартів (SDO), є так звані кооперативні ITS (C-ITS). Їх метою є використання і планування інфраструктури зв'язку та датчиків для підвищення безпеки дорожнього руху. Комунікаційна співпраця на дорозі включає в себе автомобіль/автомобіль, автомобіль-інфраструктура і навпаки. Дані, отримані від транспортних засобів та придорожніх пристроїв, можуть бути використані локально на кордоні геолокаційної мережі або передані на сервер для централізованого об'єднання і обробки. Ці дані можуть використовуватися для виявлення таких подій, як дорожні роботи, пробка, зближення з транспортним засобом швидкої допомоги, тощо. Такі дані обробляються з метою вироблення рекомендацій з водіння, призначених для однієї або конкретної групи водіїв, і передаються по бездротовій мережі на транспортні засоби [9].

Розробка C-ITS була обумовлена сценаріями використання, які в значній мірі бачать використання радіохвильової технології, як показано у додатку Д. У цій широкій і більш загальній структурі ми можемо визначити ряд випадків використання, в яких унікальні характеристики пристроїв VLC можуть використовуватися більш ефективним чином в порівнянні з традиційною радіохвильовою технологією. Однак варто підкреслити, що в порівнянні зі зрілою технологією,

заснованої на радіочастотах, VLC все ще перебуває на початковому етапі, і необхідні значні зусилля, перш ніж його можна буде широко розгорнути для додатків ITS малого радіусу дії [13-17].

Інфрачервоний зв'язок у інтелектуальних транспортних системах.

Варто згадати, що до появи VLC на основі світлодіодів серія інфрачервоних (ИК) оптичних пристроїв успішно використовувалася в декількох проектах ITS в Кореї і Малайзії (електронна система стягування дорожніх зборів), Японія (система інформації і зв'язку транспортних засобів (VICS)). Урок, витягнутий з цих проєктів, дозволив припустити, що ближній ПЧ – канал може використовуватися для передачі повідомлень в зоні прямої видимості від RSU до транспортних засобів і для прийому кадру маяка від транспортних засобів до RSU, а дальній інфрачервоний порт може використовуватися для відеоспостереження [13; 15].

Як ПЧ, так і VLC використовуються для включення в так звані ITS інфраструктурні технології. Ця категорія містить технології, які не вимагають будь-якої традиційної телекомунікаційної інфраструктури для роботи. Дійсно, на відміну від стільникового зв'язку, яка спирається на базові станції і велика кількість антен, розгорнутих на всій території, безструктурні технології прості в установці, адаптуючи існуюче придорожнє поселення, і вони готові до використання протягом короткого часу. У зв'язку з цим VLC навіть дешевше, ніж РЧ, оскільки передавачами світлового сигналу є існуючі світлодіодні світлофори та світлодіодні автомобільні фари, тому, якщо VLC використовується в додатках ITS замість РЧ, немає необхідності встановлювати спеціальні ПЧ - випромінювачі в навколишнє оточення [13-15].

Зв'язок V2X.

Дорожні світлофори і транспортні засоби поступово переходять від електричних лампочок на світлодіодні через переваги енергозбереження, тривалого терміну служби, низьких витрат на технічне обслуговування, кращої видимості і низької температури. Ці нові лампи можуть бути використані в якості передавачів інформації, сигнали яких передаються інфраструктурними вогнями і виявляються приймачами,

встановленими на транспортних засобах (зв'язок I2V), як показано у додатку E, RSU, такі як світлодіодні світлофори, добре підходять для передачі інформації в автомобільних системах зв'язку в режимі I2V. Інформація, що відноситься до безпеки дорожнього руху, може передаватися безперервно без додаткового енергоспоживання, покращуючи безперебійний рух транспорту, а також зменшуючи кількість аварій і нещасних випадків. Оскільки світло йде прямо, можливий високонапрявлений зв'язок, наприклад, різна інформація може бути передана для кожної смуги дороги [13-16].

Автомобілі також можуть обмінюватися даними з сусідніми транспортними засобами (зв'язок V2V), використовуючи головні, задні і стоп-сигнали; в прикладі сценарію V2V транспортний засіб перед світлофором приймає інформацію і передає її за допомогою стоп-сигналів на транспортний засіб, що йде позаду. З точки зору транспортної спеціалізованої мережі VLC можна розглядати як новий канал доступу поруч з існуючими радіочастотами. Як показано у додатку E, потенційні додатки систем V2X такі ж, як і для радіочастотних каналів, включаючи активну безпеку дорожнього руху, ефективність руху, місцеві послуги та послуги на основі Інтернету. Очевидно, що затримки і обмеження досяжності для обміну даними більш жорсткі для додатків, критичних для безпеки, в порівнянні з іншими типами, але недавні дослідження показали, що вони можуть бути оснащені VLC і готовими компонентами.

Зовнішні канали VLC залежать від наявності безперервної лінії прямої видимості (LOS), тому в сценаріях автомобілів з високою щільністю буде спостерігатися збільшення кількості з'єднань між транспортними засобами, що могло б поліпшити доставку даних, так як стає доступним кілька шляхів, оскільки все більше транспортних засобів з'єднуються разом з оптичними зв'язками. І навпаки, в такій ситуації зв'язок R / F може привести до проблем з продуктивністю через ширококомвні шторми, порушення роботи додатків, критичних для безпеки, в реальному часі і поширення інформації [13-16].

Зовнішні мобільні оптичні мережі створюють деякі технічні проблеми і проблеми щодо VLC всередині приміщень: 1) відносна мобільність між транспортними засобами або між

інфраструктурою і транспортними засобами, ймовірно, порушить зв'язок LOS; 2) VLC поза приміщенням в значній мірі залежить від природного і штучного освітлення, в основному сонячного світла, що додає шум і перешкоди приймається сигналу.

Перша проблема може бути вирішена шляхом оптимізації фіксованого та мобільного (на транспортному засобі) позиціонування освітлення, в той час як перешкоди можуть бути мінімізовані за допомогою оптичних фільтрів і оптимізованої електроніки. У всякому разі, ці проблеми накладають певну межу на можливу дальність зв'язку. Ряд експериментальних результатів і моделювання показав, що надійний VLC зв'язок можливий, коли VLC-передавач і VLC-приймач знаходяться на відстані не більше 40-50 м [13; 15; 16].

Було виконано велику кількість аналітичних досліджень, заснованих на чисельному моделюванні, для вивчення переваг використання VLC - доповнюють повідомлень RF DSCR для реалізації технологій, пов'язаних з ITS, таких як кооперативний адаптивний круїз-контроль (CACC). і вдосконалена система допомоги водієві (ADAS), серед інших.

Висновки до розділу 1

Інтернет речей (IoT) та технологія Li-Fi представляють фундаментальний прогрес у бездротових комунікаціях, забезпечуючи автоматизовану взаємодію пристроїв через цикл «Збір → Передача → Обробка → Дія» та використання неліцензованого оптичного спектру. Порівняльний аналіз демонструє переваги Li-Fi над Wi-Fi у швидкості (до 100+ Гбіт/с), безпеці, стійкості до електромагнітних перешкод та енергоефективності, особливо в чутливих середовищах (лікарні, хімічні заводи, вибухонебезпечні зони). Водночас обмеження VLC, такі як залежність від лінії прямої видимості (LOS) та дальність до 40–50 м, вимагають оптимізації позиціонування, фільтрів та гібридних підходів з RF-технологіями.

У контексті кооперативних інтелектуальних транспортних систем (C-ITS) Li-Fi відкриває нові можливості для V2X-зв'язку (I2V, V2V), використовуючи існуючі LED-світлофори та фари як безструктурні передавачі, підвищуючи безпеку руху, зменшуючи аварії та усуваючи broadcast storm у щільних сценаріях.

Перспективи впровадження в промисловість (виробництво, фармацевтика, нафтогаз), розумні міста, будинки та управління роями дронів (з «маткою-дроном») підтверджуються тестами 2024–2025 років (Siemens, Pfizer, Shell, Amazon, Oledcomm), демонструючи зростання ринку на 70 % до 2030 року.

Таким чином, Li-Fi не замінить Wi-Fi глобально, але стане ключовим доповненням у нішах високої безпеки, швидкості та локальності, вирішуючи кризу радіочастотного спектру та сприяючи еволюції IoT та C-ITS до більш надійних, енергоефективних і безпечних систем. Подальший розвиток потребує стандартизації (IEEE 802.15.7, ETSI), комерціалізації (pureLiFi) та гібридних рішень для подолання обмежень LOS і зовнішнього освітлення.

РОЗДІЛ 2 НАПРЯМКИ ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ITS

2.1. Застосування технологій Li-Fi у закладах освіти.

Технологія Li-Fi (Light Fidelity) використовує світлові хвилі замість радіочастот для передачі даних. Оскільки заклади освіти прагнуть бути безпечними, швидкими та технологічними, Li-Fi має кілька унікальних переваг у навчальному середовищі.

Конкретні сфери застосування Li-Fi у закладі освіти: [10]

1. Безпечний інтернет у класах.

Li-Fi забезпечує надвисоку швидкість передачі даних (у десятки разів швидше за Wi-Fi). Це ідеально підходить для:

– *Завантаження важкого контенту:* відео у форматі 4K, віртуальні лабораторії та інтерактивні підручники завантажуються миттєво.

– *Стабільність підключення:* на відміну від Wi-Fi, де сигнал слабшає, коли багато учнів одночасно підключаються до однієї точки доступу, Li-Fi кожна лампа може слугувати окремим каналом зв'язку.

2. Захист здоров'я та «радіомовчання».

Деякі батьки та адміністрації шкіл стурбовані впливом електромагнітного випромінювання (ЕМІ) від Wi-Fi роутерів на дітей.

Відсутність випромінювання: Li-Fi передає дані через видиме світло, яке є частиною природного спектра, тому воно вважається безпечнішим для тривалого використання в аудиторіях [11].

3. Кібербезпека та контроль. [12].

Світло не проходить крізь стіни. Це створює природний «фізичний фаєрвол»:

– *Конфіденційність:* зловмисник не зможе зламати мережу закладу освіти, перебуваючи на вулиці або в сусідньому кабінеті. Дані доступні лише там, де світить лампа [13].

– *Контроль уваги:* вчитель може вимкнути інтернет у певній зоні класу, просто приглушивши світло або спрямувавши його лише на робочі столи учнів [12; 13].

4. Навігація всередині закладу освіти.

Li-Fi можна використовувати для створення системи внутрішнього позиціонування (IPS): [14]

– *Для новачків та гостей:* допомагає знайти потрібний кабінет або бібліотеку через мобільний додаток.

– *Інклюзивність:* допомога здобувачам освіти з порушеннями зору орієнтуватися в коридорах за допомогою аудіопідказок, які активуються під конкретними лампами.

5. Спеціалізовані кабінети [14]

– *Кабінети фізики та інформатики:* Li-Fi не створює перешкод для чутливого наукового обладнання, що важливо для точних експериментів.

– *Бібліотеки:* створення «тихих зон» з високошвидкісним інтернетом, який не заважає роботі інших систем будівлі.

Порівняльна характеристика Li-Fi та Wi-Fi представлена у таблиці 2.1. Хоча впровадження Li-Fi зараз дорожче за традиційні рішення, воно часто поєднується з переходом на енергоефективне LED-освітлення, що дозволяє школі економити на електроенергії в довгостроковій перспективі.

Таблиця 2.1

Порівняння Li-Fi та Wi-Fi для закладу освіти [15]

<i>Характеристика</i>	<i>Wi-Fi</i>	<i>Li-Fi</i>
Середовище	Радіохвилі	Видиме світло
Безпека	Проникає крізь стіни (легше зламати)	Не проникає крізь стіни (висока безпека)
Швидкість	Висока, але не залежить від завантаження	Надвисока (до 100 Гбіт/с)
Вплив на здоров'я	Електромагнітне випромінювання	Відсутнє

Пропозиції створення тестової зони Li-Fi у закладі освіти.

Для створення першої тестової зони Li-Fi у закладі освіти знадобиться не просто «лампочка», а ціла система, що складається з мережевої інфраструктури та спеціальних приймачів.

Перелік обладнання, необхідний для старту [16]:

1. *Li-Fi Світильник (Точка доступу / Access Point)*

Це спеціальна LED-панель (зазвичай формату 60x60 см для стель Armstrong), яка виконує роль роутера. Вона не просто світить, а модулює світловий потік для передачі даних.

– *Чим відрізняється:* усередині вбудований модем, який перетворює цифровий сигнал на світлові імпульси.

– *Кількість:* для одного тестового класу достатньо 1–2 таких світильників, щоб покрити зону вчителя або групу столів.

2. *PoE-комутатор (Power over Ethernet)*

Оскільки Li-Fi світильник має отримувати і живлення, і інтернет-дані одночасно, знадобиться PoE-інжектор або комутатор.

Функція: підключається звичайний інтернет-кабель (Ethernet) від сервера до цього комутатора, а від нього – кабель до Li-Fi лампи.

3. *Li-Fi USB-ключі (Dongles / Приймачі)*

Оскільки сучасні ноутбуки та планшети не мають вбудованих фотодетекторів для Li-Fi, здобувачам освіти знадобляться зовнішні адаптери.

– *Вигляд:* схожі на велику USB-флешку з маленьким «оком» (фотодіодом) зверху.

– *Призначення:* вставляється в USB-порт ноутбука. Він «бачить» мерехтіння світла від лампи та перетворює його назад у цифровий сигнал, а також відправляє зворотний сигнал лампі через інфрачервоний порт.

4. *Мережеве ПЗ (Контролер)*

Для керування мережею зазвичай використовується програмне забезпечення від виробника (наприклад, Signify/Trulifi, pureLiFi або aeroLiFi). Воно дозволяє [17]:

- створювати паролі для доступу.
- обмежувати швидкість.
- бачити, скільки здобувачів освіти підключено до кожної лампи.

Наближена схема підключення.

- інтернет заходить у заклад освіти через оптоволокну.
- кабель підключається до PoE-комутатора.
- від комутатора по стелі йде кабель Ethernet безпосередньо в Li-Fi світильник.
- здобувач освіти вставляє Li-Fi USB-ключ у свій ноутбук і кладе його на стіл під промінь світла.

Для початку найкраще придбати Li-Fi Starter Kit (стартовий набір). Він зазвичай включає один світильник, один-два USB-адаптери та всі необхідні кабелі для швидкого налаштування «з коробки». Це дозволить протестувати технологію в одному кабінеті (наприклад, кабінеті інформатики) перед масштабуванням на весь заклад освіти.

2.2. Практична реалізація VLC у ITS

Як тільки технологія світлодіодів високої потужності почала з'являтися, одне з перших запатентованих додатків VLC було в області застосування ITS. Дійсно, використання світлодіодних світлофорів для передачі інформації було запатентовано в США ще раніше, ще до того, як були проведені

дослідження в цій області. Згодом, на початку 2000-х років, багато дослідницьких груп почали досліджувати цю нову технологію, і був розроблений ряд прототипів, які розширюють сферу застосування від I2V до V2V. У той же час, інтерес до VLC виріс в інших областях застосування. Це послужило підставою для створення спеціальної робочої групи IEEE по стандартизації VLC для персональних мереж, яка в кінці 2011 року випустила першу офіційну версію стандарту IEEE 802.15.7.

Починаючи з I2V-зв'язку, базові характеристики світлофора на основі світлодіодів з точки зору відповідної модуляції, необхідного SNR і обсягу одержуваної інформації були спочатку проаналізовані Akanegawa et al [18; 19].

2.3. Прототип світлодіодних світлофорів

Зовсім недавно був розроблений прототип світлодіодних світлофорів з використанням дискретних компонентів для оптоелектронних компонентів і цифрових схем FPGA для частин обробки сигналів як для передавача, так і для приймача. Схема модуляції, що використовується для цієї системи, була заснована на методах розширення спектра прямої послідовності. Тестові випробування прототипу показали, що вузьким місцем для швидкості передачі даних був передавач, де була досягнута швидкість передачі даних 200 кбіт/с. З іншого боку, приймач був здатний семплірувати сигнал в 5 разів швидше, з максимальною швидкістю 1 Мбіт/с [8; 9; 13; 15].

Обмеження швидкості передачі даних відбувається на стороні передавача, тому що світлофору потрібна велика сила струму, але включення і виключення такого струму на високій частоті як і раніше важко.

Система передачі повідомлень зі світлофора на автомобілі була також створена досвідченими дослідниками з Університету Версаля. Основне застосування для системи, яку вони запатентували, – це зв'язок між світлофорами і автомобілем для передачі, як показано у додатку Ж, наприклад, зворотного відліку до наступного зміни сигналу світлофора, як показано у додатку И.

Інтерес також полягає в тому, щоб попередити транспортні засоби та керувати двигуном для швидкого

перезапуску або для запуску зеленої хвилі. Система складається з блоку радіомовної станції, представленого світлодіодним світлофором і приймачем на основі фотодіодів. І випромінювач, і приймач пов'язані з ПК. Модуль випромінювача був розроблений для комерційного світлофора на основі світлодіодів, щоб з'ясувати, до якого моменту світлофор може стати пристроєм мовлення даних з невеликими змінами і з меншими витратами. Ті ж самі обмеження по вартості були використані також для проектування схем і вибору електронних компонентів як для сторони випромінювача, так і для сторони приймача. Більш детально, логіка реалізована за допомогою 8-бітних мікроконтролерів на стороні передавача і приймача. Приймач використовує фотодіод з PIN-кодом, сигнал якого посилюється за допомогою автоматичного управління посиленням (AGC), щоб отримувати дані як на короткі, так і на великі відстані. AGC особливо корисний на короткій відстані, тому що він запобігає насичення модуля фотодетектора. Оптична складова перед фотодиодом зменшує кут огляду приймача до $\pm 10^\circ$. Система надійна, але не підходить для реалізації складного мережевого стека. Дійсно, використовуються базові схеми кодування модуляції, такі як код Манчестера і код Міллера. Обидва коду використовують амплітудну модуляцію ООК (On-Off Key-ing), яка проста і добре підходить для передачі даних на частотах в десятки кілогерц [13-17].

Експериментальні випробування проводилися на світлофорі (червоне і зелене світло), встановленому в коридорі лабораторії або на вулиці. В основному, повідомлення, передане під час експериментів, відправляється емітера, і кадр вказує, чи вибраний код Міллера або Манчестера. Приймач декодує дані в режимі реального часу, а алгоритм допускає постобробку або розрахунок помилок. Для перших експериментів конкретне повідомлення, складене 7 символами ASCII, відправляється безперервно з використанням частоти модуляції 15 кГц. Виявлена безпомилкова передача (BER 10⁻⁷) на відстані до 50 м на вулиці при денному освітленні і до 20 м в приміщенні з штучним освітленням [13], [15].

Дослідження проведені у лабораторіях ІТС КПІ та на вулиці в Києві.

Використання VLC для зв'язку V2V було досліджено багатьма дослідницькими групами: вважається, що VLC може забезпечити як точне позиціонування, так і забезпечити безпеку транспортного засобу.

Архітектура таких пристроїв була зображена з різним ступенем деталізації в багатьох дослідженнях. Крім того, було проведено багато чисельного моделювання для оцінки продуктивності цих систем в порівнянні з RF DSCR. Однак набагато менше прототипів було реалізовано і протестовано, демонструючи багатообіцяючі особливості цієї технології. Деякі з них використовують недорогі компоненти, в той час як інші використовують більш витончені пристрої, такі як високошвидкісні камери і спеціальні датчики зображення CMOS [3], [4], [7], [13], [15].

2.4. Системи світлодіодних передавачів та камери - приймача

У додатку К показана функціональна-схема системи світлодіодного передавача та приймача. Система передавачів складається з блоку світлодіодного масиву та контролера, включаючи ПК. Контролер збирає різні дані для надсилання, і він пакує і кодує дані надсилання. Блок світлодіодного масиву має світлодіодні драйвери.

До системи приймача приєднано об'єктив камери. Оскільки оптичні фільтри не використовуються на лінзі, діапазон довжини хвилі, що приймається, є від видимого до світла NIR. ПК встановлює різні параметри для приймача камери та має прикладне програмне забезпечення для відображення отриманих даних, сигнальних зображень та сірих зображень.

У приймальній системі сигнали сірого зображення та сигнальні зображення, що виводяться з ОСІ, будуються на кадрі пам'яті, і кожне зображення завершується в період до 16,6 мс (до 60 кадрів в секунду). У цій системі для відображення використовується сіре зображення. Сигнальне зображення доставляється до світлодіодного детектора, а LED області виявляються за допомогою типового методу маркування підключеного компонента протягом періоду до 16,6 мс. Дані координат $x - y$ у виявлених світлодіодах передаються до ОСІ, після

чого СРх, що відповідає координатам (x, y), активується. Оптичні сигнали, які були отримані активованим СРх, оцифровуються за допомогою АЦП 80-MSPSi вирівнюються за допомогою фільтра кінцевого імпульсного відгуку (FIR). Нарешті, зрівняні сигнали декодуються, а дані вибираються з пакетів [3; 4; 7; 13; 15; 19-23].

2.5. Оптична система зв'язку V2V

У додатку Л показана блок-схема оптичної системи зв'язку V2V з використанням світлодіодних передавачів та камери-приймача. Передній автомобіль (ПА) має два блоки світлодіодного масиву, контролер, включаючи ПК, та камеру переднього огляду для зйомки зображень з передньої частини ЗА, тобто зображень спереду. Контролер збирає різні внутрішні дані автомобіля та зображення спереду (320×240, кольорове), а блоки світлодіодного масиву надсилають ці дані. Внутрішні дані транспортного засобу складаються з ідентифікатора транспортного засобу, світлодіодного ідентифікатора для ідентифікації лівої та правої сторони, швидкості руху транспортного засобу, робочих станів різних пристроїв (гальмо, безпека, загоряння фари та лівих блимків) та даних про відстань між лівою і правою частини світлодіодного масиву. Два блоки світлодіодного масиву надсилають однакові дані, за винятком даних про ідентифікатор LED [20; 21].

Зображення спереду стискається до зображення формату JPEG. Камера переднього виду може виводити зображення зі швидкістю до 20 кадрів в секунду. Однак швидкість передачі кадру зображення перегляду спереду автоматично регулюється залежно від часу експозиції камери переднього виду та розміру даних зображення JPEG. Згідно з попередніми дослідженнями, середня швидкість передачі кадру зображення переднього виду становить приблизно 15 кадрів в секунду в умовах денного освітлення і приблизно 10 кадрів в секунду в умовах нічного освітлення. Одне зображення перегляду спереду надсилається декількома пакетами, оскільки його розмір більший за розмір корисного навантаження пакету. У задньому транспортному засобі (ЗА) є приймач камери та ПК. Приймач камери приймає оптичні сигнали та збирає внутрішні дані автомобіля ЗА.

Отримані та зібрані дані доставляються на ПК, а доставлені дані аналізуються та відображаються на моніторі ПК [21-23].

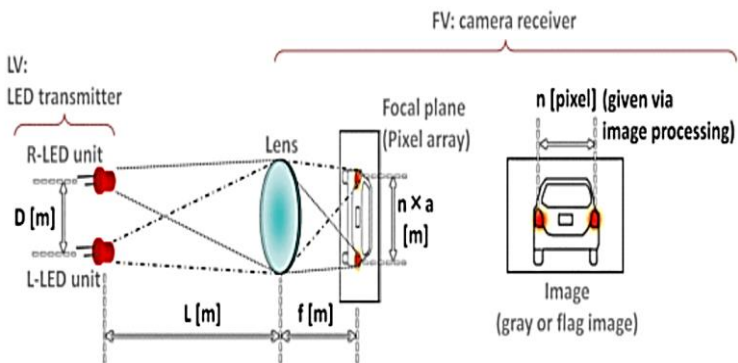
Крім того, на ЗА нові дані обчислюються за допомогою отриманих даних та зображень прапора. Відносна швидкість між транспортними засобами обчислюється з різниці між швидкістю ПА і ЗА. Відстань L між транспортними засобами обчислюється за допомогою даних про відстань між лівими та правими одиницями світлодіодного масиву, як показано на рисунку 2.1. і обчислюється за формулою: $L = \frac{f}{a} \cdot \frac{D}{n}$ [24].

де L – відстань між транспортними засобами, D – відстань між лівими та правими одиницями світлодіодного масиву, f – фокусна відстань об'єктива, n – відстань (тобто кількість пікселів) між лівим та правим світлодіодними масивами на зображення, a – розмір IPx. D надсилається від ПА, f і a – відомі значення у цій системі.

Значення n легко знайти за допомогою простих технік обробки зображень. Таким чином, використовуючи як отримані дані, так і захоплене зображення, ця система забезпечує виконання не тільки однієї функції зв'язку між транспортними засобами, але і функцію обчислення діапазону. Даний метод представлено на рис.2.1.

Рис. 2.1.

Метод вимірювання відстані між транспортними засобами



Для підтвердження характеристик і можливостей цієї системи було проведено багато експериментів у центральних науково-дослідних лабораторіях Toyota в реальних умовах

водіння і освітлення. Тестові випробування показали, що метод виявлення світлодіодів з використанням асигнального зображення ефективно усуває більшість непотрібних об'єктів на зображеннях і забезпечує правильне виявлення світлодіодів в режимі реального часу навіть в складних зовнішніх умовах. В експериментах з передачі даних передній автомобіль одночасно відправляв як набір даних про умови руху автомобіля (наприклад, ідентифікатор транспортного засобу і швидкість), так і потік даних кольорового зображення (320×240 пікселів) зі швидкістю до 20 кадрів у секунду. Вимірювання довели, що задній транспортний засіб отримав ці дані з прийнятною втратою пакетів, тобто потік зображення переднього виду приймається з коефіцієнтом ефективності 87 % в денний час і 89 % в нічний час [25].

У додатку М показана фотографія реального прототипу оптичної системи зв'язку V2V. Блоки світлодіодного масиву прикріплені до лівої та правої сторони заднього скла переднього автомобілю. Камера переднього виду встановлена на панелі приладів переднього автомобілю. Приймач камери кріпиться на даху заднього автомобілю.[26].

Висновки до розділу 2

У даному розділі були розглянуті різні практичні реалізації зв'язку VLC у інтелектуальних транспортних системах. Особлива увага приділена системі зв'язку V2V, заснованій на технології OWC, з'єднаній світлодіодними передавачами та камерою-приймачем. Світлодіодний передавач здатний передавати різні дані оптичними сигналами 10 Мбіт/с. Приймач камери оснащує спеціальний датчик зображення CMOS - OCl, який має масив СРх для швидкісного прийому оптичного сигналу та функцію виведення зображення прапора для полегшення виявлення світлодіодів у зовнішніх умовах. Використовуючи OCl, приймач камери отримав 10 Мбіт/с прийом оптичного сигналу та точні можливості детектування світлодіодів. Світлодіодні передавачі та камера-приймач із датчиком зображення OCl відповідно встановлені на ПА та ЗА.

Для підтвердження працездатності та потенціалу цієї системи було проведено багато експериментів у реальних умовах

водіння та зовнішнього освітлення. Метод виявлення світлодіодів за допомогою сигнального зображення ефективно усуває більшість непотрібних об'єктів на зображеннях і забезпечує правильне і в режимі реального часу детектування світлодіодів навіть у складних умовах зовнішнього середовища.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано, що технології Li-Fi (Visible Light Communication – VLC) та Wi-Fi є ключовими елементами сучасних бездротових комунікацій, але Li-Fi вирізняється як інноваційне доповнення до радіочастотних систем, особливо в контексті Інтернету речей (IoT) та кооперативних інтелектуальних транспортних систем (C-ITS).

Основними перевагами Li-Fi є: висока швидкість (до 100+ Гбіт/с), низька латентність, енергоефективність; використання неліцензованого оптичного спектру (400–770 ТГц), що в 10 000 разів ширший за RF-діапазон; безпека: світло не проникає крізь стіни, усуває перехоплення; стійкість до електромагнітних перешкод (EMI), придатність для вибухонебезпечних, вологих, запилених зон (ATEX, GMP, фармацевтика, нафтогаз); двофункціональність: LED-освітлення одночасно – джерело світла і даних.

Розглянуті і обмеження Li-Fi: лінія прямої видимості (LOS), дальність до 40–50 м.; чутливість до зовнішнього освітлення, пилу, туману; потреба в оптимізації позиціонування, фільтрів, гібридних системах (Li-Fi + RF).

Доведено, що Li-Fi не замінить Wi-Fi повсюдно, але стане критичним компонентом гібридних мереж у сценаріях, де потрібні: висока безпека, швидкість, стійкість до перешкод, енергоефективність. У C-ITS VLC дозволяє використовувати наявну інфраструктуру (світлофори, фари) як безструктурні передавачі, підвищуючи безпеку, зменшуючи аварії та усуваючи broadcast storm у щільних трафіках.

Прогнозовано, що ринок Li-Fi в промисловості зросте на 70 % до 2030 року (Marketsand Markets). До 2030 – 1 млрд пристроїв з Li-Fi (ABI Research). Li-Fi – це не майбутнє, це вже реальність у нішах, де радіохвилі не справляються. Від

світлофорів, що передають «зелену хвилю», до дронів-роїв під водою – VLC трансформує IoT та ITS у безпечнішу, швидшу, розумнішу систему. Подальший розвиток: стандартизація (IEEE 802.15.7), комерціалізація (pureLiFi, Oledcomm), гібридні рішення (Li-Fi + 5G + DSRC).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В. М.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. Харків : Ранок, 2019. 272 с.

2. Електрозв'язок. Зв'язок цифровий та системи передачі цифрові. Терміни та визначення : ДСТУ 2615-94 [Чинний від 01.07.95]. Київ : Держ. стандарт України, 1994. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82025 (дата звернення: 24.10.2025).

3. Романов О. І., Федюшина Д. М., Донг Т. Т. Використання технології VLC для побудови мереж LI-FI та принцип її практичної реалізації. URL : <https://conferenc-journal.its.kpi.ua/article/view/129662/125179> (дата звернення: 24.10.2025).

4. Романов О. І., Федюшина Д. М., Донг Т. Т. Принципи побудови безпроводної системи LI-FI та шляхи практичної реалізації. *Матеріали 18-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»*, Одеса, 2018. С. 223-225.

5. Architecture Design of IoT-Based System Using ISO/IEC 30141:2018 for Indoor Agriculture. *ICIC Express Letters*. 2023. Vol. 17, iss. 4. P. 397+. DOI: 10.24507/icicel.17.04.397.

6. Колощук М. С., Дячук О. Ю. LI-FI: технологія бездротового зв'язку через світло. *Матеріали конф. Державного університету «Житомирська політехніка»*. URL : <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/127-1.pdf> (дата звернення: 24.10.2025).

7. Скарбик П. Що таке Li-Fi: повний посібник і все, що вам потрібно знати. URL : <https://itechua.com/articles/225148> (дата звернення: 14.12.2025).
8. Тогоєв О. Р. Методи та засоби пошуку та ідентифікації об'єктів на основі аналізу параметрів Wi-Fi-сигналу : дис. ... д-ра філос. Чорномор. нац. ун-т ім. Петра Могили. Миколаїв, 2025. 167 с.
9. Li-Fi – передача даних за допомогою світлодіодів видимого світла. URL : <https://svetum.com.ua/ua/blog/sovety-pokupatelyam/li-fi-peredacha-dannykh-pri-pomoshchi-svetodiodov-vidimogo-sveta/> (дата звернення: 02.11.2025).
10. Smart Class Using Li-Fi Technology (2017). URL : https://www.researchgate.net/publication/313040097_Smart_Class_Using_Li-Fi_Technology (дата звернення: 12.11.2025).
11. Benefits of Li-Fi Internet : Key Advantages of Using LiFi Technology (2024). URL : <https://lifimax.ch/2024/02/07/benefits-of-li-fi-internet-key-advantages-of-using-lifi-technology/> (дата звернення: 14.12.2025).
12. How LiFi Technology Enhances Security in Your Organization (2023). URL : <https://lifi.co/lifi-blog/how-lifi-technology-enhances-security-in-your-organization/> (дата звернення: 14.12.2025).
13. Security Benefits of LiFi (AZoOptics, 2019). URL : <https://www.azooptics.com/Article.aspx?ArticleID=1589> (дата звернення: 10.11.2025).
14. Lifi: light fidelity in the school library (2022). URL : https://www.researchgate.net/publication/364173839_LIFI_LIGHT_FIDELITY_IN_THE_SCHOOL_LIBRARY (дата звернення: 14.11.2025).
15. A Detailed Comparative Analysis of LiFi vs WiFi in Application of 5G Networks (2025). URL : <https://jestr.org/downloads/Volume18Issue3/fulltext131832025.pdf> (дата звернення: 24.11.2025).
16. LiFiMAX® Compact: High-Speed LiFi Kit Solutions (Oledcomm). URL: <https://www.oledcomm.net/blog/oledcomm-lifimax-compact/> (дата звернення: 14.12.2025).
17. Signify Trulifi 6002.1 Starter Kit System Review. URL : <https://www.lifitn.com/blog/trulifi6002review> (дата звернення: 14.11.2025).

18. Traffic information system using light emitting diodes (US Patent 5,633,629, 1997, Peter A. Hochstein). URL : <https://patents.google.com/patent/US5633629A/en> (дата звернення: 17.11.2025).

19. LED traffic light as a communications device (Pang et al., 1999). URL : https://www.researchgate.net/publication/3836444_LED_traffic_light_as_a_communications_device (дата звернення: 14.12.2025).

20. Optical Vehicle-to-Vehicle Communication System Using LED Transmitter and Camera Receiver" (Takai et al., 2014). URL : https://www.researchgate.net/publication/265555753_Optical_Vehicle-to-Vehicle_Communication_System_Using_LED_Transmitter_and_Camera_Receiver (дата звернення: 22.11.2025).

21. Image-sensor-based visible light communication for automotive applications (Yamazato et al., 2014). URL : <https://www.semanticscholar.org/paper/Image-sensor-based-visible-light-communication-for-Yamazato-Takai/532c5b142247a192fa66c44f4e04b24b30f9e766> (дата звернення: 28.11.2025).

22. Image Sensor Based Visible Light Communication for Automotive Applications (Yamazato et al., 2014). URL : https://www.researchgate.net/publication/264006983_Image_Sensor_Based_Visible_Light_Communication_for_Automotive_Applications (дата звернення: 14.12.2025).

23. Image Sensor Based Visible Light Communication and Its Application to Pose, Position, and Range Estimations (Takai et al., 2014). URL : https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/E97.B/9/E97.B_1759/article (дата звернення: 14.12.2025).

24. Optical Vehicle-to-Vehicle Communication System Using LED Transmitter and Camera Receiver (Takai et al., 2014). URL : https://www.researchgate.net/publication/265555753_Optical_Vehicle-to-Vehicle_Communication_System_Using_LED_Transmitter_and_Camera_Receive (дата звернення: 21.11.2025).

25. Image-sensor-based visible light communication for automotive applications (Yamazato et al., 2014). URL : <https://www.semanticscholar.org/paper/Image-sensor-based-visible->

light-communication-for-Yamazato-

Takai/532c5b142247a192fa66c44f4e04b24b30f9e766

(дата

звернення: 24.11.2025).

26. Vehicle to vehicle communication using "visible light communication" (Gupta et al., 2015). URL: https://www.digitalxplore.org/up_proc/pdf/136-142971344864-66.pdf (дата звернення: 14.12.2025).

27. From Sensors to Data Intelligence: Leveraging IoT, Cloud, and Edge Computing with AI. *Sensors*. 2025. Vol. 25, iss. 6. Art. 1763. URL : <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/6/1763> (дата звернення: 14.12.2025).

28. Chen C., Ijaz M., Tsonev D., Haas H. Analysis of downlink transmission in DCO-OFDM-based optical attocell networks. *Proc. of IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Austin, TX, Dec. 2014. DOI: 10.1109/GLOCOM.2014.7036865.

29. Wang Y., Huang X., Tao L., Shi J., Chi N. 4.5-Gb/s RGB-LED based WDM Visible Light Communication System Employing CAP Modulation and RLS based Adaptive Equalization. *Optics Express*. 2015. Vol. 23, no. 10. P. 13626–13633. DOI: 10.1364/OE.23.013626.

30. Romanov O. I., Hordashnyk Y. S., Dong T. T. Method for calculating the energy loss of a light signal in a telecommunication Li-Fi system. *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo). IEEE Conference Publications*. 2017. P. 1–7. DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095404.

31. Cen N., Dave N., Demirors E., Guan Z., Melodia T. LiBeam: Throughput-Optimal Cooperative Beamforming for Indoor Visible Light Networks. *Proc. of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Paris, France, April 2019. DOI: 10.1109/INFOCOM.2019.8737573.

32. Tanaka Y., Haruyama S., Nakagawa M. Wireless optical transmissions with white colored LED for wireless home links. *Proc. 11th IEEE Int. Symp. PIMRC*. 2000. Vol. 2. P. 1325–1329. DOI: 10.1109/PIMRC.2000.881634.

33. Karunatilaka D., Zafar F., Kalavally V., Parthiban R. LED based indoor visible light communications: State of the art. *IEEE*

Commun. Surveys Tuts. 2015. Vol. 17, no. 3. P. 1649–1678. DOI: 10.1109/COMST.2015.2445757.

34. Zhao H., Liu Y., Huang K., Ji X., Wang D. A Study on Networking Scheme of Indoor Visible Light Communication Networks. *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), Seoul, South Korea, May 2014.* URL : https://www.researchgate.net/publication/268370098_A_Study_on_Networking_Scheme_of_Indoor_Visible_Light_Communication_Networks (дата звернення: 14.12.2025).

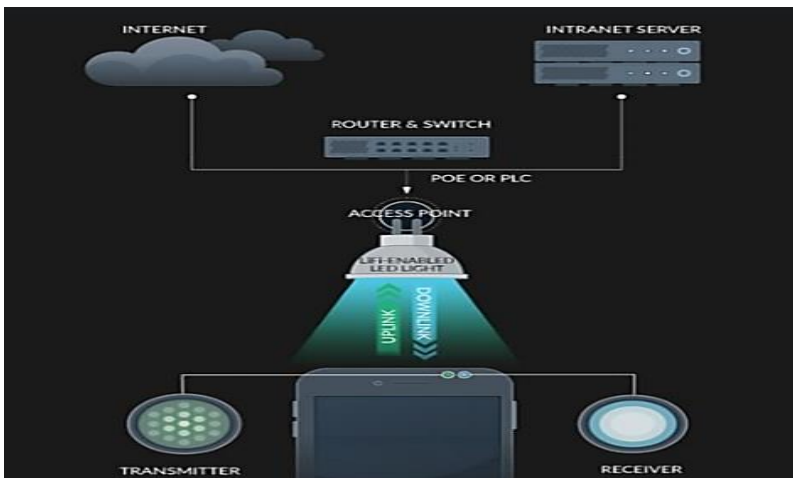
35. Abualhoul M. Y. et al. Enhancing the field of view limitation of Visible Light Communication-based platoon // 2014 IEEE 6th International Symposium on Wireless Vehicular Communications (WiVeC), Sep. 2014. P. 1–5. DOI: 10.1109/WIVEC.2014.6953221.

36. Ozyurt A. B., Tinnirello I., Popoola W. O. LiFi-enabled UAV swarm networks // *Applied Optics.* 2024. Vol. 63, No. 6. P. 1471–1480. DOI: 10.1364/AO.513258. URL: <https://opg.optica.org/ao/abstract.cfm?uri=ao-63-6-1471>

ДОДАТКИ

Додаток А

Принцип роботи Li-Fi мережі



Додаток Б

Професор кафедри мобільного зв'язку в Единбургському
університеті Гаральд Хаас



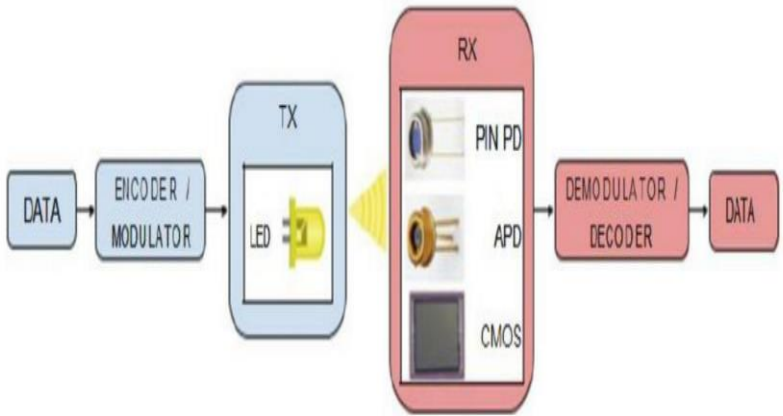
Додаток В

**Застосування технології Li-Fi у сфері керування
та роботи дронів (БПЛА)**

Застосування	Опис	Переваги Li-Fi	Приклади / дослідження
Керування роями дронів (swarm networks)	Li-Fi для координації групи дронів: передача команд, даних сенсорів (температура, позиція) між ними	Швидкість до 10 Гбіт/с, низька латентність (<1 мс), без радіоперешкод у щільному рої	Дослідження Optica Publishing Group (2024): Li-Fi для UAV-роїв у пошуково-рятувальних операціях
Безпека в морських/підводних операціях	Керування дронами над/під водою: зв'язок	Світло стійке до солоної води	Морські операції (2024): Li-Fi для

	корабель-дрон для даних (відео, сенсори)		безпечного керування дронами у флоті
Моніторинг (погода, екологія)	Дрони з Li-Fi для передачі масивів даних (відео, сенсори) на базу	Висока пропускна здатність для «великих» файлів, без втрат у хмарну погоду.	Проект (2021, оновлено 2025): Li-Fi/Wi-Fi дрон для моніторингу погоди з хмарним сховищем
Військові/робото технічні дрони	Керування в зонах з RF-джемінгом (навмисне створення радіоперешкод шляхом передачі потужних неідентифікованих сигналів на тих же частотах, що використовуються цільовим пристроєм)	Без радіовипромінювання (немає іскри у вибухонебезпечних зонах), гібрид з Wi-Fi.	Гібрид Li-Fi/Wi-Fi для UAV (2024): керування в роях з моніторингом. Військова робототехніка (2025): підводні дрони
Авіація та аеропорти	Керування дронами в аеропортах: реальний час моніторинг (параметри, трафік)	Стійкість до перешкод від металу/радіо в аеропортах.	Тести в авіації (2023, оновлено 2025): сенсори на дронах для моніторингу

Додаток Г
Архітектура системи VLC: приймально-передавальний ланцюг



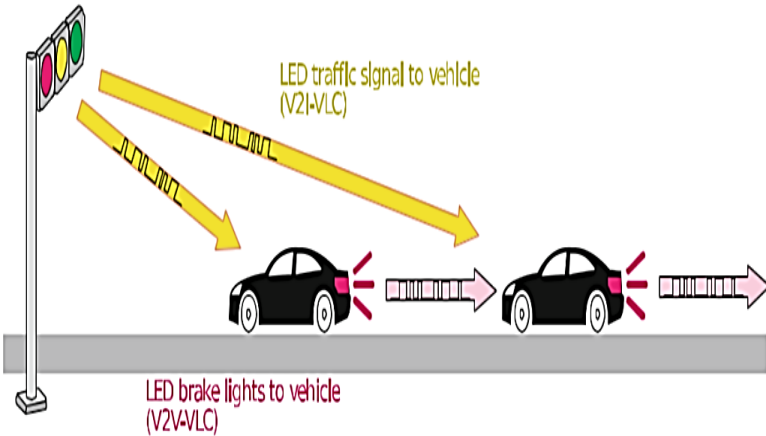
Додаток Д
Структура ITS



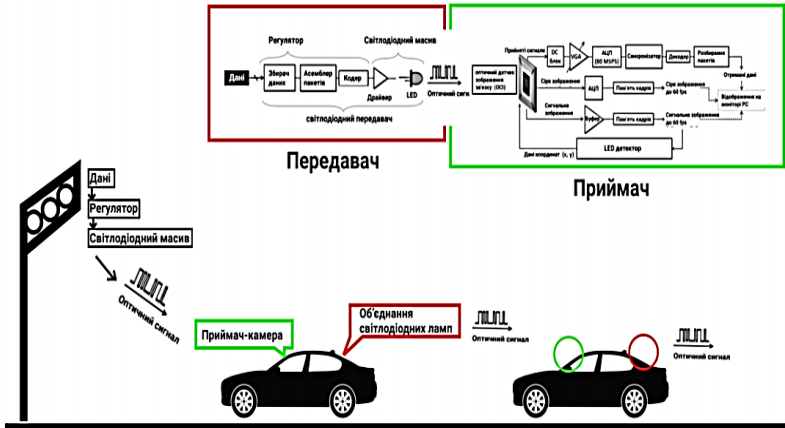
Приклад автомобільного зв'язку, реалізованого за допомогою VLC.



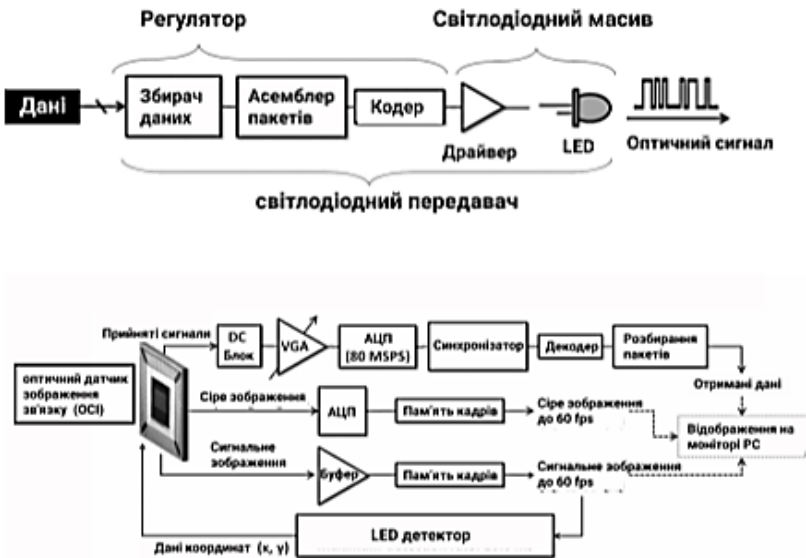
Приклад використання VLC для світлофора



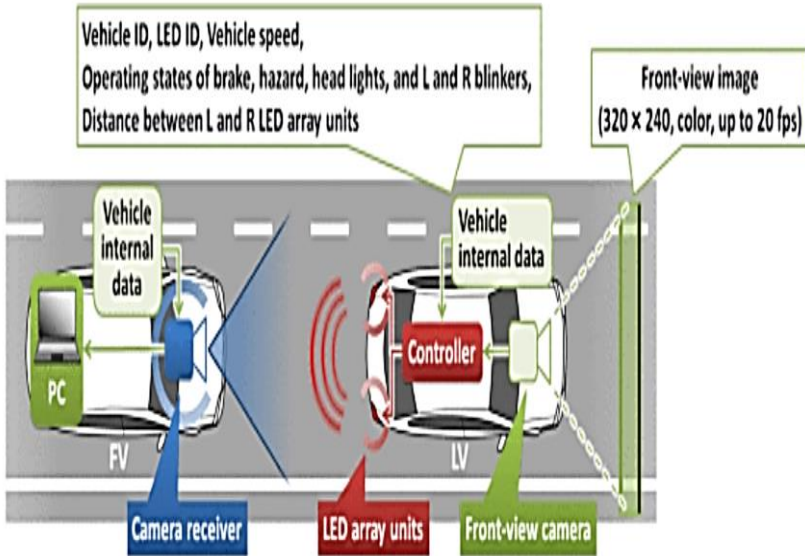
Функціональна схема



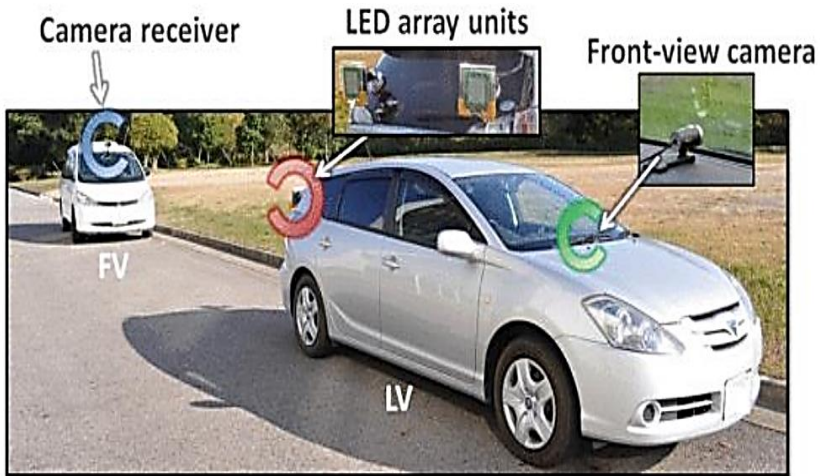
Функціональні схеми LED-передавача і приймача



Структурна схема оптичної системи зв'язку V2V



Прототип оптичної



2.3. Василенко Артем, здобувач професійної освіти Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради, науково-дослідницька робота «Дослідження роботи вітрогенератора як альтернативного джерела енергії»

Здобувач професійної освіти Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради Василенко Артем Русланович за науково-дослідницьку роботу «Дослідження роботи вітрогенератора як альтернативного джерела енергії» **отримав спеціальний диплом за кращий проєкт**

Відділення: фізика і астрономія

Секція: прикладна фізика

Педагогічні керівники: Безпалюк Микола Володимирович, викладач фізики Житомирського професійного ліцею Житомирської обласної ради

ЗМІСТ

Перелік скорочень	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ	6
1.1. Загальні відомості про вітроенергетику	6
1.2. Огляд загальної структури вітроустановки ...	10
1.3. Вітрові електростанції з горизонтальним ротором	12
1.4. Вітрові електростанції з вертикальним ротором	15
Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ	18
2.1. Вибір схеми забезпечення об'єкта енергією ...	18
2.2. Вибір основного устаткування	19
2.3. Розрахунки струмів короткого замикання	24

2.4. Вибір апаратури керування й захисту	26
2.5. Вибір акумуляторної батареї	33
2.6. Моделювання роботи вітрогенератора	36
Висновки до розділу 2	40
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44
ДОДАТКИ	47

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВВП – Валовий внутрішній продукт
 ТВт – терават
 ВЕУ – вітроенергетична установка
 КЗ – коротке замикання
 АКБ – акумуляторна батарея
 ККД – коефіцієнт корисної дії
 ТЕС – теплоелектростанція
 АЕС – атомна електростанція
 АВР – автоматичне включення резерву
 АБ – акумуляторна батарея
 ВЕС – вітроелектростанція
 Геркон КЕМ-2 – герметизований магнітокерований контакт
 Батарея 6СТ – свинцево-кислотний акумулятор для автомобілів,
 де "6СТ" означає 6-елементну стартерну батарею на 12 В
 ТНЖ – Тяговий Нікель-Залізний акумулятор.

ВСТУП

Актуальність теми. Нині природних екологічно чистих джерел енергії відомо вже чимало. Але використовують їх зовсім недостатньо. Основна проблема – це низька якість (концентрованість) усіх відомих на сьогодні альтернативних видів енергії, і, відповідно, низька економічна ефективність їхньої конверсії у висококонцентровану форму.

Аналізуючи різні альтернативні джерела енергії, слід пам'ятати, що в усіх без винятку випадках важливо підібрати до кожного промислового об'єкта найбільш раціональне за

концентрацією енергії джерело, пам'ятаючи, що чим більше концентровано енергію, тим вона дорожча. Розглянемо еколого-економічні аспекти альтернативних джерел енергії, які сьогодні вже застосовують.

У зв'язку із зростанням цін на енергоносії, дедалі більше власників приватних будинків звертаються до відновлювальних і нетрадиційних джерел енергії (ВНДЕ), таких як вітрова, сонячна, гідроенергія і геотермальна. Сьогодні у світі йдуть пошуки оптимальних варіантів енергозабезпечення. Передумовою вибору є нагальна необхідність зменшення споживання імпортованих енергоресурсів, у першу чергу – природного газу.

За показником енергоємності ВВП України в декілька разів перевищує показники розвинених країн Західної і Східної Європи. Так, енергоємність ВВП України в 2010р. склала 0,55 т у.п. на 1000 доларів ВВП у порівнянні з 0,1 – для Німеччини, 0,2 – для Польщі. Тому, підвищення рівня енергоефективності, впровадження альтернативних енергозберігаючих технологій є необхідним для України для зміцнення національної енергетичної безпеки, і є однією з пріоритетних цілей державної політики.

Метою роботи є створення і дослідження роботи моделі вітрогенератора.

Об'єктом дослідження вітрогенераційна установка.

Предметом дослідження є закономірності роботи вітрогенератора як альтернативного джерела енергії.

Задачі дослідження:

1. Аналіз принципу роботи та конструкції вітрогенератора
2. Дослідження енергетичної ефективності.
3. Оцінка впливу зовнішніх факторів.
4. Розробка рекомендацій щодо оптимізації.

Методами дослідження є методи термодинаміки, математичної фізики, комп'ютерного моделювання, експериментальні методи теплофізики.

Наукова новизна. Створена модель для дослідження основних параметрів вітрогенератора. Результати наукової роботи дозволяють на основі проведених експериментальних досліджень проектувати більш складні вітрогенераційні установки.

Практична цінність. Дане дослідження можна використовувати при проведенні занять факультативів, фізичних та хімічних гуртків, що сприятиме виникненню в учнів та здобувачів освіти інтересу до застосування нових технологій. Використання вітрової енергії: зменшує залежність від традиційних джерел палива (енергетична незалежність); знижує витрати на електроенергію для підприємств і домогосподарств (економічний ефект); приводить до скорочення викидів CO₂ та інших шкідливих речовин (екологічна користь), тощо.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел складає 21 найменування.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Загальні відомості про вітроенергетику

Енергія вітру на земній кулі оцінюється в 175...219 тис. ТВт год у рік, при цьому потужність, що виробляється, досягає $(20...25) \cdot 10^9$ кВт. Це приблизно в 2,7 рази більше сумарної витрати енергії на планеті. Вважають, однак, що корисно може бути використане тільки 5 % цієї енергії.

Використовувати вітер, тобто енергію руху повітря, людина почала ще в далекій давнині. Постійні повітряні потоки до екватора з боку північної й південної півкулі утворюють систему пасатів. Загальна циркуляція атмосфери відбувається головним чином через обертання Землі, при якому під дією відцентрової сили повітряні маси відкидаються в районі екватора у верхні шари атмосфери. На місце збіглих мас повітря з півночі й півдня приходять нові повітряні шари.

Крім постійних рухів повітряних шарів існують періодичні рухи повітря з моря на сушу й назад протягом доби (бризи) і протягом року (мусони). Походження бризів і мусонів обумовлене різним нагріванням води й суші внаслідок їхньої різної теплоємності.

При використанні енергії вітру в сучасних умовах прагнуть урахувати досвід тих країн, у яких імовірні двигуни здавна широко застосовувалися, особливо в Данії й Голландії – класичних країнах вітряних млинів.

В основному вітродвигуни застосовують у вітроелектричних станціях. У цей час вітроенергетика – одна із галузей світової електроенергетики, що бурхливо розбудовується. В 1960 – 1970 рр. більшість експлуатованих у Європі ВЕУ мало потужність до 20кВт, потім – від 100 до 250 кВт; середня потужність ВЕУ, випущених в 2002 р. у Німеччині, склала 1100кВт. Тенденція росту одиничних потужностей ВЕУ збережеться й далі [19, с.45].

Вітрові електростанції (ВЕС) – комплекси сучасного обладнання, що складаються з вітрогенератора потужністю від 100 Ват до 10 мВат, контролера заряду, комплексу акумуляторних батарей та інвертора напруги. ВЕС призначені для перетворення чистої природної енергії вітру в електрику, що широко використовується в повсякденному житті [1, с.20].

Вітрогенератори бувають з горизонтальною або вертикальною віссю. Сучасний вітровий електрогенератор з горизонтальною віссю більш розповсюджений, має більший ККД (майже в 3 рази), легкий в регулюванні і здійсненні штормового захисту та має більш низьку вартість. Одночасно вітрогенератор малої потужності до 1 кВт з вертикальною віссю має перевагу в роботі від слабких вітрів усіх напрямків, легкий в конструюванні і майже не створює шум. Такий вітрогенератор незважаючи на набагато більшу вартість знайшов деяке застосування. Але в основному використовуються вітрогенератори з горизонтальною віссю, що виробляють 95 % вітрової електроенергії.

Вітрові електрогенератори найбільш вигідно використовувати в місцях, де неможливо провести загальну електромережу, або підключення є дуже витратним, а також – у місцях з частими відключеннями електрики. Також потрібно врахувати середньорічну швидкість вітру та встановлювати там де цей показник перевищує 3 м / с [8, с.20].

Енергетичний потенціал вітру України. Високий вітроенергетичний потенціал мають Українські Карпати, Кримські гори, узбережжя Чорного, Азовського морів та Донецька височина (Додаток А). Також сильними

середньорічними вітрами відзначаються височини південно-західної України та Придніпровська височина. Найбільш придатними місцями для встановлення вітрогенераторів є ділянки біля водойм (ставків, озер, річок) або височини, які здіймаються над основним рельєфом. Такі ділянки є по всій території України, але потрібно враховувати, що вітер це не стабільна величина і відрізняється на протязі року та залежить від погодних умов і пори року. Дані наведені на карті (Додаток А) є лише для ознайомлення і не варто по них робити розрахунки або висновки про доцільність встановлення вітрогенератора. Кожен регіон має свою специфіку і тому для остаточних результатів краще звернутись до спеціалістів і провести дослідження.

В енергії вітру є кілька істотних недоліків, які утрудняють її використання, але аж ніяк не зменшують її головної переваги – екологічної чистоти. Вона сильно розсіяна в просторі, тому необхідні ветроенергоустановки, здатні постійно працювати з високим ККД. Вітер дуже непередбачений – часто міняє напрямок, раптом затихає навіть у самих вітряних районах земної кулі, а іноді досягає такої сили, що ламає вітряки. Ветроенергостанції не нешкідливі: вони заважають польотам птахів і комах, шумлять, відбивають радіохвилі обертовими лопатями. Але, як ми побачимо далі ці недоліки можна зменшити, а то й зовсім звести нанівець [13,15].

У цей час розроблені ветроенергоустановки, здатні ефективно працювати при самому слабкому вітрі. Крок лопаті гвинта автоматично регулюється таким чином, щоб постійно забезпечувалося максимально можливе використання енергії вітру, а при занадто великій швидкості вітру лопасть настільки ж автоматично переводиться у флюгерне положення, так що аварія виключається.

Розроблені й діють так звані циклонні електростанції потужністю до ста тисяч кіловатів, де тепле повітря, піднімаючись у спеціальній 15-метровій вежі й змішуючись із циркулюючим повітряним потоком, створює штучний «циклон», який обертає турбіну. Такі установки набагато ефективніше й сонячних батарей і звичайних вітряків.

Щоб компенсувати мінливість вітру, споруджують величезні «вітряні ферми». Вітряки при цьому встановлюють рядами на великому просторі, тому що їх не можна ставити

занадто тісно – інакше вони будуть загороджувати один одного. Такі «ферми» є в США, у Франції, в Англії, але вони займають багато місця; у Данії «вітряну ферму» розмістили на прибережному мілководді Північного моря, де вона нікому не заважають, і вітер стійкіше, чим на суші. Позитивний приклад по використанню енергії вітру показали Нідерланди й Швеція, які 54 тисячі високоефективних енергоустановок. У світі зараз працює більш 30 тисяч вітроустановок різної потужності. Німеччина одержує від вітру 10 % своєї електроенергії, а всій Західній Європі вітер дає 2500 Мвт електроенергії [6].

Енергія вітру – це непряма форма сонячної енергії, що є наслідком різниці температур в атмосфері землі. У 2010 р. вартість 1 кВт.год вітрової енергії була знижена на 70 % і тепер становить 6-8 центів, що робить її конкурентоспроможною енергією, одержуваною на нових теплових електростанціях, що спалюють вугілля. Вітроенергія при швидкостях більш 5 м/сек використовується для виробітку електроенергії [11].

Національні програми освоєння енергії вітри розгорнуті в Канаді, ФРН, США, Франції, Швеції й інших країнах.

Перетворення енергії вітру в електрику склало на початку 2000 року у світовому масштабі 1660 Мвт, причому 85 % цієї енергії було зроблено в штаті Каліфорнія, США. Зокрема, у районі каліфорнійського міста Алтамаунт-Пас на приналежному фірмі «Pacific Gas and Electric» комплексі діє 7500 вітроустановок, причому вартість вироблюваної ними електроенергії становить 7 центів/квт-год (на сучасних ТЕС вона становить 5 центів/квт-год). При цьому в установках Алтамаунт-Пас застосовуються конструктивні й технологічні рішення використання композиційних матеріалів при виробництві лопат вітроагрегатів і мікропроцесорів для контролю над роботою генераторів. Їхня висока ефективність була досягнута завдяки швидкому впровадженню рішень, що зрештою виникали в процесі будівництва й експлуатації й продиктованих практичною доцільністю, що зовсім неможливо застосувати до великих ТЕС і АЕС[13].

Що ж стосується більш передових досягнень у вітроенергетику, на фірмі «Windpower» (Ливермор, штат Каліфорнія) створили прототип вітрової енерготурбіни змінної частоти обертання потужністю 300 кВт. Конструкція лопат і

впровадження електронної системи керування забезпечують обертання ротора з оптимальною частотою в широкому діапазоні швидкостей вітру. Крім того, установка відрізняється підвищеною зносостійкістю матеріалів і невисокою вартістю експлуатації. Подальше вдосконалювання аеродинамічних і електронних компонентів вітроенергоустановок, як уважаються в Міністерстві енергетики США, дозволить у найближчі 20 років зменшити вартість вироблюваної ними електроенергії до 3,5 центів/квт-ч із помірними вітровими ресурсами. З економічної точки зору найбільше вигідно підключати вітроустановки до енергосистем у періоди пікових навантажень (в Алтамаунт-Пас і Солано, штат Каліфорнія на їхню частку доводиться 50 % енергії пікових навантажень) [19].

Вітрова енергія в екологічному аспекті: проблема шуму при роботі й перешкоди в телевізійних каналах, створювані електростатичними зарядами на сталевих лопатях, можуть бути легко вирішені. Складніше запобігати загибелі птахів на лопатях і усунути сприйняття деякими людьми вітроустановок як чужорідних елементів пейзажу.

1.2. Огляд загальної структури вітроустановки

Вітроенергетика – галузь науки й техніки, що розробляє теоретичні основи, методи й засоби використання енергії вітру для одержання механічної, електричної й теплової енергії (вітротехніка) і визначальна області й масштаби доцільного використання вітрової енергії в народному господарстві.

Використання енергії вітру здійснюється за допомогою спеціальних установок. Вітроенергетична установка (ВЭУ) – це комплекс технічних пристроїв для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в який – або інший вид енергії [20].

Вітродвигуном називають двигун, що використовує кінетичну енергію вітру для механічної енергії. Розрізняють вітродвигуни крильчаті (найпоширеніші) з коефіцієнтом використання енергії вітру до 0,48, карусельні (роторні) з коефіцієнтом використання не більш 0,15 і барабанні.

До основних компонент системи, без яких робота вітряка неможлива, відносять наступні елементи:

– генератор – від його потужності залежить як швидко будуть заряджатися ваші акумулятори. Генератор необхідний для виробітку змінного струму. Сила струму й напруга генератора залежить від швидкості й стабільності вітру;

– лопаті – надають руху валу генератора завдяки кінетичній енергії вітру;

– щогла – звичайно, чим вище щогла, тим стабільніша й сильніша вітру. Звідси випливає – чим вище щогла, тим більше виробіток генератора. Щогли бувають різних форм і висот [19].

Список додатково необхідних компонентів:

– контролер – управління багатьма процесами вітроустановки, такими, як поворот лопат, заряд акумуляторів, захисні функції й ін. Він перетворює змінний струм, який виробляється генератором у постійний для заряду акумуляторних батарей;

– акумуляторні батареї – накопичують електроенергію для використання в безвітряний час. Також вони вирівнюють і стабілізують вихідну напругу з генератора. Завдяки ним ви одержуєте стабільну напругу без перебоїв навіть при рвучкому вітрі. Живлення об'єкта йде від акумуляторних батарей;

– анемоскоп і датчик напрямку вітру – відповідають за збір даних про швидкість і напрямок вітру в установках середньої й великої потужності;

– АВР – автоматичне включення резерву. Робить автоматичне перемикання між декількома джерелами електроживлення за проміжок в 0,5 секунди при зникненні основного джерела. Дозволяє об'єднати вітроустановку, суспільну електромережу, дизель-генератор і інші джерела живлення в єдину автоматизовану систему. АВР не дозволяє працювати мережі одного об'єкта одночасно від двох різних джерел живлення;

– інвертор – перетворює струм з постійного, який накопичується в акумуляторних батареях, у змінний, який споживає більшість електроприладів [18].

Інвертори бувають чотирьох типів:

– модифікована синусоїда – перетворює струм у змінний з напругою 220В з модифікованою синусоїдою (ще одна назва: квадратна синусоїда). Придатний тільки для обладнання,

яке не чутливе до якості напруги: освітлення, обігрівши, зарядні пристрої, тощо;

- чиста синусоїда – перетворює струм у змінний з напругою 220В з чистою синусоїдою. Придатний для будь-якого типу електроприладів: електродвигуни, медичне обладнання й ін.;

- трифазний – перетворює струм у трифазний з напругою 380В. Можна використовувати для трифазного обладнання;

- мережний – на відміну від попередніх типів дозволяє системі працювати без акумуляторних батарей, але його можна використовувати тільки для виводу електроенергії в суспільну електромережу. Їхня вартість, звичайно, у кілька раз перевищує вартість немережових інверторів. Іноді вони коштують дорожче, чим усі інші компоненти вітроустановки разом взяті [19].

Вітрогенератори можна розділити на дві категорії: промислові й домашні (для приватного використання). Промислові встановлюються державою або великими енергетичними корпораціями. Як правило, їх поєднують у мережі, у результаті виходить вітряна електростанція. Її основна відмінність від традиційних (теплових, атомних) – повна відсутність як сировини, так і відходів. Єдина важлива вимога для ВЕС – високий середньорічний рівень вітру. Потужність сучасних вітрогенераторів досягає 6 Мвт [1].

1.3. Вітрові електростанції з горизонтальним ротором

У світі більшість з вироблених та встановлених ВЕС складають саме вітрогенератори з горизонтальною віссю. Горизонтальні вітряки з потужністю від 1кВт до кількох мегават впроваджуються по всьому світу. Розвинені технології і конструктивна надійність гарантують стабільний попит на горизонтальні вітрогенератори. В залежності від номінальної потужності вітрогенератори, вітроелектроустановки (ВЕУ) можуть використовуватися як:

- основне джерело енергопостачання (при повному автономному енергозабезпечення об'єкта);

- джерело резервного живлення (аварійне або безперебійне енергозабезпечення об'єкта);

– джерело для мережевого, комерційного вироблення електроенергії, з метою продажу по «зеленому тарифу» [10].

У більшості регіонів України середньорічна швидкість вітру 5-8 м / с. В таких умовах використання ВЕУ економічно виправдано. Раціональним кроком при створенні вітростанції для повного автономного енергозабезпечення об'єкта є використання додаткових сонячних модулів для збільшення енерговиробітку в безвітряні місяці. Підбір комплектації вітрової електростанції вимагає попереднього аналізу вимог до енергокомплексу та ретельного вибору місця встановлення вітрогенератора (Додаток Б).

Загальний коефіцієнт корисної дії вертикальних (20-30%) і горизонтальних (25-35%) вітрогенераторів приблизно однаковий. Не дивлячись на те, що у вітряків з горизонтальною віссю обертання ККД вище і швидкість початку обертання нижче, вони практично компенсуються коефіцієнтом використання енергії вітру, який трохи вище у вертикальних вітряків [13].

Як досягається більший коефіцієнт у вертикальних вітрогенераторів? Вертикальні вітряки завжди знаходяться «за вітром» і їм не потрібно повертатися при зміні напрямку вітру. А ось вітрогенератори з горизонтальною віссю повинні розвернутися. У момент розвороту вітрогенератора з горизонтальною віссю продуктивність падає, так як сила потоку вітру затухає.

Деякі компанії використовують для виробництва вертикальних вітряків постійні (неодіумні) магніти замість підшипників. Це дозволяє збільшити продуктивність системи до 15 %. Тобто загальна продуктивність таких вітрових генераторів виростає всього на 3-5% від загального сумарного ККД. Але на відміну від вітрових генераторів з підшипниками ціна вертикальних вітрогенераторів з постійними магнітами зростає.

Види горизонтальних вітрогенераторів.

Однолопатеві вітрогенератори (Додаток Г).

Однолопатеві вітрогенератори мають одну лопать і противагу, що виконує роль балансуєчого механізму. Перевагою однолопатевих роторів, в порівнянні з багатолопатевиими, є їх більш висока швидкість обертання за рахунок більш низького моменту інерції. Це дозволяє використовувати в їх схемі прямопривідні синхронні електрогенератори, розраховані на

більш високі швидкості обертання, і як наслідок, мають менші розміри та вагу. Крім цього, ротор цієї конструкції має більш низьку вартість за рахунок зменшення числа лопатей [20].

Двохлопатові вітрогенератори (Додаток Д). У порівнянні з ВЕУ з кількістю лопатей три і більше, двухлопатові вітрогенератори мають ті ж переваги, що й однолопатові. Ще однією безумовною перевагою цих вітрогенераторів є врівноваженість ротора при будь-якому кутовому положенні лопатей, за рахунок їх парної кількості. Ця їх перевага знайшло застосування в самопідйомних вітрогенераторах малого та середнього діапазону потужностей. При підйомі з землі або опусканні на землю самопідйомні двухлопастні вітрогенератори, площина їх ротора, при будь-якому кутовому положенні лопатей буде прагнути займати горизонтальне положення, що значно спрощує технологію процесу підйому або опускання цих ВЕУ [18].

Трилопатові вітрогенератори (Додаток Е). Трилопатові горизонтально-осьові ВЕУ є найбільш поширеними з пропонувананих на ринку вітряків. Їх номінальна потужність складає від декількох ватів до 7 МВт. Всі вітроенергетичне обладнання великої потужності (від 500 кВт і вище) представляють трилопатові горизонтально-осьові вітрогенератори. На сьогоднішній день, вітроустановкою, що має найбільшу номінальну потужність, є трилопатева Enercon E-126, номінальною потужністю 7 МВт. [19].

Багатолопатові вітрогенератори (Додаток Ж). Багатолопатові ВЕУ мають велику кількість лопатей, яке у деяких моделей може досягати 50 одиниць. Ротор цих вітрогенераторів має великий момент інерції, внаслідок чого, має більш низькі швидкості обертання, але при цьому, розвиває більш високий крутний момент. Ця їхня особливість є перевагою при роботі в ветронасосних системах, саме в цій галузі промислового застосування вони зайняли нішу [20].

1.4. Вітрові електростанції з вертикальним ротором

Вертикальні маломощні вітрогенератори використовують, як і горизонтальні вітрогенератори, в місцях, де є перебої в

забезпеченні електроенергією або відсутнє централізоване електропостачання за умов наявності достатнього вітрового потенціалу, якщо середньорічна швидкість вітру не менше 4-5 м / с. Вітрогенератори вертикально-осьові відрізняються меншим порівняно з горизонтальними генераторами рівнем шуму та починають працювати при менших початкових швидкостях вітру (Додаток І). Загальна середньорічна продуктивність вертикально-осьових вітряків орієнтовно така сама як і у горизонтальних вітрогенераторів такої ж потужності.

Ключові переваги вертикальних вітрогенераторів:

- низька стартова швидкість вітру (вертикальний вітрогенератор обертається поза залежності від напрямку вітру, і починається обертання від самого тихого бризу);
- вітрогенератор вертикальний має високу ККД крила-завдяки поєднанню вітрила і спеціального профілю;
- вітрогенератор вертикальний не потребує обслуговування (в будові генератора немає щіток, редукторів, що обслуговуються підшипників);
- вертикальний вітрогенератор забезпечений підшипником японського виробництва для наполегливої стійкості вітроколеса з 500 разовим запасом міцності, термін служби якого перевищує 20 років;
- нарощування номінальної вихідної потужності вітрогенератора в процесі експлуатації досягається шляхом додавання модулів;
- вітрогенератор вертикальний не має обмежень по захисту відстанню при установці поблизу житла, тому шумове навантаження знаходиться в межах до 20 ДБ, не має магнітного випромінювання і вібрації;
- вітрогенератор не вимагає використання додаткових пристроїв запуску;
- вітряк абсолютно нешкідливий для птахів, бджіл і навколишнього середовища, може встановлюватися максимально близько до житла, на шляху міграції перелітних птахів завдяки використанню різних типів магнітних систем, а також багатополосність розташування магнітів в генераторі, вітрогенератор досягає номінальної потужності на малих обертах;

- вітрогенератор стійко працює в агресивних середовищах (морське повітря, різкі перепади температури), завдяки повністю непроникному алюмінієвому корпусу генератора;
- використання контролера, при застосуванні вітрової системи альтернативного енергозабезпечення дозволить отримувати енергію, вироблену системою, навіть на швидкості вітру, недостатньою для досягнення номінальної потужності, а також повністю відмовитися від застосовуваних теплових резисторів;
- вертикальний вітрогенератор високо стійкий до сильного вітру, достатньо стійкий, щоб витримати ураганний вітер;
- вітряк має легкі і прості модулі, спроектована для полегшення транспортування та зведення;
- вітрогенератор вимагає мінімум місця для розміщення;
- вітряк захищений від впливу блискавок внаслідок застосування алюмінієвої конструкції;
- вертикальний вітрогенератор є безшумним і можливе масове виробництво даного типу вітрогенераторів;
- гнучкість конструктивних рішень;
- всі матеріали, з яких складається вітряк можуть бути віддані на вторинну переробку;
- можливість установки без шкоди ландшафтним видам;
- вітрогенератор може набуватися з по-етапним нарощуванням потужності[7].

Висновки до розділу 1

У розділі узагальнено теоретичні основи вітроенергетики, розглянуто конструктивні особливості різних типів вітроустановок та їхні переваги й недоліки. Встановлено, що оптимальне використання потенціалу вітру можливе завдяки поєднанню різних технічних рішень – від малих автономних систем до великих електростанцій, що забезпечує гнучкість та ефективність сучасної енергетики. Розділ показує, що вітроенергетика має різноманітні технічні рішення – від малих

автономних установок до великих електростанцій. Кожен тип конструкції має свої переваги та обмеження, а їхнє поєднання дозволяє максимально ефективно використовувати потенціал вітру для виробництва електроенергії.

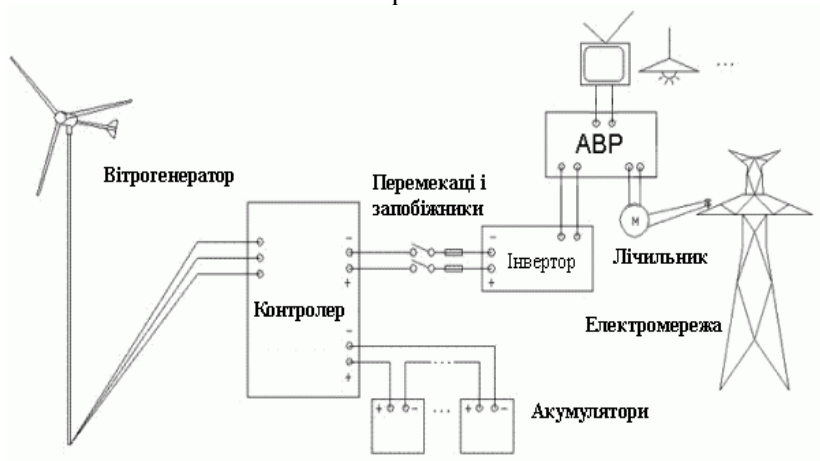
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТРОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Вибір схеми забезпечення об'єкта енергією

Схема роботи вітрогенераторної системи зі споживачем. На рис. 2.1 показана схема електропостачання споживача від вітрогенератора (з акумуляторами) і його комутація з мережею [1,19].

Рис.2.1.

Вітрогенератор (з акумуляторами) і його комутація з мережею



Дана система складається із приладів: генератор; контролер, акумулятори, комутаційний апарат, запобіжники, інвертор; АВР. Вона передбачає безперебійне постачання споживача електроенергією при перебоях у централізованій системі електропостачання. При відключенні основного джерела

живлення АВР робить перемикання з основного джерела живлення на резервний.

Резервним джерелом живлення є альтернативне джерело енергії – ВЕУ, яка перетворює енергію вітру в електроенергію.

Отримана енергія через контролер надходить на заряд АКБ. З АКБ напругу надходить на інвертор, який у свою чергу перетворює постійна напруга 12 В в змінну 220 В з частотою 50 Гц, тим самим забезпечуючи споживача електроенергією.

2.2. Вибір основного устаткування

Роботу всього комплексу визначають три основні величини

1. Вихідна потужність вітроустановки (кВт), визначається тільки потужністю перетворювача (інвертора) і не залежить від швидкості вітру, ємності акумуляторів. Ще її називають «піковим навантаженням». Цей параметр визначає максимальна кількість електроприладів, які можуть бути одночасно підключені до системи. Я не зможу одночасно споживати більше електроенергії, чим дозволяє потужність мого інвертора. Для збільшення вихідної потужності можливо одночасне підключення декількох інверторів.

2. Час безперервної роботи при відсутності вітру або при слабкому вітрі визначається ємністю акумуляторних батарей (А*год або кВт) і залежить від потужності й тривалості споживання.

3. Швидкість заряду акумуляторних батарей (кВт/година) залежить від потужності самого генератора. Також цей показник прямо залежить від швидкості вітру, а побічно від висоти щогли й рельєфу місцевості. Могутніший генератор слід брати в тому випадку, якщо вітру в місці установки слабкі або ви споживаєте електроенергію постійно, але в невеликих кількостях. Для збільшення швидкості заряду акумуляторів можлива установка декількох генераторів одночасно й підключення їх до одній акумуляторній батареї [19].

Умови добору вітрогенератора й супровідного устаткування:

– Кількість електроенергії, необхідне об'єкту щомісяця (вимірюється у кВт*годину). Ці дані необхідні для

добору генератора. Їх можна взяти з комунальних рахунків на оплату електроенергії або розрахувати самостійно.

– Бажаний час автономної роботи енергосистеми в безвітряні періоди або періоди, коли моє споживання енергії з акумуляторів буде перевищувати швидкість зарядки акумуляторних батарей генератором. Даний параметр визначає кількість і ємність акумуляторних батарей.

– Максимальне навантаження на мережу в пікові моменти (виміряється у кВт). Необхідно для добору інвертора змінного струму[20].

Вибір генератора. Для прикладу взятий приватний будинок у місті Житомир. По попереднім розрахункам будинок буде споживати не більше 150 кВт*год електроенергії щомісяця з урахуванням використання енергозберігаючих технологій. Витрати електроенергії не дуже високі, тому що хазяї будуть використовувати для опалення й нагрівання води газовий котел, а вітрогенератор необхідний тільки для повного забезпечення побутових приладів електроенергією (холодильник, освітлення). Хазяї проводять основну частину дня на роботі, а пік споживання електроенергії припадає на ранковий і вечірній час. У цей момент можуть бути включені електроприлади сумарною потужністю до 0,3 кВт. Будинок перебуває на височині і є відкритий простір, навколо місця установки вітрогенератора. Суспільна електромережа є. Необхідно повністю забезпечити 150 кВт*год електроенергії щомісяця з піковими навантаженнями до 300 Вт. Щоб зрозуміти як швидко повинні заражатися акумулятори при витраті електроенергії 150 кВт*год на місяць: Швидкість заряду акумуляторних батарей генератором повинна скласти як мінімум 350 Ватів у годину.

Розраховуємо середнє щогодинне споживання

$$W_{\text{ср.г}} = (W_m / N) / n, \quad (2.1)$$

де $W_{\text{ср.г}}$ – середнє щогодинне споживання, [кВт/г]; W_m – середньомісячне споживання; N – число днів у місяці; n – число годин у добі.

$$W_{\text{ср.г}} = (150 / 30) / 24 = 0,208 \text{ (кВт/г)}$$

Для того, щоб забезпечити заряд акумуляторних батарей генератором при цих умовах зі швидкістю 208 Ватів у годину, необхідно взяти генератор, номінальна потужність якого буде як

мінімум у три рази більше необхідної, тому що генератор буде працювати всього на 30-35% від номінальної потужності

$$P_n = W_{\text{ср.г}} * 3, \quad (2.2)$$

де P_n - номінальна потужність, [Вт].

$$P_n = 208 * 3 = 624 \text{ (Вт)}$$

Для даної вітроустановки вибираємо автогенератор Г 224 – 55А, $U_n=14$ В. Цей генератор має високі техніка – економічні показники, легкий в експлуатації й легко доступний.

Технічна характеристика генератора зведено в таблицю 2.1

Таблиця 2.1.

Технічна характеристика генератора

Марка генератора	Вихідне Напруга В	Коефіцієнт потужності (індуктивний)	Що віддається струм, А	Частота обертання ротора, про/хв	КПД, % генератора	Режим роботи	потужність, що віддається, кВт
Г 224-55А	14	0,95	55	600	60	Три-ва лий	0,77

Розрахунки швидкості вітру. У місті Житомир низька середньорічна швидкість вітру, але відкритий простір і піднесення об'єкта дозволить вітрогенератору працювати як мінімум на 30-40 % від номінальної потужності. Для більш точних показників можна зробити вимір швидкості вітру в місці установки.

Як правило, осі пропелерних вітроустановок перебувають на висоті 5-50 метрів. Для такої висоти можна користуватися спрощеною формулою знаходження швидкості вітру, що апроксимує вираження:

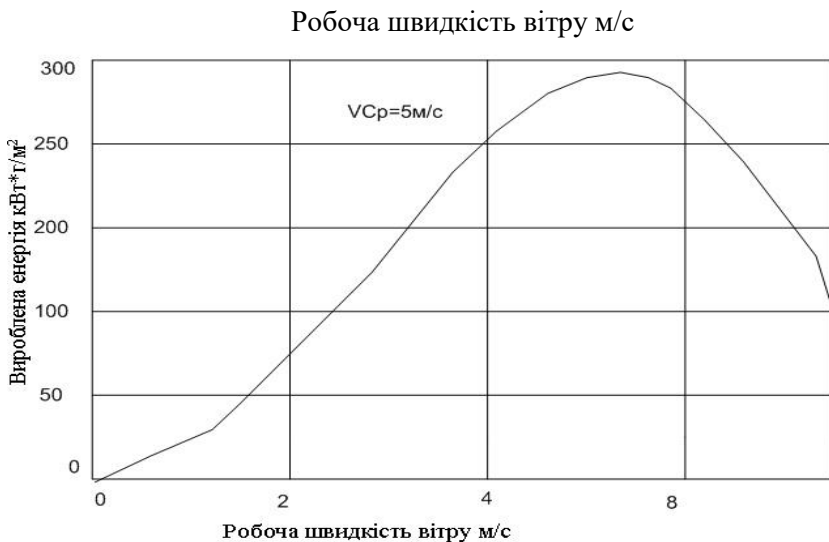
$$V_h = V_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^b \quad (2.3)$$

де: V_h – швидкість вітру на висоті h , [м/ч]; V_{10} – швидкість вітру на висоті 10м; h – висота, [м]; $b = 0,14$ – емпіричний коефіцієнт. 0,14

$$V_h = 5 * (15/10) = 5,26 \text{ (м/с)}$$

На рис. 2.2 показана залежність передана вітроустановкою енергія від робочої швидкості вітру 5 м/с.

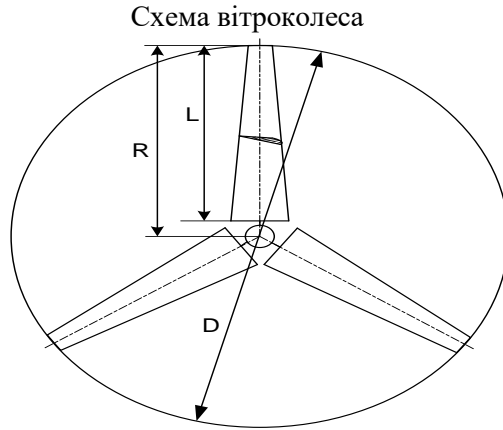
Рис.2.2.



Передана енергія вітроустановкою залежно від швидкості вітру 5 м/с. Як видно з наведеного графіка, функція вироблюваної енергії залежить від розподілу швидкостей вітру й має явно виражений максимум. Ця властивість використовується для системних вітроенергетичних установок.

Аеродинамічний розрахунки вітроколеса. Конструкційна схема 3- лопатного вітроколеса дано на Рис.2.3, де L – довжина лопаті, R – радіус кола, D – площа вітроколеса.

Рис.2.3.



Вітроколеса бувають одна лопатеві, двох лопатеві, трьох лопатеві й багатолопасні. Робоча швидкість вітру для вітроенергетичних установок пропелерного типу на території Житомирської області повинна бути 6 м/с незалежно від еквівалентної потужності споживача.

При зміні еквівалентної потужності споживача при збереженні необхідної надійності потужність вітроустановки змінюється пропорційно

$$\frac{N_{\text{вв}}}{N_{\text{ввD}}} = \frac{N}{N_{\text{в}, \text{т}}} \quad (2.4)$$

де $N_{\text{вв}}$ – потужність вітроустановки при вихідному навантаженні, кВт ($N_{\text{вв}}=0,77\text{кВт}$); N – вихідна середньодобова еквівалентна потужність навантаження, кВт ($N=0,2$ кВт); $N_{\text{ввD}}$ – розрахункова потужність вітроустановки при іншому навантаженні, кВт; $N_{\text{р}}$ – розрахункова середньодобова еквівалентна потужність навантаження, кВт.

Із пропорції (4) випливає:

$$N_{\text{ввD}} = 2N_{\text{р}} \quad (2.5)$$

Розміри ветроколеса при цьому можна визначити по формулі:

$$D_{\text{вв}} = \sqrt{\frac{4N_{\text{ввD}}}{\pi V_{\text{р}}^3 \rho_{\text{вв}}}}, \quad (2.6)$$

де $D_{\text{вв}}$ – розрахунковий діаметр вітроустановки, м;
 $V_{\text{р}}$ – поточне значення робочої швидкості вітру, м/с.
 Звідси:

$$D_{ву} = \sqrt{\frac{4 \cdot 707}{3,14 \cdot 145,5 \cdot 0,75}} = 2,87 \approx 3 \text{ м}$$

Виходячи з отриманих даних ухвалюємо $D = 3$ м діаметр вітроколеса. Довжина лопасті $L = 1,5$ м.

2.3. Розрахунки струмів короткого замикання

Коротким замиканням називається всяке непередбачуване нормальними умовами роботи з'єднання двох точок електричного кола. У трифазних мережах змінного струму при розрахунках ураховують трифазне й двофазне КЗ, а в системах із заземленої нейтраллю також однофазне КЗ на землю. Замикання на землю в системах з ізольованою нейтраллю не є коротким замиканням, а розглядається як ненормальний режим роботи електричної мережі. Очевидно, що найбільший струм буде протікати по ланцюгу при трифазному КЗ, а найменший, відповідно, при однофазному. Найчастіше струми КЗ бувають значно більше струмів навантаження, але можуть бути порівнянні з ними за значенням. У цьому й полягає одна з особливостей сільських електричних мереж, яка пов'язана з їхньою значною довжиною й розгалуженістю [9].

Види КЗ:

- У трифазних електричних мережах розрізняють наступні види коротких замикань і час його дії.
- Однофазне (замикання фази на землю) – К(1);
- Двофазне (замикання двох фаз між собою) – К(2);
- Двофазне на землю (2 фази між собою й одночасно на землю) – К(1,1);
- Трифазне (3 фази між собою) – К(3).

В електричних машинах можливі короткі замикання. Міжвиткові – замикання між собою витків обмоток ротора або статора, замикання обмотки на металевий корпус. Наслідок короткого замикання: при короткому замиканні різко зростає сила, що протікає в ланцюзі, струму, що звичайно приводить до механічного або термічному ушкодженню пристрою. У місці короткого замикання може виникнути електрична дуга. Усе це нерідко стає причиною пожеж.

Коротке замикання в одному з елементів енергетичної системи здатне порушити її функціонування в цілому – в інших

споживачів може знизитися живляча напруга, при коротких замиканнях у трифазних мережах виникає асиметрія напруг, що порушує нормальне електропостачання. У більших енергомережах коротке замикання може викликати важкі системні аварії.

У випадку ушкодження проводів повітряних ліній електропередачі й замиканні їх на землю, у навколишньому просторі може виникнути сильне електромагнітне поле, здатне навести в близько розташованому встаткуванні ЕДС, небезпечну для апаратури й працюючих з нею людей. Поруч із місцем аварії відбувається розтікання потенціалу по поверхні землі, крокова напруга може досягти небезпечного для людини значення.

Методи захисту. Для захисту від короткого замикання вживають спеціальних заходів, що обмежують струм короткого замикання:

- установлюють струмообмежуючі електричні реактори;
- застосовують розпаралелювання електричних кіл тобто відключення секційних і шиноз'єднувальних вимикачів;
- використовують понижувальні трансформатори з розщепленою обмоткою низької напруги;
- використовують устаткування, що відключає, — швидкодіюче комутаційні апарати з функцією обмеження струму короткого замикання тобто плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі;
- застосовують пристрою релейного захисту для відключення ушкоджених ділянок ланцюги [9].

2.4. Вибір апаратури керування й захисту

Автоматичний вимикач – це контактний комутаційний апарат (електротехнічний пристрій), здатний включати, проводити й відключати струми при нормальному стані електричного ланцюга, а також включати, проводити протягом певного встановлюваного часу й відключати струми в певному аномальному стані ланцюга електричного струму. Автоматичний вимикач призначений для нечастих включень, а також для захисту кабелів і кінцевих споживачів від перевантаження й коротких замикань [20].

Автоматичні вимикачі вибирають виходячи з наступних умов

$$I_R \geq (0,5 \dots 0,75) I_{пп}; \quad (2.8)$$

$I_{н.а} \geq I_{расч}$.

де I_R - струм розрахунковий, А; $I_{пп}$ – номінальний струм навантаження напівпровідникового інвертора, А.

Для QF 1: $I_R \geq 0,75 * 55 = 41,25$ А.

Ухвалюємо автоматичний вимикач ВА- 101, $I_n = 63$ А; $I_{max} = 3000$ А;

Для QF 2: $I_R \geq 0,75 * 25 = 18,75$ А.

Ухвалюємо автоматичний вимикач ВА-101, $I_n = 32$ А; $I_{max} = 3000$ А;

Магнітні пускачі вибираються виходячи з умов:

КМ1: ПМЛ121002, $I_{н.п} = 10$ А, $U_{кат.н} = 220-230$ В.

КМ2: ПМЛ121002, $I_{н.п} = 10$ А, $U_{кат.н} = 220-230$ В.

Вибір контролера. При середньому рівні заряду акумуляторних батарей 560 Вт/год за інтервал 8-9 годин вітровий генератор зможе виробити близько 5000 Ватів. У вітряні дні цей показник може збільшитися як мінімум у два рази, тому за той же період часу може бути вироблено 10000 Ват.

На елементній базі, аналогічної, що застосовувався в описаному вище лінійному стабілізаторі, можна побудувати імпульсний стабілізатор напруги. При таких же характеристиках він буде мати значно менші габарити й кращим тепловим режимом.

При першому включенні, коли конденсатор С4 виряджений і до виходу підключене досить потужне навантаження, струм протікає через ІС лінійного стабілізатора DA1. Викликане цим струмом падіння напруги на R1 відмикає ключовий транзистор VT1, який відразу входить у режим насичення, тому що індуктивний опір L1 велике й через транзистор протікає досить великий струм. Спадання напруги на R5 відкриває основний ключовий елемент – транзистор VT2. Струм, що наростає в L1, заряджає С4, при цьому через зворотний зв'язок на R8 відбувається запирання стабілізатора й ключового транзистора. Енергія, запасена в котушці, харчує навантаження. Коли напруга на С4 падає нижче напруги стабілізації,

відкривається DA1 і ключовий транзистор. Цикл повторюється із частотою 20-30 кГц. [21].

Ланцюг R3, R4, 32 задасть рівень вихідної напруги. Його можна плавно регулювати в невеликих межах, від Uст DA1 до Uвх. Однак якщо Uвих підняти близько до Uвх, з'являється деяка нестабільність при максимальному навантаженні й підвищений рівень пульсації. Для придушення високочастотних пульсацій на виході стабілізатора включений фільтр L2, 35.

Схема досить проста й максимально ефективна для даного рівня складності. Усі силові елементи VT1, VT2, DA1 забезпечуються невеликими радіаторами. Вхідна напруга не повинна перевищувати 30 В, що є максимальним для стабілізаторів KP142EH8. Випрямні діоди застосовувати на струм не менш 3 А, наприклад КД201Б.

Вибір інвертора. Вибір інвертора проводиться виходячи з пікової потужності енергоспоживання стандартної напруги 220В, 50Гц. Існує два режими роботи інвертора. Перший режим – це режим тривалої роботи. Даний режим відповідає номінальній потужності інвертора. Другий режим – це режим перевантаження. У даному режимі більшість моделей інверторів у плінні декількох десятків хвилин (до 30) можуть віддавати потужність в 1,5 рази більше, ніж номінальна. У плінні декількох секунд більшість моделей інверторів можуть віддавати потужність в 2,5-3, 5 рази більшу чому номінальна. Сильне короткочасне перевантаження виникає, наприклад, при включенні холодильника. Як правило, потужність інвертора приблизно дорівнює розрахунковій потужності ВЕУ [1].

Для максимального споживання електроенергії в пікові моменти до 250 Вт, можна встановити інвертор 300 ВА. Він зможе забезпечити постійне навантаження до 300 Вт і короткочасне навантаження до 350 Вт. Пристрій призначений для живлення апаратури, розрахованої на змінну напругу 220 В частотою 50 Гц, від акумуляторної батареї напругою 12 В.

Основні технічні характеристики інвертора. Вхідна напруга, 10...15В. Межі зміни вихідної напруги при зміні вхідної напруги й потужності навантаження, 215...230В. Максимальна потужність навантаження, 350 Вт .

Пристрій містить, що задає генератор на мікросхемі DA1, стабілізатор його живлення (DA2), розрядні польові транзистори

VT1-VT4, потужні транзистори VT5 і VT6, комутуючі струм у первинній обмотці трансформатора T1, вузол захисту по струму на реле ДО1 вузол стабілізації вихідної напруги на мікросхемі DA3 [21].

Генератор виробляє прямокутні імпульси із частотою близько 50 Гц із захисними паузами, що виключають одночасне відкриття комутуючих транзисторів VT5 і VT6. Коли на виході Q1 (або Q2) з'являється низький рівень, відкриваються транзистори VT1 і VT3 (або VT2 і VT4), викликаючи швидко розрядку затворних ємностей, а виходить, і форсоване закривання транзисторів VT5 і VT6.

Властиво перетворювач зібраний за двотактною схемою й особливостей не має. Розглянемо більш докладно роботу вузла стабілізації вихідної напруги. Якщо напруга на виході перетворювача з якої-небудь причини перевищить установлене значення, напругу на резисторі R12 перевищить 2,5 В, струм через стабілізатор DA3 різко зросте. Це, у свою чергу, викличе висвітлення фотодіода оптрона U1 і поява сигналу високого рівня на вході FV (вивід 2) мікросхеми DA1. Її виходи Q1 і Q2 перемкнуться в стан низького рівня, транзистори VT5 і VT6 швидко закриються й струм у напівобмотках I.1 і I.2 стан з появою на її виходах протифазних імпульсів [19].

Реле вузла струмового захисту – спеціальне (тобто не серійне). Обмотка реле містить 1 -2 витка (підбирають виходячи з необхідного струму спрацьовування захисту) ізольованого проведення, розрахованого на протікання струму 20...30 А. Проведення намотують на корпусі геркона КЭМ2 або будь-якого іншого із замикаючими контактами.

У пристрої також є вузол захисту по струму, зібраний на реле ДО1. Для струмового захисту інвертора застосоване спеціальне реле, виготовлене на базі геркона КЭМ-2. Технічні дані геркона КЭМ-2 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Технічні дані геркона КЭМ-2

Загальна довжина, мм	41
Довжина балона, мм	20
Діаметр балона, мм	3
Максимальна комутаційна потужність, Вт	9

Максимальний комутаційний струм, А	0,25
Максимальна комутаційна напруга, В	180
Максимальний час спрацьовування	1,0
Максимальний час відпускання	0,3
Максимальне МДС спрацьовування, А	65
Мінімальне МДС відпускання, А	10
Максимальний коефіцієнт повернення	0,9
Мінімальний коефіцієнт повернення	0,35

Для забезпечення його спрацьовування необхідна МДС $F=65A$. Уважаючи струм спрацьовування відомим ($I_{cp}=30A$), визначимо число витків обмотки реле, W .

$$W = \frac{F}{I_{cp}}, \quad (9)$$

де W – число витків, шт;

F – максимальне МДС спрацьовування, А;

I_{cp} – струм спрацьовування, А.

Якщо $I_{cp}=20\dots30A$, то $W = \frac{65}{20\dots30} \approx 3,25\dots2,2$ Витка.

Можна прийняти $W=3$ витка.

В основі розрахунків магнітного ланцюга геркона лежить закон повного струму: $\oint H dL = F$. де H - вектор напруженості магнітного поля; dL - довжина шляху інтегрування.

Враховуючи, що в цьому випадку обмотка намотується на корпус геркона, можна прийняти, що L - це довжина балона, і $\oint H dL = H * L$ [11], якщо обмотку розташовувати так, щоб контакти були на осьовій лінії обмотки в її центрі. Якщо обмотка перебуває на торці балона, то напруженість H зменшиться майже в 2 рази. У такий спосіб переміщаючи обмотку уздовж балона, можна в деяких межах відрегулювати чутливість реле.

Якщо ж вихідна змінна напруга з якої-небудь причини знизиться, світіння фотодіода оптрона припиниться, мікросхема DA1 перейде в активне струм, що протікає через обмотку реле, перевищить установлене значення, замкнуть контакти геркона ДО 1.1. На вході FC (вивід 1) мікросхеми DA1 з'явиться високий рівень і виходи мікросхеми перемкнуться в стан низького рівня, викликаючи швидке закриття транзисторів VT5 і VT6 і різке

зменшення споживаного струму. Після цього, незважаючи на те що контакти геркона Д01.1 будуть розімкнуті, мікросхема DA1 залишиться в заблокованому стані (низький рівень на виходах).

Для запуску перетворювача необхідний перепад напруги на вході IN (вивід 3) DA1, що досягається або короточасним відключенням живлення, або короточасним замиканням конденсатора C1 Для цього можна встановити кнопку без фіксації, контакти якої підключити паралельно конденсатору C1. Світлодіод HL1 виконує функцію індикатору наявності вихідної напруги перетворювача.

Трансформатор Т1 виконаний на основі промислового ТС-180 від блоку живлення лампового телевізора. Усі його вторинні обмотки видаляють, а мережну на напругу 220 В залишають. Вона служить вихідною обмоткою перетворювача. Напівобмотки 1.1 і 1.2 намотують проведенням ПЭВ-2 1,8. Вони містять по 35 витків. Початок однієї обмотки з'єднують із кінцем іншої й одержують середню крапку первинної обмотки.

Деталі пристрою, крім трансформатора Т1, діодного мосту VD4 і конденсатора З8, розташовані на однібічній друкованій платі з фольгованного склотекстоліту товщиною 1,5...2 мм, креслення якої показаний на мал. 2. Транзистори VT5, VT6 упаяні в плату й пригвинчені через слюдяні прокладки до металевої пластини розмірами 40x30 мм, що служить тепловідводом. Гвинти, що кріплять транзистори, ізольовані від пластини фторопластовими трубками й склотекстолітовими шайбами. Виводи обмоток I припаяні до контактних пелюсток, пригвинчених до фланців транзисторів. Нижче на наведеному рис. 2.4, показана схема розташування деталей на друкованій платі і її габаритні розміри

Перетин струмоведучих доріжок, по яких протікає великий струм, збільшують напоюванням на них додаткових провідників і валиків із припою. Добором резистора R3 установлюють необхідну частоту вихідної напруги перетворювача, а добором резистора R12 - амплітуду вихідної напруги, рівну 215...220 В, при мінімальній живлячій напрузі (10 В).

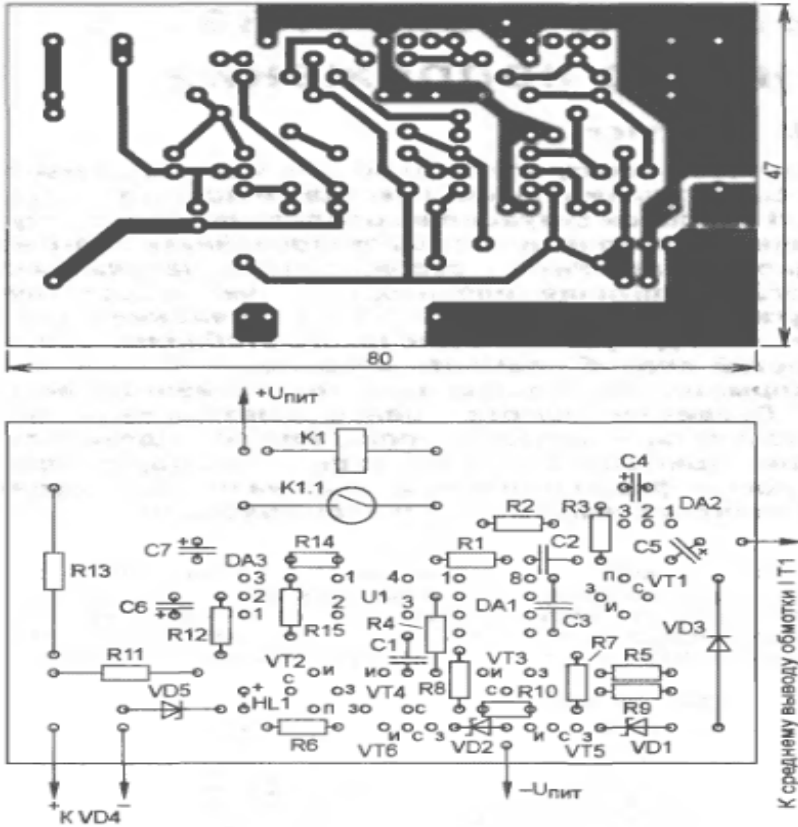
Вибір АВР. АВР (Автоматичне введення резерву) – дозволяє переключити живлення об'єкта на резервне живлення від АКБ при відсутності централізованого електропостачання. У

якості контролюючого пристрою використовується реле контролю напруги марки РКН-1-1-15 АС220В УХЛ2, яке дозволяє автоматично контролювати наявність напруги в централізованій мережі й при його відключенні, переходити на резервне джерело живлення.

Реле призначене для захисту електроустаткування від роботи на зниженому або підвищеній напрузі через неполадки в мережі. Живлення реле здійснюється від контрольованого напруги, окремої напруги живлення не потрібно. Технологічні характеристики реле наведено в таблиці 2.3. у додатку К.

Рис.2.4.

Показана схема розташування деталей на друкованій платі

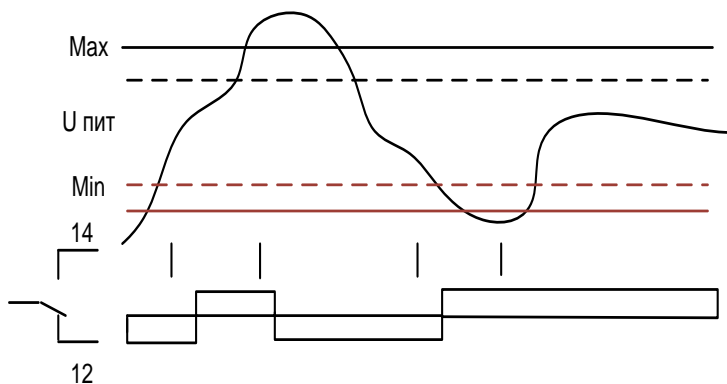


Реле встановлюється на монтажну шину DIN EN 50022 з переднім підключенням проводів живлення, що комутуються електричних кіл. Конструкція клем забезпечує надійний затискач проводів перетином до 2,5 кв. м. На лицьовій панелі розташовані: зверху регулятор верхнього порога спрацьовування, знизу регулятор нижнього порога спрацьовування, а між ними – регулятор установки затримки часу спрацьовування, а також індикатор включення напруги живлення «U» (зелений) і індикатор спрацьовування вбудованого електромагнітного реле «R» (зелений).

Навколишнє середовище – вибухобезпечн, що не містить пилу в кількості, що порушує роботу реле, а так само агресивних газів у концентраціях, що руйнують метали й ізоляцію. Вібрація місць кріплення реле із частотою від 1 до 100 Гц при прискоренні до 9,8 м/с². Вплив по мережі живлення імпульсних перешкод амплітудою, що не перевищує подвійну величину номінальної напруги живлення й тривалістю не більш 10 мкс. Вплив електромагнітних полів, створюваних проведенням з імпульсним струмом амплітудою до 100 А, розташованим на відстані не менш 10 мм від корпусу реле. Діаграма роботи реле представлено на Рис 2.5.

Рис.2.5

Робота реле контролю напруги



При подачі живлення, якщо встановлена затримка спрацьовування й напруга мережі перебуває в діапазоні між верхнім і нижнім установленими порогами напруги, вбудоване електромагнітне реле ввімкнеться по закінченню відліку часу затримки t , якщо вона встановлена. При цьому контакти реле 11-14 замикаються й включається індикатор «R».

Якщо напруга в мережі стало більше верхнього порога або менше нижнього, вбудоване електромагнітне реле вимикається по закінченню відліку часу затримки спрацьовування (контакти 11-12 замикаються). Коли контрольоване напруга вертається в норму, реле включається по закінченню затримки спрацьовування.

2.5. Вибір акумуляторної батареї

Електричний акумулятор – хімічне джерело струму багаторазової дії. Електричні акумулятори використовуються для нагромадження енергії й автономного живлення різних пристроїв.

Вибір АБ проводиться залежно від середньорічної швидкості вітру в районі застосування. Характеристики деяких АБ, які можуть бути рекомендовані для використання в енергоустановці наведено в таблиці 2.4 Додаток Л. Перевага батарей типу «бСТ» – низька вартість, недолік - невеликий термін служби. Перевага батарей типу «ТНЖ» – великий термін служби. Недоліки батарей типу «ТНЖ» наступні. По-перше, відносно більша вартість. По-друге, через великий розкид напруги в процесі роботи ємність даної батареї може бути недовикористана, тому що робочий діапазон напруги АБ ширше, чим діапазон вхідної напруги звичайного інвертора. З наведеної таблиці видно, що за інших рівних умов вигідно використовувати дорогі батареї із тривалим терміном служби, тому що вони окупаються через кілька років. Необхідна напруга забезпечується шляхом послідовного з'єднання елементів. Паралельне з'єднання допускається тільки для деяких спеціальних типів АБ.

Принцип дії акумулятора заснований на оборотності хімічної реакції. Працездатність акумулятора може бути відновлена шляхом заряду, тобто пропущенням струму в

напрямку, зворотному напрямку струму при розряді. Кілька акумуляторів, об'єднаних в одне електричне коло, називають акумуляторна батарея. Ємність акумуляторів звичайно вимірюють в ампер-годинах. Електричні й експлуатаційні характеристики акумулятора залежать від матеріалу електродів і состава електроліту. Зараз найпоширеніші наступні типи акумуляторних батарей які представлені нижче в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5.

Різновиди акумуляторних батарей

Тип	ЕРС(В)	Область застосування
свинцево-кислотні (Lead Acid)	2,1	автомобілі, електронавантажувачі, електротягачі, аварійне електропостачання, джерела безперебійного живлення
нікель-кадмієві (Nіcd)	1,2	заміна стандартного гальванічного елемента, тролейбуси.
нікель-метал-гидридні(Nimh)	1,2	заміна стандартного гальванічного елемента, електромобілі
літій-іонні (Li-ion)	3,6	мобільні пристрої, електромобілі
літій-полімерні (Li-pol)	3,6	мобільні пристрої
нікель-цинкові (Nіzn)	1,6	заміна стандартного гальванічного елемента

У міру вичерпання хімічної енергії напруга й струм падають, акумулятор перестає діяти. Зарядити акумулятор (батарею акумуляторів) можна від будь-якого джерела постійного струму з більшою напругою при обмеженні струму. Стандартним вважається зарядний струм (в амперах) в 1/10 номінальній ємності акумулятора (в ампер·часах).

Типи акумуляторів:

- Залізо – повітряний акумулятор;
- Залізо – нікелевий акумулятор;
- Лантан – фторидний акумулятор;

- Літій – залізо–сульфідний акумулятор;
- Літій – іонний акумулятор;
- Літій – полімерний акумулятор;
- Літій – фторний акумулятор;
- Літій – хлорний акумулятор;
- Натрій – нікель– хлоридний акумулятор;
- Натрій – сірчаний акумулятор;
- Нікель – кадмієвий акумулятор;
- Нікель – метал - гідридний акумулятор;
- Нікель – цинковий акумулятор;
- Свинцево – водневий акумулятор;
- Свинцево – кислотний акумулятор;
- Свинцево – олов’яний акумулятор;
- Свинцево – цинковий акумулятор;
- Срібно – кадмієвий акумулятор;
- Срібно – цинковий акумулятор;
- Цинк – бромний акумулятор;
- Цинк – хлорний акумулятор [19].

Розрахунки акумуляторної батареї. Маючи пікову потужність 300 Вт і можливий час роботи від резервного джерела живлення 6 годин, КПД інвертора невідомий, ухвалюємо КПД інвертора рівним 80% і визначимо струм розрядки акумулятора:

$$\text{Іраз. акб} = W/U/\eta = A;$$

де: Іраз. Акб – струм розрядки акумуляторної батареї; W – пікова потужність, Вт; U – напруга АКБ, В; η – КПД інвертора, %.

$$I = 300/12/0,8 = 31,25 \text{ А.}$$

Розрахувавши струм розряду акумулятора за наявним даними розрахуємо ємність акумуляторної батареї

$$E = I * H = A * \text{година}; (2.12)$$

де E – ємність акумуляторної батареї, А*година; H – час роботи споживача від резервного джерела електропостачання, h.

$$E = 31,25 * 6 = 187,5 \text{ А*година.}$$

Оскільки необхідний час роботи рівно 6 годиннику, потрібно побільшати розраховану ємність на 20%. Одержимо 225 А*годину. За наявним даними зробимо вибір акумуляторної батареї: ухвалюємо 2 батареї VARTA 110 Ач.

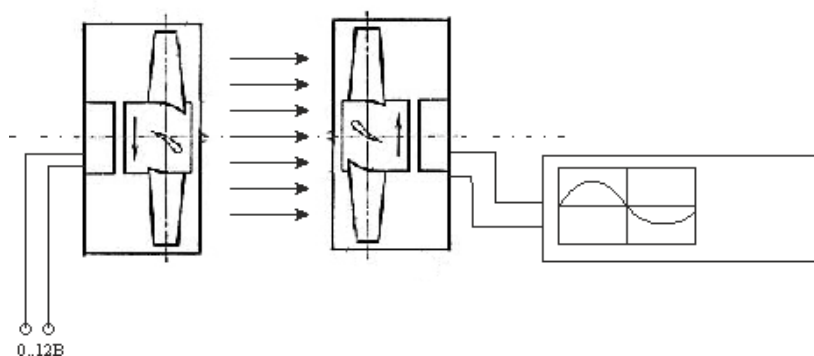
2.6. Моделювання роботи вітрогенератора

В експерименті досліджується робота вітрогенератора. В якості основного елемента був використаний кулер ПК із обмоткою на статорі. Моделювання вітрових потоків здійснювалось за рахунок іншого кулера який давав швидкість повітряного потоку від 2 до 6 м/с.

Швидкість повітряного потоку вимірюється за допомогою анемометра (Додаток М). Під'єднавши вітрогенератор до осцилографа. Переконались, що на виході отримуємо змінну напругу. Рис.2.6.

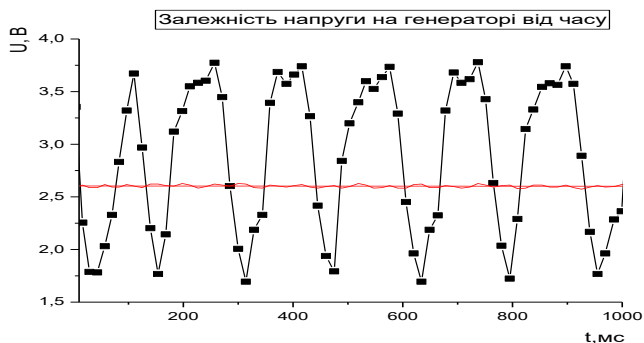
Рис.2.6.

Демонстрація змінної ЕРС за допомогою осцилографа.



Графічна залежність $U(t)$ без випрямляча і з діодним фільтром. Рис. 2.7.

Рис. 2.7.

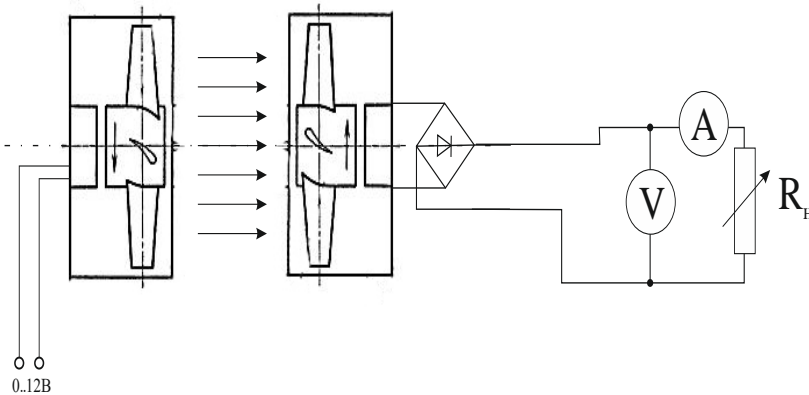


Приєднавши діодний місток і конденсатор в якості фільтра отримали постійний струм з ЕРС = 2,6 В. Подальші вимірювання проводили з фільтром. Зібравши вимірювальну установку за схемою рис. 2.8, провели дослідження залежності струму, напруги і потужності від опору навантаження.

В якості амперметра і вольтметра використовувались універсальні мультиметри (Додаток Н).

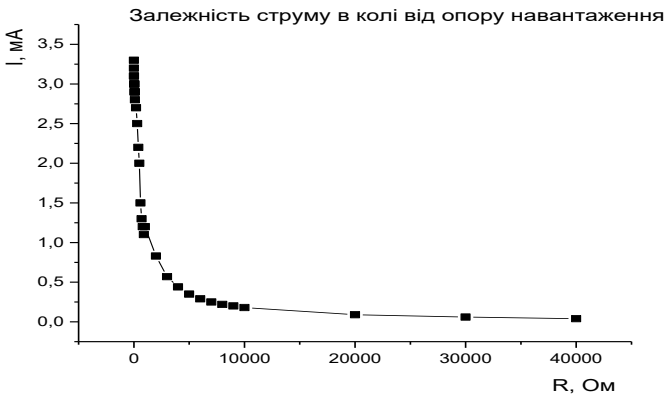
Рис. 2.8

Схема експериментальної установки.



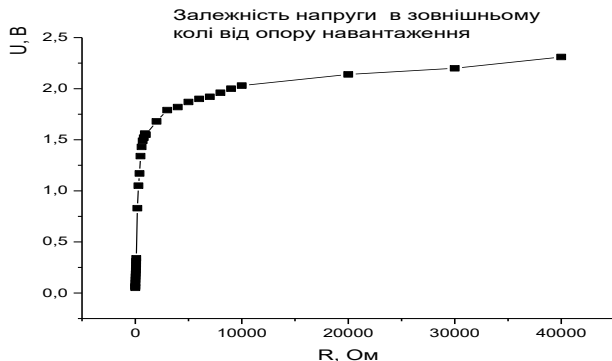
Роль навантаження виконував магазин опорів. Вимірювання електричних параметрів здійснювалось при швидкості вітру 6 м/с. Рис.2.9

Рис.2.9



З огляду залежності $I(R)$ бачимо що із зменшенням опору навантаження струм в колі зростає з 0,01 мА до 3,5мА. А залежність напруги в зовнішньому колі при зменшенні опору навантаження падає з 2,5 В до 0,05В. Рис.2.10

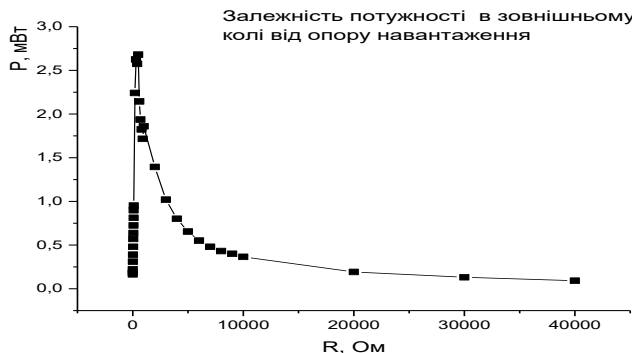
Рис.2.10

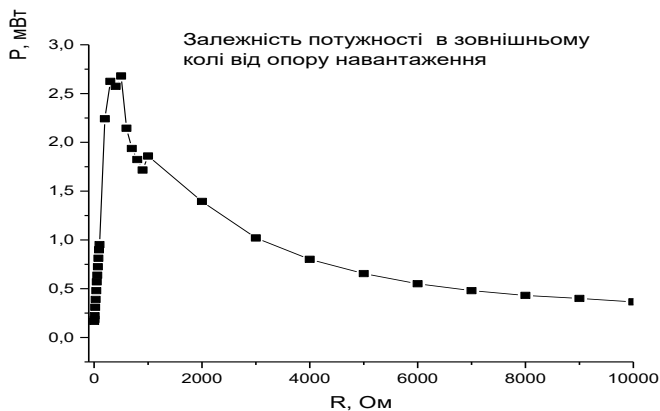


Наведені графічні залежності показують залежність струму і напруги від навантаження, що унеможливило використання вітрогенератори в прямому режимі при великих навантаженнях.

Досить наочним є графік залежності потужності, що виділяється в зовнішньому колі від навантаження. При опорах навантаження від 200 Ом до 600 Ом спостерігається зростання корисної потужності, яку надає вітрогенератори в зовнішнє коло. По максимуму можемо зробити висновок про внутрішній опір вітрогенератори, який лежить в межах 300 Ом. Рис.2.11.

Рис. 2.11.

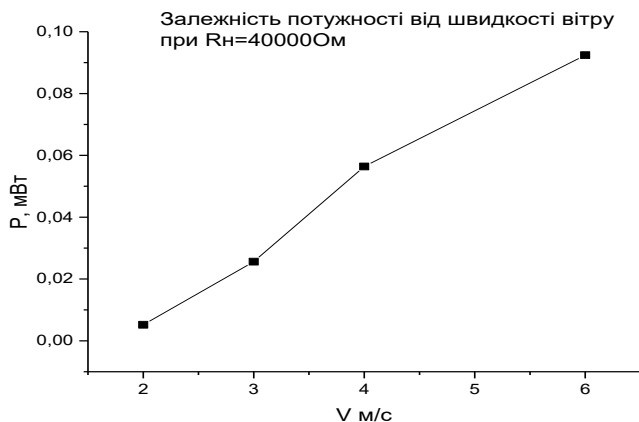


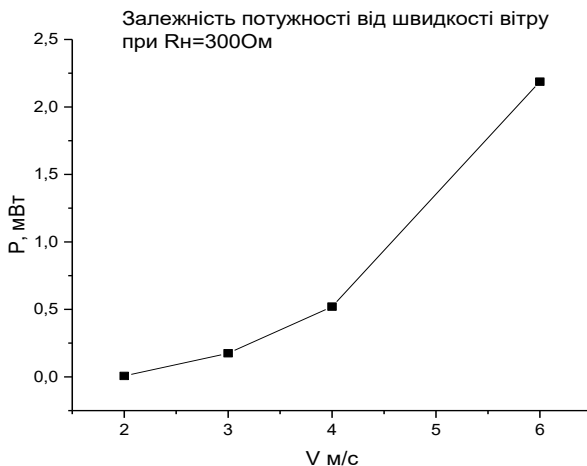


Нами проведено експериментальне дослідження залежності параметрів вітрогенератора від швидкості потоку повітря. При навантаженні 40 кОм і навантаженні 300 Ом. Додаток П.

Характер залежності струму і напруги при різних навантаженнях майже не відрізняється. Залежність потужності, що виділяється в зовнішньому колі при опорі навантаження 40 кОм майже лінійна. При навантаженні 300 Ом із збільшенням швидкості вітру потужність зростає більш стрімко (потужність лінійно залежить від квадрату швидкості вітру). Рис.2.12.

Рис.2.12





Висновки до розділу 2

У розділі здійснено комплексну розробку та дослідження вітрогенераційної установки: від вибору схеми енергопостачання та основного обладнання до моделювання її роботи. Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність застосування розробленої системи, а також створюють основу для практичної реалізації та подальшого вдосконалення вітроенергетичних технологій. Обґрунтовано схему енергопостачання, яка враховує особливості споживання та забезпечує надійність роботи системи.

Вибір схеми дозволяє оптимально інтегрувати вітрогенератор у загальну енергетичну структуру об'єкта. Проведено аналіз та визначено основні елементи установки, що відповідають технічним вимогам і забезпечують ефективність роботи.

Вибір устаткування базувався на критеріях енергоефективності, надійності та економічної доцільності. Виконані розрахунки дозволили оцінити рівень електричної безпеки системи та визначити параметри захисних пристроїв. Це забезпечує стабільність роботи установки та мінімізує ризики аварійних ситуацій. Визначено оптимальний тип та ємність акумуляторної батареї, що забезпечує накопичення та стабільне

постачання електроенергії у випадках нерівномірності вітрового потоку. Це дозволяє підтримувати безперервність енергопостачання.

Проведене моделювання підтвердило працездатність обраної схеми та устаткування, а також дозволило оцінити ефективність системи в різних режимах роботи. Результати моделювання стали основою для подальшої оптимізації параметрів установки.

ВИСНОВКИ

У роботі узагальнено теоретичні основи вітроенергетики, розглянуто конструктивні особливості різних типів вітроустановок та їхні переваги й недоліки. Розглянуто, що вітроенергетика має різноманітні технічні рішення – від малих автономних установок до великих електростанцій. Кожен тип конструкції має свої переваги та обмеження, а їхнє поєднання дозволяє максимально ефективно використовувати потенціал вітру для виробництва електроенергії.

Здійснено комплексну розробку та дослідження вітрогенераційної установки: від вибору схеми енергопостачання та основного обладнання до моделювання її роботи. Отримані результати підтверджують технічну та економічну доцільність застосування розробленої системи, а також створюють основу для практичної реалізації та подальшого вдосконалення вітроенергетичних технологій.

Проведене дослідження дає змогу говорити про перспективність подальшого дослідження вітрогенераторів. Також нами було визначено переваги і недоліки вітроенергетики.

Переваги:

- екологічність енергії (Електроенергія виробляється за рахунок «чистого» джерела – сили вітру. Вітрові установки не забруднюють навколишнього середовища і не супроводжуються шкідливими викидами);

- відновлювальна енергія (Сила вітру є невичерпним джерелом енергії)

- можливість віддаленого встановлення;

- для використання вітрогенераторів не потрібні інші джерела енергії, установки повністю автономні;
- ергономіка (Монтаж обладнання малої потужності займає порівняно не багато часу і не потребує складної техніки. Встановлені вітрогенератори займають не велику площу).

Недоліки:

- вартість (Відносно висока ціна на вітрогенератор);
- Нестабільність. (Не можливо передбачити силу вітру. Тому немає гарантій на вироблення достатньої кількості енергії на протязі року);
- Шум. (Шумове забруднення від лопатей вітрогенератора, яке викликає незручності для людей і тварин які проживають поряд);
- Гео та метео вимоги до місця встановлення (Для встановлення вітрогенератора і його ефективного використання потрібно дотримуватись вимог до рельєфу та вітрових показників).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В. М. Вітрові електростанції: технології та економіка. Дніпро : ДНУ, 2019. URL : www.ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/26158 (дата звернення 06.10.2025).
2. Боярчук В. М. Альтернативна енергетика: навчальний посібник. Львів : Магнолія, 2016. URL : www.files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0053855.pdf (дата звернення 19.11.2025).
3. Гальчак В. П. Вітроенергетика: перспективи розвитку в Україні. Львів : ЛНУ, 2018. URL : www.sae.gov.ua/static-objects/saee/imported_content/679269ad9ebc8.pdf (дата звернення 02.11.2025).
4. Гончарук І. В. Енергетика майбутнього: альтернативні джерела. Харків : Основа, 2016. URL : www.dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/21304 (дата звернення 26.10.2025).

5. Гончарук І. В., Бойко В. М. Вітроенергетика та сонячна енергетика: порівняльний аналіз. Харків : Основа, 2018. URL : www.ela.kpi.ua/bitstream/123456789/62632/1/2019-415-419.pdf (дата звернення 13.11.2025).
6. Григор'єв О. М. Вітроенергетика України: стан та перспективи. Київ : НАН України, 2018. URL : www.uk.wikipedia.org/wiki/Вітрова_енергетика_України (дата звернення 16.10.2025).
7. Григор'єв О. М. Вітроенергетика: екологічні переваги та проблеми. Київ : НАН України, 2019. URL : www.sae.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/vitroenerhetyka (дата звернення 08.11.2025).
8. Дяченко П. С. Вітроенергетика в системі сталого розвитку. Київ : КНЕУ, 2020. URL : www.ela.kpi.ua/bitstream/123456789/37225/1/eete2019-1_01.pdf (дата звернення 26.10.2025).
9. Дяченко П. С., Кузьменко О. В. Альтернативна енергетика: вітрові та сонячні системи. Київ : КНЕУ, 2022. URL : www.elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4568/1/alternativni.pdf (дата звернення 21.11.2025).
10. Кудря С. О. Вітроенергетика: сучасний стан та перспективи розвитку в Україні. Київ : НАН України, 2018. URL : www.ela.kpi.ua/items/a711dfe8-641b-4bb5-9c23-72a5b81061f7/full (дата звернення 28.10.2025).
11. Кудря С. О. Вітроенергетика: світовий досвід та українські реалії. Київ : НАН України, 2019. URL : www.ela.kpi.ua/items/d40eeddf-f139-42c9-a32b-9043b01aefca (дата звернення 18.11.2025).
12. Кудря С. О., Григор'єв О. М., Шевченко В. В. Вітроенергетика: сучасні технології. Київ : НАН України, 2021. URL : www.elib.chdtu.edu.ua/e-books/4164 (дата звернення 08.11.2025).
13. Кудря С. О., Шевченко В. В. Вітроенергетика: економічна ефективність. Київ : Наукова думка, 2020. URL : www.irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000541189 (дата звернення 15.10.2025).
14. Кудря С. О., Шевченко В. В., Григор'єв О. М. Вітроенергетика: навчальний курс. Київ : НАН URL :

www.scholar.google.com/citations?user=bRwyc-oAAAA (дата звернення 11.10.2025).

15. Григор'єв О. М. Вітроенергетика: екологічні переваги та проблеми. Київ : НАН України, 2019. URL : www.sae.gov.ua/diialnist/vidnovliuvalna-enerhetyka/alternatyvna-enerhetyka/vitroenerhetyka (дата звернення 25.11.2025).

16. Дяченко П. С. Вітроенергетика. URL : www.uk.wikipedia.org/wiki/Вітроенергетика (дата звернення 25.11.2025).

17. Кузьменко О. В. Енергетика та екологія : альтернативні джерела. Львів : ЛНУ, 2017. URL : www.files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0053855.pdf (дата звернення 05.10.2025).

18. Мартинюк О. М. Вітрові турбіни: конструкція та принцип роботи. Київ : Політехніка, 2016. URL : www.uk.renovablesverdes.com/вітрових-турбін (дата звернення 21.11.2025).

19. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Ципленков Д. Основи вітроенергетики: підручник. Дніпро : НГУ, 2015. URL : www.vde.nmu.org.ua/ua/lib/OB-2015-02-11.pdf (дата звернення 25.10.2025).

20. Шевченко В. В. Вітрові електростанції: технічні аспекти. Київ : КПІ, 2017. URL : www.lsej.org.ua/9_2021/31.pdf (дата звернення 25.10.2025).

21. Топ 7 найпотужніших вітрових електростанцій України. URL : www.intime.ua/top-7-najpotuzhnishyh-vitrovuyh-elektrostantsij-ukrayiny (дата звернення 21.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Карта середньорічної швидкості вітру

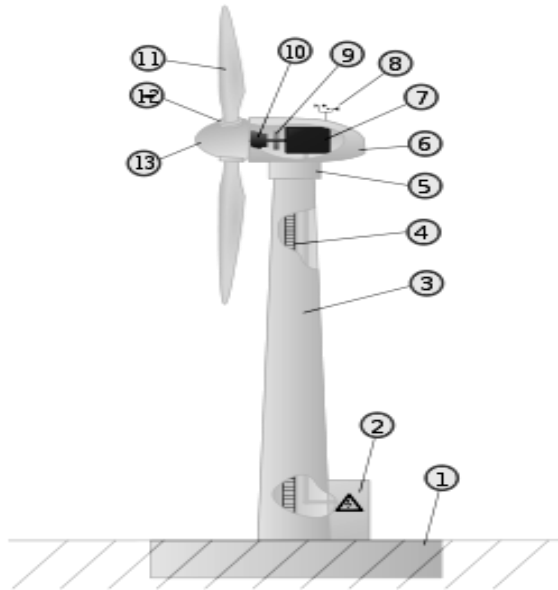


Додаток В

Вітроенергетична установка



Будова вітроенергетичної установки



1. Фундамент
2. Силовий шафа, що включає силові контактори й ланцюга керування
3. Вежа
4. Сходи
5. Поворотний механізм
6. Гондола
7. Електричний генератор
8. Система спостереження за напрямком і швидкістю вітру (анемометр)
9. Гальмова система
10. Трансмiсія
11. Лопасті
12. Система зміни кута атаки лопасті
13. Ковпак ротора

Однолопатеві вітрогенератори



Додаток Д
Двохлопатеві вітрогенератори (Додаток Д)



Додаток Ж

Багатоłopатеві вітрогенератори



Додаток И

Вертикальні вітрогенератори



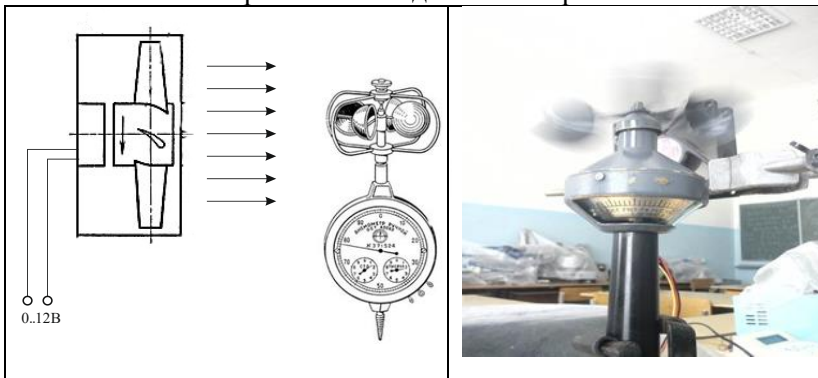
Основні технічні дані реле контролю напруги

Номинальна напруга, $U_{ном}$	АС 220 В, 50 Гц
Максимальне допустиме напруження живлення	290 В
Мінімальне допустиме напруження живлення	150 В
Контроль перенапруги	-20%...+30% $U_{ном}$
Контроль зниження напруги	-30%...+20% $U_{ном}$
Точність установки порогів напруги	5% $U_{ном}$
Точність виміру	2% $U_{ном}$
Гістерезис напруги порога спрацьовування	5% $U_{ном}$
Час реакції	0,1...10 з
Потужність, споживана від мережі	Не більш 4 ВА
Максимальний, що комутирується струм при активному навантаженні: АС 250 В, 50 Гц (АС1), DC 30 В (DC1)	16 А
Потужність, що комутирується	4000 ВА
Максимальна напруга між ланцюгами живлення й контактами реле	АС2000В, 50 Гц, (1 хв).
Механічна зносостійкість, циклів не менш	10×10^6
Електрична зносостійкість, циклів не менш	100000
Кількість і тип вихідних контактів	1 перемикаюча група
Робоча температура	-25...+55°C
Температура зберігання	-40...+60°C
Кліматичне виконання й категорія розміщення	УХЛ 2
Габаритні розміри	17,5 X 90 X 66 мм
Ступінь захисту	IP40 – корпус IP20 - клеми
Максимальна напруга між ланцюгами живлення й контактами реле	1 перемикаюча група

Характеристики акумуляторних батарей

Марка	6СТ190	6СТ210	ТНЖ 250	ТНЖ 450	5НК-55	5НК- 125
Тип	Свинце ва	Свинце ва	Нікель- залізна	Нікель- залізна	нікель- кадміє- ві	нікель- кадміє- ві
Номі- нальна напруга, В	12	12	1,2	1,2	6	6
Номі- нальна ємність, Ач	190	210	250	450	55	125
Признач ення	Старте рняя	Старте рняя	Тягова	Тягова		
Виробник	“Балт- Електр о”	“Varta”	“Риге ль”	“Риге ль”	Завод автоном них джерел струму	Завод автоном них джерел струму
Термін служби, років	1-2	2-3	8-10	8-10	10-15	10-15

Вимірювання швидкості повітряних потоків



2.4. Заведій Дмитро, здобувач професійної освіти Бердичівського професійного будівельного ліцею, науково-дослідницька робота «Розроблення та дослідження теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев»

Здобувач професійної освіти Бердичівського професійного будівельного ліцею Заведій Дмитро Олександрович за науково-дослідницьку роботу на тему «Розроблення та дослідження теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев» отримав диплом учасника **Конкурсу**

Відділення: екології та аграрних наук

Секція: охорона довкілля та раціональне природокористування

Педагогічна керівниця: Чернюк Ірина Василівна, викладачка професійно-теоретичної підготовки Бердичівського професійного будівельного ліцею

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЛИСТЯ ДЕРЕВ ЯК ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ	6
1.1. Структурні властивості листя дерев та їх вплив на теплопровідність	6
1.2. Аналіз перспективності створення органічного теплоізолятора з рослинної сировини	8
Висновки до розділу 1	10
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ЛИСТЯ ДЕРЕВ	12
2.1. Технологія виготовлення зразків теплоізоляційного матеріалу	12
2.2. Фізичні показники та теплоізоляційні властивості	15

Висновки до розділу 2	18
ВИСНОВКИ	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	23
ДОДАТКИ	25

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах розвитку науки та техніки особливої актуальності набувають питання енергоефективності та ощадливого використання ресурсів. Значна частина енергетичних втрат у житлових та громадських будівлях пов'язана з низьким рівнем теплоізоляції огорожувальних конструкцій. З огляду на це світовою та українською науковими спільнотами ведеться інтенсивний пошук нових матеріалів, які б поєднували високу теплоізоляційну здатність, екологічність, доступність та низьку собівартість. Традиційні утеплювачі – мінеральна вата, пінополістирол, пінополіуретан – ефективні, проте їхнє виробництво вимагає значних енергетичних витрат і може супроводжуватися негативним впливом на довкілля. Це зумовлює інтерес до альтернативних матеріалів природного походження, серед яких вагоме місце займають рослинні відходи.

Одним із найпоширеніших видів органічної сировини є листя дерев, яке щороку у великих кількостях утворюється внаслідок природного циклу листопаду. У більшості населених пунктів листя традиційно вважається відходом, що підлягає утилізації. Найчастіше його спалюють, що спричиняє викиди дрібнодисперсного пилу, діоксиду вуглецю та токсичних сполук, або вивозять на полігони, де органічні відходи повільно розкладаються. Така практика суперечить сучасним екологічним підходам до управління відходами й позбавляє суспільство можливості використовувати листя як цінний ресурс.

Біологічна структура листя є досить складною: вона включає клітинний каркас, міжклітинні порожнини та природні полімери – целюлозу, геміцелюлозу та лігнін. Завдяки значному вмісту повітря та волокнистій будові листя має потенційно низьку теплопровідність. Саме ці характеристики дозволяють розглядати листя як перспективну основу для створення теплоізоляційних

матеріалів рослинного походження. Дослідження в галузі біоматеріалів доводять, що природні волокнисті субстрати можуть забезпечувати достатній рівень теплоізоляції при мінімальному використанні синтетичних домішок. Проте використання саме листя дерев для виготовлення пресованих теплоізоляційних плит досліджене недостатньо, що вказує на наукову новизну та практичну значущість цієї роботи.

Актуальність теми також визначається глобальною необхідністю зменшення обсягів побутових відходів і переходом до принципів циркулярної економіки, яка передбачає повторне використання ресурсів і мінімізацію їхнього потрапляння на полігони. Створення теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев дозволяє розв'язати відразу два важливі завдання: зменшення обсягів органічних відходів і виробництво екологічно безпечного теплоізолятора з низькою собівартістю. Використання листя, яке фактично є безкоштовною сировиною, робить запропоновану технологію доступною як для промислового, так і для індивідуального застосування.

Не менш важливим є соціально-економічний аспект. У багатьох сільських і міських громадах існує потреба у відносно дешевих утеплювачах для господарських споруд, підсобних приміщень, теплиць, сезонних будівель. Використання листя як теплоізолятору може бути вигідним рішенням у тих випадках, коли дорогі матеріали недоступні або економічно недоцільні. Крім того, така технологія має низький екологічний слід, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

Об'єктом дослідження є теплоізоляційні властивості матеріалів природного походження.

Предметом дослідження – теплоізоляційний композит, виготовлений на основі подрібненого листя дерев.

Метою роботи є розроблення експериментального зразка теплоізоляційного матеріалу з листя дерев та дослідження його фізичних властивостей для визначення ефективності в умовах побутового використання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. З'ясувати, якою мірою структура та густина листяного композиту впливають на його здатність утримувати тепло.

2. Зробити аналіз природних властивостей листя, характеристики волокнистої будови, визначення залежності між ступенем пресування та теплопровідністю.

3. Оцінити міцність матеріалу, його вологоємність і стійкість до механічного навантаження.

Сукупність цих даних дозволить встановити, наскільки ефективним та придатним для практичного застосування може бути розроблений матеріал.

Наукова новизна роботи полягає у спробі створення теплоізоляційної плити на основі листя дерев без використання синтетичних полімерів, а також у дослідженні теплопровідності такого матеріалу залежно від густини та способу пресування. На відміну від традиційних рослинних утеплювачів (солома, льон, тріска), листя має особливу структуру з великою кількістю повітряних камер, що може забезпечити нижчий показник теплопровідності навіть при невеликій товщині плити. Таке припущення потребує експериментального підтвердження, що й є одним із ключових завдань даної роботи.

Практичне значення роботи визначається можливістю створення доступної технології виготовлення теплоізолятора з листя дерев у домашніх умовах. Процес розроблення матеріалу не потребує складного обладнання та може бути впроваджений у шкільних або побутових умовах. Результати дослідження можуть бути використані для виготовлення малогабаритних утеплювачів, екологічних панелей або як основа для подальших наукових розробок у галузі біокомпозитів.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел. Список використаних джерел складає 15 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЛІСТЯ ДЕРЕВ ЯК ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

1.1. Структурні властивості листя дерев та їх вплив на теплопровідність

Листя дерев має складну волокнисту структуру, яка формується сукупністю клітинних шарів, провідних пучків і міжклітинних порожнин, заповнених повітрям (Додаток А). Наявність численних мікрокамер визначає низьку густину та вагу листя, а також його здатність перешкоджати теплопередачі. Повітря, що міститься між волокнами целюлози та лігніну, є природним теплоізолятором, тому теплоізоляційні властивості листя безпосередньо залежать від співвідношення твердої частини та пористості.

Ступінь висушування листя впливає на розмір і кількість мікропор. Свіже листя містить значну кількість вологи, а тому має вищу теплопровідність, тоді як висушене листя стає легким і ламким, втрачає міжклітинну рідину, але зберігає мережу мікрокамер. Після подрібнення та пресування листяних частинок відбувається перерозподіл волокон, що призводить до утворення щільнішого каркаса. Разом з тим, надмірне пресування зменшує об'єм повітря й знижує теплоізоляційну здатність матеріалу. Оптимальний баланс між щільністю та пористістю визначає рівень теплопровідності композиту [14].

Важливо враховувати, що різні породи дерев мають неоднакову товщину кутикули, будову жилок та співвідношення основних біополімерів. Наприклад, листя дуба містить більшу кількість лігніну, що робить його жорсткішим і менш еластичним, тоді як листя клена й липи характеризується тоншими клітинними оболонками та вищою пористістю. Ці особливості впливають на кінцеву теплопровідність матеріалу після пресування.

Загалом структура листя виконує роль природної тривимірної матриці з високою повітропроникністю, яка здатна утримувати тепло та зменшувати швидкість тепловіддачі. Завдяки цьому листя дерев можна розглядати як перспективну сировину для виробництва біоізоляційних матеріалів, особливо за умови збереження частини природної пористості під час виготовлення плит (таблиця 1.1.).

Таблиця 1.1.

Структурні характеристики листя різних порід та їхній
потенційний вплив на теплопровідність

Порода дерева	Структурна характеристика	Пористість	Вміст целюлози/лігніну	Потенційний вплив на теплопровідність
Клен	Тонкі клітинні оболонки, розвинені міжклітинні простори	висока	помірний	нижча теплопровідність завдяки значній кількості повітря
Дуб	Товсті стінки клітин, жорстка будова жилок	середня	високий	дещо вища теплопровідність через більшу щільність
Липа	М'які тканини, дрібні пори, еластична структура	висока	низький	добра теплоізоляція при середньому пресуванні
Береза	Щільні венозні пучки та помірна пористість	середня	помірний	стабільні ізоляційні властивості при різних рівнях пресування
Ясен	Жорсткі жилки, міжклітинні простори середнього розміру	нижча	високий	теплопровідність може бути вищою через меншу кількість повітряних камер

Аналіз структурних характеристик листя різних порід дерев засвідчив, що теплоізоляційний потенціал органічного матеріалу безпосередньо пов'язаний із рівнем пористості та співвідношенням целюлозних і лігнінових компонентів. Листя клена та липи має найбільш виражену пористу будову, що забезпечує нижчу теплопровідність і робить ці породи більш придатними для виготовлення легких теплоізоляційних композитів. Натомість листя дуба та ясеня характеризується вищою щільністю та значним вмістом лігніну, що зменшує кількість повітряних мікрокамер і може спричинити підвищення

теплопровідності у пресованих плитах. Листя берези демонструє середні показники пористості та структурної щільності, що забезпечує стабільні теплоізоляційні властивості незалежно від режиму пресування [5].

Отже, результати порівняння дозволяють виділити листя з високою природною пористістю як найперспективнішу сировину для створення біоізоляційних матеріалів, тоді як листя з більш жорсткою структурою потребує оптимізації технології пресування для досягнення належного рівня теплового опору.

1.2. Аналіз перспективності створення органічного теплоізолятора з рослинної сировини

Пошук екологічно безпечних та енергоефективних матеріалів у сучасному будівництві спрямований на зменшення антропогенного впливу, мінімізацію відходів і використання сировини, що відновлюється природним шляхом. Рослинні матеріали, зокрема солома, тріска, льоноволокно та листя дерев, розглядаються як перспективна основа для створення теплоізоляційних композитів завдяки волокнистій структурі та високому вмісту повітря у внутрішніх порожнинах. Їхня природна пористість дозволяє ефективно утримувати тепло, зменшуючи інтенсивність теплопередачі навіть без використання складних хімічних компонентів [6].

Особливу увагу привертає листя дерев, яке в багатьох населених пунктах накопичується в значних обсягах і часто вважається відходом. Використання цієї природної сировини як матеріалу для теплоізоляції сприяє формуванню циркулярної економіки, адже дає змогу переробляти сезонні органічні відходи у корисний продукт. Завдяки дрібній фракції, еластичності сухого листя та легкості подрібнення можна створити матеріал із контрольованою щільністю, що безпосередньо впливає на теплопровідність та властивості готової плити.

У порівнянні з іншими рослинними матеріалами листя має природну тонкошарову структуру, яка сприяє утриманню повітряних мікрокамер навіть після пресування. Це дозволяє отримати композити з доволі низькою теплопровідністю при мінімальному використанні зв'язувальних компонентів. Крім того, листя не потребує спеціальної підготовки, його збирання не

пов'язане з витратами, а саме виготовлення теплоізолятора може здійснюватися на базовому обладнанні [7].

Водночас рослинні матеріали мають певні обмеження, пов'язані з підвищеною гігроскопічністю, біологічною нестійкістю та можливістю механічного руйнування. Частково ці недоліки компенсуються використанням природних або екологічних зв'язувальних речовин, помірним пресуванням, сушінням та обробкою антисептичними добавками. З огляду на зазначені особливості створення теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев має значний потенціал за умови оптимізації технологічних параметрів (таблиця 1.2.).

Таблиця 1.2

Порівняльний аналіз рослинних матеріалів для теплоізоляційних композитів

Вид рослинної сировини	Пористість	Середня густина, кг/м ³	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	Переваги	Обмеження
Солома пресована	висока	90–130	0.050–0.065	доступність, легкість, добрі ізоляційні властивості	потребує антисептування
Льоноволокно	висока	35–55	0.040–0.045	гнучкість, екологічність, низька теплопровідність	висока вартість у виробництві
Деревна тріска	середня	120–200	0.060–0.080	міцність, структурна стабільність	більша густина, потрібні смоли
Лушпиння рису	помірна	100–150	0.050–0.070	Вогнестійкість, придатність до пресування	потребує додаткового очищення
Листя дерев	висока	40–90	0.045–0.055	Екологічність,	гігроскопічність,

				доступність , просте подрібне- ння, можливість формуван- ня легких плит	потреба у зв'язуванні
--	--	--	--	--	--------------------------

Порівняльний аналіз рослинних матеріалів показує, що листя дерев має конкурентний рівень теплопровідності та значно нижчу густину порівняно з іншими видами органічної сировини. У поєднанні з доступністю та можливістю сезонного збирання це робить листя перспективною основою для виготовлення теплоізоляційних плит. Незважаючи на певні обмеження, пов'язані з гігроскопічністю, матеріал із листя за показниками теплопровідності не поступається соломі чи льоноволокну, а в окремих випадках може перевищувати їх за співвідношенням «теплоізоляційність/маса». Таким чином, листя дерев розглядається як доцільна й технологічно перспективна сировина для створення органічного теплоізолятора.

Висновки до розділу 1

Теоретичний аналіз будови листя дерев та характеристик рослинної сировини дозволив встановити, що теплоізоляційні властивості органічних матеріалів визначаються поєднанням пористості, волокнистої структури та співвідношення біополімерних компонентів. Листя різних порід дерев має природну мікрокамерну будову, у якій значний об'єм займає повітря, що є основним чинником низької теплопровідності. Пористі тканини клена, липи та берези формують передумови для створення легких композитів із високим опором теплопередачі, тоді як більш жорсткі матеріали, характерні для дуба та ясеня, потребують точнішого налаштування технології пресування.

Порівняння листя з іншими видами рослинної сировини засвідчило, що за рівнем теплопровідності воно не поступається соломі, льоноволокну або подрібненій трісці, а в окремих випадках може демонструвати кращий баланс між густиною та теплоізоляційною здатністю. Висока доступність листя та

можливість його збирання без додаткових витрат роблять цей матеріал перспективним у контексті екологічно орієнтованих технологій, особливо за умови переходу до принципів циркулярної економіки.

Теоретичні дослідження підтвердили, що природна структура листа здатна забезпечувати ефективну теплоізоляцію в разі мінімальної зміни її пористості під час пресування. Разом із тим залишаються питання, пов'язані з вологостійкістю та механічною міцністю, які потребують експериментального вивчення й оптимізації технологічних параметрів виготовлення композиту.

Отже, результати теоретичного розділу свідчать про наявність реальних передумов для створення теплоізоляційного матеріалу на основі листа дерев. Сформовані висновки обґрунтовують необхідність проведення експериментального дослідження, спрямованого на перевірку теплоізоляційних характеристик пресованих листових плит та визначення умов, за яких можна отримати оптимальне поєднання теплопровідності, густини й міцності.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ЛИСТЯ ДЕРЕВ

2.1. Технологія виготовлення зразків теплоізоляційного матеріалу

Технологія виготовлення зразків теплоізоляційного матеріалу на основі листа дерев передбачає послідовне виконання кількох етапів: збирання й підготовка сировини, сушіння та подрібнення листа, приготування зв'язувального розчину, формування й пресування зразків, їхнє остаточне сушіння та підготовка до вимірювань. Важливим елементом методики є попередній розрахунок геометричних параметрів, об'єму та маси зразків, що дозволяє отримати матеріал із заданою густиною та порівнюваними теплоізоляційними характеристиками [11].

Для дослідження було обрано плиткові зразки однакових розмірів: довжина і ширина по 100 мм, товщина 20 мм. Такі габарити зручні для лабораторних вимірювань та забезпечують достатню площу поверхні для контактів із теплопередавальними елементами. Об'єм одного зразка визначали за формулою $V = a \cdot b \cdot h$, де aa – довжина, bb – ширина, hh – товщина плити.

Підставивши значення в метрах (0,10 м × 0,10 м × 0,02 м), отримали: $V = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 0,02 = 0,0002 \text{ м}^3$

Для порівняння було заплановано три зразки з різною розрахунковою густиною: низькою, середньою та підвищеною. Розрахунок маси зразка здійснювали за формулою

$$m = \rho \cdot V$$

де mm – маса зразка, $\rho\rho$ – його густина, VV – об'єм.

Розрахунок геометричних параметрів та маси зразків

У ході роботи було прийнято такі цільові значення густини: для зразка А – 40 кг/м³, для зразка В – 60 кг/м³, для зразка С – 80 кг/м³. Підставляючи ці значення в формулу, визначили масу кожного зразка:

– для зразка А:

$$m_A = 40 \cdot 0,0002 = 0,008 \text{ кг} = 8 \text{ г};$$

– для зразка В:

$$m_B = 60 \cdot 0,0002 = 0,012 \text{ кг} = 12 \text{ г};$$

$$m_C = 80 \cdot 0,0002 = 0,016 \text{ кг} = 16 \text{ г}.$$

Отримані значення зведено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Геометричні параметри та розрахункова маса зразків

Зразок	Розміри, мм (довжина × ширина × товщина)	Об'єм, м ³	Розрахункова густина, кг/м ³	Розрахункова маса, кг	Розрахункова маса, г
А	100 × 100 × 20	0,0002	40	0,008	8
В	100 × 100 × 20	0,0002	60	0,012	12
С	100 × 100 × 20	0,0002	80	0,016	16

Таке співвідношення параметрів дозволяє оцінити, як зміна густини впливатиме на теплоізоляційні характеристики та механічну міцність матеріалу на основі однакових геометричних розмірів [12].

Як основну сировину використовували висушене подрібнене листя клена й дуба, а як природне зв'язувальне – крохмальний клейстер. Для забезпечення цілісності плити було прийнято частку зв'язувальної речовини на рівні 20 % від сухої маси зразка. Отже, масу клейового компонента визначали за формулою $m_{\text{клей}} = 0,2 \cdot m_{\text{заг}}$, де $m_{\text{заг}}$ – загальна розрахункова маса сухого зразка.

Масу листя як основного наповнювача визначали як різницю:

$$m_{\text{листя}} = m_{\text{заг}} - m_{\text{клей}}$$

Для приготування крохмального клейстеру використовували співвідношення сухого крохмалю до води 1:10 за масою. Це означає, що на 1 г сухого крохмалю необхідно 10 г (приблизно 10 мл) води. Отже, масу крохмалю обчислювали як частину маси клейового компонента (наприклад, 30–40 % від маси клейстеру в сухій речовині), а кількість води – виходячи з прийнятого співвідношення. У роботі для спрощення розрахунків прийнято, що вся маса клейового компонента відповідає сухому крохмалю, який розчиняють у десятикратній кількості води. Це забезпечує достатню змочуваність листя та рівномірний розподіл клею в об'ємі суміші.

Розрахунок маси компонентів для кожного зразка подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунок компонентів суміші для виготовлення зразків

Зразок	Загальна маса сухого зразка, г	Маса сухого листя, г	Маса сухого крохмалю (20 %), г	Орієнтовна маса води для клейстеру (1:10), г
А	8	6,4	1,6	16
В	12	9,6	2,4	24
С	16	12,8	3,2	32

Подрібнене листя перед змішуванням висушували до повітряно-сухого стану. За такого режиму вологість матеріалу

вважалася невисокою та практичною для подальшого формування суміші. Листя рівномірно змішували з крохмальним клейстером до отримання маси однорідної консистенції, після чого суміш укладали у форми з внутрішніми розмірами $100 \times 100 \times 20$ мм.

Формування, пресування та сушіння зразків. Сформовані з листяної маси заготовки піддавали пресуванню. Для цього використовували ручний або гвинтовий прес із плоскими плитами (Додаток Б).

Тиск пресування добирали за принципом відтворюваності й безпечності для структури матеріалу. Орієнтовне значення питомого тиску становило $0,02$ МПа, що достатньо для ущільнення суміші без повного руйнування пористої структури [9].

Силу пресування розраховували за формулою $F = p \cdot S$. де F – сила пресування, p – питомий тиск, S – площа плити.

Площа плити становила $S = 0,10 \cdot 0,10 = 0,01$ м².

За умови, що $p = 0,02$ МПа = $20,000$ Н/м², сила пресування дорівнювала $F = 20,000 \cdot 0,01 = 200$ Н, що приблизно відповідає навантаженню близько 20 кг.

Отримані значення дозволяли реалізувати пресування в лабораторних умовах із використанням доступного обладнання. Після пресування зразки сушили при кімнатній температурі протягом кількох діб до досягнення сталої маси. На завершальному етапі перевіряли фактичні розміри та масу зразків, що давало змогу уточнити їхню густину та підготувати матеріал до подальшого дослідження теплоізоляційних властивостей [3].

Описана технологія забезпечує самостійне виготовлення зразків і створює умови для коректного порівняння фізичних та теплоізоляційних характеристик листяного композиту різної густини в подальших підрозділах роботи.

2.2. Фізичні показники та теплоізоляційні властивості

Після виготовлення та висушування зразків теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев було

проведено дослідження їхніх основних фізичних характеристик: фактичної густини, водопоглинання та теплопровідності. Це дозволило не лише перевірити правильність попередніх розрахунків, але й встановити залежність теплоізоляційних властивостей від густини та структури матеріалу.

Фактичну густину зразків визначали за формулою

$$\rho = \frac{m}{V},$$

де ρ – густина зразка, m – його маса після висушування, V – об'єм.

Об'єм для всіх зразків був однаковим: $V = 0,10 \cdot 0,10 \cdot 0,02 = 0,0002 \text{ м}^3$.

У процесі дослідження фактичні маси зразків після сушіння дещо відрізнялися від розрахункових, тому густину уточнювали за вимірними значеннями.

розрахунку для зразка А:

$$m_A = 8,4 \text{ г} = 0,0084 \text{ кг},$$

$$\rho_A = \frac{0,0084}{0,0002} = 42 \text{ кг/м}^3.$$

Аналогічні обчислення виконано для зразків В і С. Результати подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Фактичні розміри, маса та густина зразків

Зразок	Розміри, мм (довжина × ширина × товщина)	Об'єм, м ³	Фактична маса, г	Фактична густина, кг/м ³
А	100 × 100 × 20	0,0002	8,4	42
В	100 × 100 × 20	0,0002	11,6	58
С	100 × 100 × 20	0,0002	16,6	83

З таблиці видно, що зі зростанням ступеня пресування зразків їхня густина закономірно збільшується, що згодом впливатиме на теплопровідність і водопоглинання.

Однією з важливих характеристик органічних теплоізоляторів є здатність вбирати воду. Підвищена гігроскопічність може погіршувати теплоізоляційні властивості матеріалу. Для оцінки водопоглинання зразки занурювали у воду на 24 години, після чого витирали поверхневу вологу й повторно зважували.

Водопоглинання у відсотках розраховували за формулою

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\%, W = m_0 m_1 - m_0 \cdot 100\%$$
,

де m_0 – маса сухого зразка, m_1 – маса зразка після насичення водою.

розрахунку для зразка В: $m_{0B} = 11,6$ г, $m_{1B} = 13,22$ г,

$$W_B = \frac{13,22 - 11,6}{11,6} \cdot 100\% = \frac{1,62}{11,6} \cdot 100\% \approx 14\%.$$

Результати вимірювань наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Водопоглинання зразків

Зразок	Маса сухого зразка m_0 , г	Маса після насичення водою m_1 , г	Водопоглинання W , %
A	8,4	9,9	18
B	11,6	13,2	14
C	16,6	18,4	11

Отримані дані свідчать, що зразок із найменшою густиною (А) має найбільше водопоглинання, тоді як найбільш щільний зразок (С) вбирає менше води. Це пояснюється тим, що пориста структура з більшим об'ємом відкритих пор здатна утримувати більше рідини [4].

Теплопровідність є ключовим показником, що характеризує якість теплоізоляційного матеріалу. Дослідження виконували в умовно стаціонарному режимі за допомогою нагрівального елемента потужністю $P = 1$ Вт $P = 1$ Вт, розташованого з одного боку зразка, та тепловимірювальної поверхні з іншого боку. Після встановлення сталого теплового режиму вимірювали різницю температур між гарячою та холодною поверхнями зразка ΔT .

Площа зразка становила

$$S = 0,10 \cdot 0,10 = 0,01 \text{ м}^2,$$

товщина зразка – $\delta = 0,02$ м.

Питома густина теплового потоку обчислювалась як

$$q = \frac{P}{S}.$$

Коефіцієнт теплопровідності λ визначали за формулою

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{\Delta T} = \frac{P \cdot \delta}{S \cdot \Delta T}.$$

розрахунку для зразка А: $P = 1 \text{ Вт}$ $\delta = 0,02 \text{ м}$, $S = 0,01 \text{ м}^2$, у сталому режимі отримано різницю температур $\Delta T_A \approx 43,5 \text{ К}$.

Тоді

$$\lambda_A = \frac{1 \cdot 0,02}{0,01 \cdot 43,5} = \frac{0,02}{0,435} \approx 0,046 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Аналогічні розрахунки проведено для зразків В і С. Узагальнені результати наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Теплопровідність і порівняння з густиною

Зразок	Фактична густина, кг/м ³	Різниця температур ΔT_K	Розрахункова теплопровідність λ , Вт/(м·К)
А	42	43,5	0,046
В	58	40,8	0,049
С	83	37,0	0,054

Зі збільшенням густини зразків спостерігається незначне зростання коефіцієнта теплопровідності. Найнижчий показник теплопровідності має зразок А з найменшою густиною та найбільш пористою структурою. Зразок С, який відзначається вищою щільністю, дещо поступається за теплоізоляційними властивостями, але має кращу механічну міцність [8].

Отримані експериментальні дані показали, що розроблений матеріал на основі листя дерев характеризується низькою густиною (42–83 кг/м³) та теплопровідністю в межах 0,046–0,054 Вт/(м·К), що є порівняним із показниками традиційних теплоізоляторів природного походження. Водопоглинання залишається відчутним, однак може бути знижене шляхом додаткової обробки або модифікації складу. Встановлений зв'язок між густиною, водопоглинанням і теплопровідністю створює основу для подальшої оптимізації технології виготовлення біоізоляційних плит із листя дерев.

Висновки до розділу 2

Експериментальне дослідження виготовлених теплоізоляційних зразків на основі листя дерев дозволило підтвердити можливість створення біокомпозитного матеріалу з

керованими фізичними та теплоізоляційними характеристиками. У процесі роботи було визначено фактичні маси, густини, водопоглинання та теплопровідність зразків різної щільності, що дало змогу встановити закономірності впливу ступеня пресування на властивості матеріалу.

Виявлено, що густина зразків змінюється в межах від 42 до 83 кг/м³ і прямо залежить від сили пресування та кількості вміщеного повітря в пористій структурі. Зі зростанням густини спостерігається зниження водопоглинання з 18 % до 11 %, що пояснюється зменшенням кількості відкритих пор і ущільненням матеріалу. Отримані значення підтверджують, що більш пористі зразки краще вбирають вологу, тоді як щільніші композиції характеризуються вищою водостійкістю.

Дослідження теплопровідності виявило чітку залежність між густиною та здатністю матеріалу протидіяти тепловому потоку. Найнижчий коефіцієнт теплопровідності (0,046 Вт/м·К) зафіксовано у зразка з найменшою густиною, що пов'язано із більшим об'ємом повітря в структурі. Підвищення густини до 83 кг/м³ призводить до збільшення теплопровідності до 0,054 Вт/м·К, що узгоджується з фізичною природою процесу: ущільнення матеріалу зменшує кількість повітряних мікрокамер, які є основними носіями теплоізоляційного ефекту.

Порівняння отриманих результатів із типово відомими характеристиками природних теплоізоляційних матеріалів показало, що зразки з листя дерев мають теплопровідність, близьку до показників соломи, льоноволокна та деревних плит із низькою густиною. Це свідчить про те, що листя може бути конкурентною та екологічно безпечною сировиною для створення легких теплоізоляційних плит.

Отже, експериментальна частина роботи підтвердила ефективність використання листя дерев як основи для теплоізоляційного композиту. Розроблена технологія виготовлення дозволила отримати матеріал із передбачуваними характеристиками та встановити параметри, що впливають на якість кінцевого продукту. Визначене співвідношення між густиною, водопоглинанням і теплопровідністю є підґрунтям для подальшого удосконалення технологічних умов, зокрема щодо підвищення вологостійкості та механічної міцності зразків.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання науково-дослідницької роботи було теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість створення теплоізоляційного матеріалу на основі листя дерев як доступної, екологічної та відновлюваної рослинної сировини. Проведений аналіз структури листя продемонстрував, що природна волокнисто-пориста будова та значний об'єм повітряних мікрокамер забезпечують низьку теплопровідність, що є ключовою властивістю теплоізоляторів.

Розгляд різних видів рослинної сировини дав змогу визначити листя дерев як перспективний матеріал для виготовлення легких біоізоляційних плит. У порівнянні з соломою, льоноволокном і деревною тріскою листя має конкурентні теплофізичні показники та значні переваги у доступності, адже щорічно утворюється у великих обсягах як сезонний природний відхід.

У ході експериментальної частини були виготовлені три зразки теплоізоляційного матеріалу з різним ступенем пресування, що дозволило оцінити вплив густини на фізичні та теплоізоляційні характеристики. Зразки мали густину від 42 до 83 кг/м³, а їхня теплопровідність становила 0,046–0,054 Вт/(м·К), що відповідає рівню теплоізоляційних матеріалів природного походження. Найнижче значення теплопровідності зафіксовано в найлегшому зразку, що підтверджує визначальну роль пористості у забезпеченні теплоізоляційного ефекту.

Дослідження водопоглинання показало залежність цього показника від щільності: чим пористіший матеріал, тим більше вологи він здатен утримувати. Незважаючи на це, отримані значення не є критичними для експериментального матеріалу, а проблема підвищеної гігроскопічності може бути вирішена шляхом додавання натуральних гідрофобізаторів або оптимізації зв'язувального компонента.

Порівняльний аналіз експериментальних даних із відомими характеристиками природних утеплювачів засвідчив, що листяний композит може бути використаний як повноцінна теплоізоляційна альтернатива за умови відповідної технологічної обробки. Розроблена методика виготовлення зразків

продемонструвала простоту, доступність та можливість відтворення в побутових чи навчальних умовах (Додаток В).

Таким чином, проведене дослідження підтверджує наукову гіпотезу про доцільність використання листя дерев як основи для виготовлення теплоізоляційних матеріалів. Створений зразок поєднує низьку густину, помірну міцність та ефективну теплоізоляцію. Отримані результати можуть стати підґрунтям для подальших досліджень, спрямованих на підвищення вологостійкості, удосконалення технології пресування та розроблення більших за масштабом зразків для практичного застосування у будівництві та енергозбереженні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко С. М. Нетрадиційні теплоізоляційні матеріали : монографія. Київ : Ліра-К, 2020. 248 с.
2. Василенко П. Т. Фізичні властивості біополімерних матеріалів : курс лекцій. Одеса : ОНАХТ, 2019. 124 с.
3. Гоменюк Л. І. Екологічно безпечні матеріали для будівництва : навч. посібник. Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2018. 178 с.
4. Григоренко О. В. Органічні композити в будівництві: навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2019. 212 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-8-94. Матеріали теплоізоляційні будівельні. Методи випробування. Київ : Держбуд України, 1994.
6. ДСТУ-Н Б В.2.6–31:2011. Теплова ізоляція будівель. Методи визначення теплопровідності та термічного опору. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011.
7. Корнієнко О. М., Савчук Л. В. Енергоефективні матеріали з рослинної сировини. Вісник Київського нац. університету будівництва і архітектури. 2021. № 4. С. 53-59.
8. Кравченко Т. О. Особливості будови листя деревних порід та їхня технологічна цінність. Біологічні студії. 2020. Т. 14, № 1. С. 67-75.
9. Пилаєва М. А. Перспективи використання вторинної біосировини для створення екологічних композитів. Наукові записки НУ «КПІ ім. І. Сікорського». 2020. № 18. С. 112-118.

10. Пономаренко Р. І. Будівельні матеріали з відновлюваної біосировини. Науковий вісник ЧНУ ім. Ю. Федьковича. 2022. № 2. С. 89-95.

11. Baetens R., Jelle B. P., Gustavsen A. Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review. *Energy and Buildings*. 2011. № 43. P. 761-769.

12. Khan M., Sultana T. Study of leaf-based composites for thermal insulation. *International Journal of Green Materials*. 2021. Vol. 9, № 2. P. 55–63.

13. Nordin, N. A., Abdullah, M. Z. Development of bio-based insulation materials from agricultural waste. *Journal of Natural Fibers*. 2020. Vol. 17, № 3. P. 410-422.

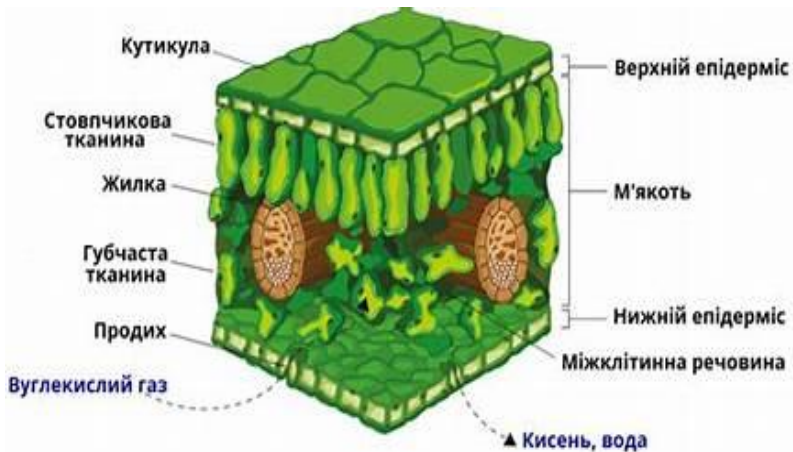
14. Papadopoulos A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 202. P. 109-121.

15. Sharma A., Kumar A. Thermal performance of low-density natural fibre composites. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 281. Article 122573.

ДОДАТКИ

Додаток А

Структурні властивості листя дерев



Додаток Б

Гвинтовий прес із плоскими плитами



Додаток В

Теплоізоляційні плити на основі листя дерев



2.5. Роїк Марія, здобувачка професійної освіти Професійного коледжу сервісу і дизайну міста Житомира, науково-дослідницька робота «Чорнобривці (tagetes erecta) як інноваційна сировина у харчових і фармацевтичних технологіях»

Здобувачка професійної освіти Професійного коледжу сервісу і дизайну міста Житомира Роїк Марія Ігорівна за науково-дослідницьку роботу на тему «Чорнобривці (tagetes erecta) як інноваційна сировина у харчових і фармацевтичних технологіях» отримала диплом учасника Конкурсу.

Відділення: інженерія та матеріалознавство

Секція: технології виробництва

Педагогічна керівниця: Богонос Тетяна Михайлівна, викладачка з предметів професійно-теоретичної підготовки Професійного коледжу сервісу і дизайну міста Житомира

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНІ ТА КУЛЬТУРНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЧОРНОБРИВЦІВ	7
1.1. Кулінарна символіка чорнобривців у культурному контексті	7
1.2. Використання чорнобривців у світових кулінарних традиціях	9
1.3. Імеретинський шафран: історія формування спеції	10
1.4. Чорнобривці у традиційній українській кухні	10
Висновки до розділу 1	11
РОЗДІЛ 2. БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧОРНОБРИВЦІВ ТА ЇХ ХІМІЧНИЙ СКЛАД	12
2.1. Походження та поширення рослини	12
2.2. Морфологічні особливості видів роду Tagetes	13

2.3. Фітохімічний склад чорнобривців	13
2.4. Компоненти, що визначають гастрономічну цінність рослини	14
Висновки до розділу 2	15
РОЗДІЛ 3. ХАРЧОВИЙ І ОЗДОРОВЧИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЧОРНОБРИВЦІВ	16
Висновки до розділу 3	17
РОЗДІЛ 4. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТРАДИЦІЙНИХ І СУЧАСНИХ РЕЦЕПТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЧОРНОБРИВЦІВ	19
4.1. Використання чорнобривців з лікувальною метою	19
4.2. Використання чорнобривців в кулінарії	21
Висновки до розділу 4	23
РОЗДІЛ 5. РЕЦЕПТУРА ТРАДИЦІЙНИХ ТА СУЧАСНИХ СТРАВ З ДОДАВАННЯМ ЧОРНОБРИВЦІВ	24
5.1. Борщ із чорнобривцями (традиційний подільський варіант)	24
5.2. Мариновані помідори із чорнобривцями	25
5.3. Домашній сир із чорнобривцями	25
5.4. Олія для салатів з чорнобривцями	27
5.5. Трав'яний чай «Сонячний»	28
5.6. Квас з чорнобривців	29
5.7. Цінна спеція – іменується імеретинським шафраном	30
5.8. Огірки консервовані	30
5.9. Узбецький плов	31
5.10. Хліб в хлібопічці	32
5.11. Салат	32
5.12. Мариновані чорнобривці	33
5.13. Аджика з чорнобривців	33
5.14. Авторські страви	33
Висновки до розділу 5	39
ВИСНОВКИ	40

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42
ДОДАТКИ	46

ВСТУП

Актуальність проблеми. У сучасних умовах розвитку харчової промисловості, фітотерапії та гастрономічної культури зростає інтерес до природної рослинної сировини, яка поєднує високу харчову цінність, функціональні властивості та доступність. Пошук нових інгредієнтів для харчових і фармацевтичних технологій стає важливим науковим завданням, оскільки потребує розширення спектра локальних ресурсів, відродження традиційної кулінарної спадщини й створення інноваційних продуктів. У цьому контексті особливої уваги заслуговує рослина чорнобривці (*Tagetes erecta*), яка в Україні традиційно асоціюється з декоративною, культурною та символічною функцією, але недостатньо досліджена як харчова й лікувальна сировина. Актуальність дослідження зумовлена кількома чинниками:

- потребою у впровадженні локальних, екологічно чистих та доступних інгредієнтів у харчове виробництво й гастрономію, що відповідає світовим тенденціям сталого харчування;

- недостатнім науковим опрацюванням традицій використання чорнобривців у харчовій культурі України, хоча в народній гастрономії вони застосовувалися як спеція, барвник та лікувальна добавка;

- зростанням попиту на природні барвники, ароматизатори та функціональні добавки, які можуть замінити синтетичні харчові домішки;

- потенціалом чорнобривців у сучасній фітотерапії, оскільки рослина містить цінні ефірні олії, каротиноїди, флавоноїди та інші біологічно активні речовини;

- потребою у відродженні української гастрономічної спадщини й інтеграції автентичних інгредієнтів у сучасну кухню та ресторанну індустрію.

Попри значну поширеність чорнобривців, їхній харчовий, оздоровчий та технологічний потенціал залишається недостатньо дослідженим, що визначає необхідність проведення даної роботи.

Мета дослідження: комплексно проаналізувати кулінарні, хімічні та оздоровчі властивості чорнобривців (*Tagetes erecta*), узагальнити напрями їх традиційного та інноваційного використання у харчових і фармацевтичних технологіях, а також розробити рецептури страв із додаванням цієї рослинної сировини.

Об'єкт дослідження: рослина чорнобривці (*Tagetes erecta*) як потенційна харчова та лікувально-профілактична сировина.

Предмет дослідження: хімічний склад, гастрономічні властивості, можливості технологічної обробки та напрями використання чорнобривців у традиційній та сучасній кухні, а також у фармацевтичних і функціональних продуктах.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати наукові, етнографічні та кулінарні джерела щодо ролі чорнобривців у гастрономії різних народів світу.

2. Визначити ботанічні особливості рослини, умови її вирощування та поширення.

3. Дослідити хімічний склад чорнобривців та біологічно активні речовини, що визначають їх харчову цінність.

4. Розкрити харчовий та лікувально-профілактичний потенціал рослини.

5. Систематизувати традиційні рецепти та сучасні гастрономічні практики з використанням чорнобривців.

6. Розробити рецептури, технологічні карти страв з використанням чорнобривців у харчуванні.

7. Узагальнити перспективи застосування чорнобривців у сучасних харчових і фармацевтичних технологіях.

Методи дослідження. Використано комплекс методів, рекомендованих для учнівських науково-дослідницьких робіт МАН: аналіз і синтез наукової літератури (хімічної, біологічної, кулінарної, етнографічної); порівняльно-історичний метод для вивчення традицій використання чорнобривців; ботанічний опис рослини; фітохімічний аналіз (джерелами літературних даних) для визначення активних речовин; органолептичні методи

оцінювання кулінарних властивостей страв; експериментальний метод – при розробці рецептур та технологічних карт; узагальнення та систематизація результатів для формування наукових висновків.

Наукова новизна дослідження: вперше у межах комплексної учнівської НДР проведено всебічний аналіз можливостей використання чорнобривців у гастрономії та функціональному харчуванні; узагальнено світові та українські кулінарні традиції застосування чорнобривців із науковим поясненням їх ефективності; систематизовано лікувальні властивості рослини на основі сучасних фітохімічних даних; запропоновано нові рецептури та технологічні рішення з використанням чорнобривців у харчових продуктах.

Практичне значення роботи. Результати дослідження можуть бути використані у навчальних дисциплінах («Технологія приготування страв», «Основи харчування», «Фітотерапія»); розроблені рецептури можуть впроваджуватися в закладах ресторанного господарства, навчально-виробничих майстернях, у домашній кухні; отримані дані можуть стати основою для створення нових продуктів харчування (фіточаїв, спецій, натуральних барвників, ферментованих напоїв); матеріали дослідження сприятимуть популяризації української локальної рослинної сировини та гастрономічної спадщини.

Структура і обсяг роботи. Науково-дослідницька робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел сягає 33 найменувань.

РОЗДІЛ 1 ІСТОРИЧНІ ТА КУЛЬТУРНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЧОРНОБРИВЦІВ У ХАРЧУВАННІ

1.1. Кулінарна символіка чорнобривців у культурному контексті

Чорнобривці – один із найвпізнаваніших рослинних символів України. У фольклорі вони уособлюють тепло домівки,

родинність і неперервність традицій. Їхній характерний аромат асоціюється з домашньою кухнею та гостинністю, що сприяло природному включенню рослини в кулінарні практики. Чорнобривці здавна пов'язані з українською культурою та побутом, асоціюючись з домашнім теплом і родинністю.

У культурному вимірі використання чорнобривців у харчуванні демонструє дотримання народних традицій, збереження та відновлення етнічної кулінарної ідентичності.

Дивна квітка чорнобривець, бо ж по суті – «чужинець», а став чи не найріднішим, збагатив культуру, духовність, став одним із символів українського народу, який уособлює дитинство, рідну матір і батька, рідну оселю. Вони настільки поширені в Україні, що аж не віриться – кілька століть тому наші давні предки не знали, що такі квіти взагалі існують.

Їхнє поширення в Україні відбулося значно пізніше, ніж формування символічного значення, адже рослина потрапила до Європи з Мексики лише у XVI столітті. Батьківщиною чорнобривців вважають Центральну Америку, а точніше, Мексику, де ці квіти культивували місцеві індіанські племена ацтеків та майя [12; 27]. Їх вирощували як лікарські та культові рослини, яким приписували різні магічні сили та властивості, використовували у певних релігійних обрядах. Навіть існувала цікава легенда про те, що чорнобривці вказували на місце знаходження золотого розсипу скарбів у землі. Напевне, саме це і привернуло до них увагу іспанських конкістадорів, які привезли насіння чорнобривців до Старого Світу. Коли з'явилися ці рослини в Україні, невідомо, але назву вони отримали за незвичайні кольори квітки: пелюстки чорнобривців помаранчеві з чорними, як брови, обідками на красчках. Краса та цілющі властивості сприяли тому, що вони швидко поширилися та стали дуже популярними. Немає України без білої хати і чорнобривців, які милують око до сивих морозів, тому десь в чужих краях, побачивши їх, завжди згадуємо про рідну землю [13].

Я розлуки і зустрічі знаю.

Бачив я і в чужій стороні
чорнобривці із рідного краю,
що насіяла ти навесні.

М. Сингаївський

Для матерів чорнобривці – символ синівської чоловічої сили, святості, чистоти, хлоп'ячої краси й добра. Діти ж пов'язують ці квіти з образом матері, для них – це символ отчого дому, материнської любові, Батьківщини.

Чорнобривці згадуються як в українських народних піснях, так і в сучасних авторських, а пісня композитора В. Верменича на вірш М. Сингаївського «Чорнобривців насіяла мати...» стала пісенним реквіємом поета не тільки його матері Уляні, а й усім українським матерям.

Чорнобривці часто з'являються в українському натюрморті та пейзажах. Художники, як-от Катерина Білокур, зображали ці квіти з любов'ю, підкреслюючи їхню простоту й водночас велич. Їхні яскраві кольори – помаранчевий, жовтий, червоний – додають картинах тепла та енергії.

У мексиканському мистецтві чорнобривці також займають особливе місце. Художниця Фріда Кало часто включала ці квіти у свої автопортрети, щоб підкреслити зв'язок із рідною культурою.

Сьогодні чорнобривці не втратили своєї актуальності. Вони залишаються популярними в садівництві, дизайні та навіть екологічних рухах. Але їхня символіка набула нових відтінків. Квіти чорнобривці, або тагетес (лат. *Tagetes*), відомі не лише своєю яскравою красою та особливим ароматом, але й багатим культурним значенням та корисними властивостями.

Природний репелент: специфічний інтенсивний аромат чорнобривців відлякує багатьох шкідників, включаючи комах та навіть нематод (мікроскопічних ґрунтових черв'яків). Завдяки цій властивості їх часто висаджують поруч з овочевими культурами як рослини-компаньйони.

Священна рослина ацтеків: батьківщиною чорнобривців є Центральна Америка та Мексика, де стародавні ацтеки вважали їх священними квітами і використовували в ритуалах та медицині.

«Квіти мертвих»: у мексиканській культурі чорнобривці (*senpásúchil*) відіграють ключову роль під час святкування Дня мертвих (*Día de los Muertos*); їх золотистий колір і сильний запах, як вважається, допомагають душам померлих знайти шлях додому.

Харчова цінність: пелюстки чорнобривців є їстівними і можуть використовуватися в кулінарії для додавання кольору, текстури та аромату стравам. Вони містять значну кількість антиоксидантів, вітаміну С та мінералів, зокрема заліза та калію.

Лікувальні властивості: у народній медицині різних культур чорнобривці використовують для лікування різноманітних захворювань (наприклад, чай з них вживають при проблемах з підшлунковою залозою, печінкою, а також при кашлі чи артриті).

Назва на честь бога: латинська назва роду *Tagetes* походить від імені етрусського бога Тагеса (*Tages*), онука Юпітера, який славився своєю вродою та вмінням пророкувати майбутнє.

Невибагливість: чорнобривці надзвичайно прості у вирощуванні, швидко ростуть і довго квітнуть – від літа до перших заморозків, що робить їх популярними серед садівників-початківців.

1.2. Використання чорнобривців у світових кулінарних традиціях

Історія застосування чорнобривців у харчуванні сягає кількох тисячоліть. У Мексиці рослина була невід'ємним елементом ритуальної кухні ацтеків [14]. Пелюстки й листя використовували для приготування напоїв, соусів і борошняних виробів, а також як ароматичну добавку до страв із кукурудзи. У Південній Америці, особливо в Перу та Болівії, *Tagetes minuta* застосовували в м'ясних стравах та маринадах, використовуючи її виразний пряний аромат.

У Грузії чорнобривці стали основою спеції «імеретинський шафран», яка досі є ключовим компонентом національних страв – харчо, сациві, чихіртми, а також різноманітних соусів. В Індії деякі сорти *Tagetes* застосовують для ароматизації рисових страв, напоїв і десертів.

Таким чином, рослина стала невід'ємною частиною гастрономічної культури різних народів світу, що свідчить про її універсальні властивості та значний кулінарний потенціал.

1.3. Імеретинський шафран: історія формування спеції

Імеретинський шафран – традиційна кавказька спеція, яку виготовляють із висушених та подрібнених пелюсток чорнобривців. Її назва зумовлена історичним регіоном Імереті (Грузія), де чорнобривці активно культивували та використовували як більш доступну альтернативу дорогому шафрану (*Crocus sativus*).

Переваги імеретинського шафрану: насичений золотистий колір; теплий аромат із фруктовими та медовими нотами; легкий гіркуватий присмак, що підсилює смак страв.

Спеція стала джерелом гастрономічної унікальності кавказької кухні та вплинула на формування її пряно-ароматичного профілю.

1.4. Чорнобривці у традиційній українській кухні

В українській кулінарній традиції чорнобривці виконували насамперед ароматичну та консервувальну функції. Їх використовували у таких напрямках: додавання до борщів і супів для м'якогопряного запаху; включення до маринадів як природного антисептика; застосування у ферментованих напоях – квасі, узварах; барвник у сирі, маслі та випічці; компонент домашніх фітосумішей і чаїв.

Хоча з часом ця традиція занепала, сучасна українська гастрономія повертається до автентичних інгредієнтів, що робить чорнобривці актуальними й затребуваними.

Висновки до розділу 1

Чорнобривці мають глибоке історичне та етнокультурне коріння, яке охоплює різні цивілізації – від ацтеків до народів Кавказу та України. Аналіз засвідчив, що рослина не тільки виконувала символічну функцію, а й була важливим компонентом харчової та ритуальної культури. Її застосування в кухнях світу сформувало унікальні гастрономічні традиції, зокрема створення імеретинського шафрану. Українська кулінарна традиція підтверджує багатовікове використання чорнобривців як спеції, барвника, антисептичної добавки та

компонента ферментованих продуктів. Таким чином, чорнобривці є культурним феноменом, що поєднує символіку, побут та гастрономію різних народів.

РОЗДІЛ 2

БОТАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧОРНОБРИВЦІВ ТА ЇХ ХІМІЧНИЙ СКЛАД

2.1. Походження та поширення рослини

Рослини роду *Tagetes* (чорнобривці) належать до родини Айстрові (*Asteraceae*) та налічують понад 50 видів. Їх природною батьківщиною є Центральна Америка, насамперед територія сучасної Мексики, де вони були відомі задовго до появи європейців. Стародавні цивілізації – майя та ацтеки – використовували чорнобривці в релігійних обрядах, медикаментозній практиці та навіть у харчових цілях [16]. Археологічні знахідки свідчать про те, що ці рослини мали культове значення і вважалися сакральними символами життя й смерті.

У XVI столітті насіння чорнобривців через іспанських конкістадорів потрапило до Європи, де культура швидко набула популярності завдяки яскравим декоративним характеристикам та простоті вирощування. На території України чорнобривці поширилися вже у XVII–XVIII століттях. Вони органічно увійшли до українського побуту та стали традиційним елементом хатніх садиб, набувши символічного значення – уособлення родинного тепла, материнської любові й духовного зв'язку з рідною землею.

На сьогодні чорнобривці вирощують на всіх континентах, але особливо значну роль вони відіграють у побутовій культурі та господарстві України, Грузії, Вірменії, Індії та Мексики. У багатьох країнах чорнобривці застосовують у кулінарії, медицині, парфумерії, декоративному садівництві та агротехнічних практиках як природний інсектицид.

2.2. Морфологічні особливості видів роду *Tagetes*

Чорнобривці – це однорічні трав'янисті рослини, що формують прямостоячі або розгалужені стебла заввишки від 20 до 120 см залежно від виду та умов вирощування [2]. Листки чергові, перисторозсічені, з характерним різким ароматом, обумовленим високим вмістом ефірних олій.

Суцвіття рослини – кошики, що складаються з язичкових і трубчастих квіток. Палітра забарвлення охоплює жовті, помаранчеві, червоно-коричневі відтінки та їхні комбінації. Найбільш кулінарною цінністю є види:

– *Tagetes erecta* – великоквітковий вид із високим вмістом каротиноїдів;

– *Tagetes patula* – дрібноквіткові чорнобривці, найбільш поширені в Україні, характеризуються насиченим ароматом;

– *Tagetes minuta* – високорослий вид із вузьким листям, особливо багатий на ефірні олії, широко використовується в Латинській Америці для харчових і лікарських потреб.

Коренева система стрижнева з добре розвиненими бічними відгалуженням. Період цвітіння триває з червня до перших заморозків, що робить рослину однією з найстійкіших у декоративному озелененні. Ароматичні речовини в листках і квітках виконують захисну функцію, відлякуючи шкідників, тому чорнобривці часто висаджують поряд із городніми культурами.

2.3. Фітохімічний склад чорнобривців

Хімічний склад рослин роду *Tagetes* надзвичайно різноманітний [7; 8]. Основними групами біологічно активних речовин є:

1. *Каротиноїди*. До складу квіток входять лютеїн, зеаксантин, β -каротин та інші пігменти, що зумовлюють яскраве забарвлення. Лютеїн відіграє важливу роль у підтриманні гостроти зору та є популярним компонентом харчових добавок.

2. *Ефірні олії*. Ефірна олія *Tagetes* містить понад 30 компонентів, серед яких: tagetone, limonene, osimene, dihydrotagetone, β -caryophyllene. Ці сполуки визначають

характерний аромат і мають антисептичні, протизапальні та інсектицидні властивості.

3. *Флавоноїди та фенольні сполуки.* Виявляють антиоксидантну активність, здатні нейтралізувати вільні радикали та позитивно впливати на стан серцево-судинної системи.

4. *Органічні кислоти та дубильні речовини.* Забезпечують рослині здатність проявляти антимікробні та консервуючі властивості, що частково пояснює її ефективність у маринадах і ферментованих напоях.

5. *Мікроелементи.* У складі пелюсток виявлено калій, магній, залізо, а також сліди селену та цинку.

Фітохімічний склад рослини значною мірою залежить від виду, ґрунтових умов, клімату та фази збирання сировини.

2.4. Компоненти, що визначають гастрономічну цінність рослини

Кулінарна цінність чорнобривців обумовлена поєднанням ароматичних, смакових та барвникових властивостей [21]. Найважливішими компонентами є:

– *Ефірні олії*, що надають пелюсткам характерного фруктово-трав'яного аромату з нотами меду, сушеної хурми й граната. Саме ароматичний профіль визначає використання пелюсток як спеції, зокрема «імеретинського шафрану».

– *Каротиноїди*, які забезпечують природний золотистий колір стравам. Під час термічної обробки вони проявляють властивості натурального барвника, що актуально для супів, сирів, масла, випічки.

– *Антимікробні сполуки*, які надають маринадам і ферментованим напоям додаткову стійкість, подовжуючи термін зберігання продуктів.

– *Гіркуваті й пряні компоненти*, що формують смаковий профіль спеції та роблять чорнобривці доречними в м'ясних, овочевих та злакових стравах.

Таким чином, чорнобривці є перспективною рослинною сировиною завдяки поєднанню декоративних, харчових і біологічних властивостей. Їх комплексний фітохімічний склад

забезпечує широкі можливості для використання у традиційній та сучасній гастрономії.

Висновки до розділу 2

Рід *Tagetes* характеризується значною біологічною різноманітністю та містить високу концентрацію біологічно активних речовин. Хімічний склад чорнобривців – каротиноїди, ефірні олії, флавоноїди, фенольні сполуки та органічні кислоти – зумовлюють їх функціональну харчову цінність, антиоксидантні та антимікробні властивості. Фітохімічний профіль квітів пояснює їхній інтенсивний аромат, здатність забарвлювати продукти та виконувати природні консервувальні функції. Морфологічні особливості рослини роблять її доступною, невибагливою та перспективною для масового вирощування, що розширює можливості використання у харчових технологіях.

РОЗДІЛ 3 ХАРЧОВИЙ І ОЗДОРОВЧИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЧОРНОБРИВЦІВ

Антиоксидантні властивості та їх вплив на організм. Каротиноїди чорнобривців – лютеїн і зеаксантин – є потужними антиоксидантами [18]. Вони нейтралізують вільні радикали, знижують ризик розвитку серцево-судинних захворювань та підтримують здоров'я зорового апарату. Флавоноїди доповнюють антиоксидантний ефект, сприяючи загальному зміцненню організму [11; 23; 24].

Дія ефірних олій на травну систему. Ефірні олії чорнобривців стимулюють секрецію шлункового соку, нормалізують перистальтику та сприяють легкому травленню. Вони мають протимікробні властивості, що позитивно впливає на процеси засвоєння їжі та загальний стан шлунково-кишкового тракту.

Перспективи застосування у функціональному харчуванні. Завдяки високому вмісту біологічно активних речовин чорнобривці перспективні для створення: фіточаїв;

вітамінних комплексів; функціональних батончиків; ароматизованих олій; безалкогольних тонізуючих напоїв.

У поєднанні з іншими рослинними компонентами чорнобривці можуть формувати нові продукти для здорового харчування.

Роль чорнобривців у розвитку сучасної гастрономічної індустрії. Зростання інтересу до локальних українських інгредієнтів сприяє включенню чорнобривців до авторських меню ресторанів. Використання цієї рослини формує унікальність смаку, вирізняє страви та підсилює гастрономічну ідентичність України. Чорнобривці можуть стати конкурентоздатною рослинною сировиною для виробництва спецій, барвників і функціональних харчових продуктів як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках.

Характеристика смакових та ароматичних властивостей. Чорнобривці мають складний ароматичний профіль, сформований ефірними оліями. Домінуючі ноти: фруктово-квіткові; медово-теплі; легкі цитрусові відтінки; пряна гіркуватість. Смак пелюсток м'який, з легкою терпкістю, що робить їх придатними для страв із м'яса, овочів, бобових та круп.

Технології заготівлі та кулінарної обробки:

- сушіння (пелюстки сушать у добре вентиляваному приміщенні при температурі до 40 °С; висушений матеріал подрібнюють до стану порошку);
- заморожування (дає змогу зберегти аромат та колір, проте застосовується рідше);
- олійні та спиртові настої (ароматизовані олії використовують у салатах, маринадах, десертах);
- використання свіжих кошичків (їх додають у маринади та напої як джерело смаку й природного антисептика);
- термічна обробка (під час варіння та тушкування чорнобривці додають за 3–5 хвилин до готовності страви для збереження аромату).

Основні напрями застосування у харчуванні: як приправа у м'ясних і рибних стравах; у пловах, супах, соусах та овочевих рагу; у приготуванні маринадів та консервації; у десертах (цукати, медові суміші, желе); у напоях – чаях, квасах, ферментованих міксах; у виробництві сирів і домашнього масла як барвник.

Використання чорнобривців як спеції, барвника та ароматизатора. Пелюстки чорнобривців є природним барвником завдяки високому вмісту лютеїну. Їх застосовують у бульйонах, випічці, молочних продуктах. Смакові характеристики роблять чорнобривці універсальною спецією для м'ясних, овочевих та зернових страв. Ароматичні властивості дозволяють використовувати рослину як натуральний ароматизатор у напоях та солодких продуктах.

Висновки до розділу 3

Чорнобривці є цінним компонентом функціонального харчування та фітотерапії. Їх антиоксидантний комплекс позитивно впливає на зір, серцево-судинну систему та загальну клітинну регенерацію. Ефірні олії нормалізують процеси травлення, проявляють антисептичну активність і стимулюють роботу шлунково-кишкового тракту. Завдяки комбінації біологічно активних речовин рослина може бути використана у виробництві фіточаїв, лікувально-профілактичних напоїв, олійних екстрактів і харчових добавок. Чорнобривці мають потенціал стати доступною українською інноваційною сировиною для ринку здорового харчування

РОЗДІЛ 4 СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТРАДИЦІЙНИХ І СУЧАСНИХ РЕЦЕПТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЧОРНОБРИВЦІВ

4.1. Використання чорнобривців з лікувальною метою

Чорнобривці мають цілющу силу, містять в собі багато ефірної олії і інших корисних речовин [22]. У народній медицині водяну настоянку з квітів у давнину використовували як сечогінний, потогінний і протиглисний засіб. Пилю чай із чорнобривців для лікування діареї і шлункових коліків. Мексиканські індіанці застосовували настій чорнобривців для посилення лактації, полегшення ревматичного болю [14]. В Індії соком листків лікували екзему. У квітках містяться каротиноїди –

лютеїн. Ці речовини призупиняють ризик розвитку катаракти. З лікувальною метою використовуються квіти.

Ліки з них допоможуть вилікувати печінку і нирки, при запаленнях – знімають біль. Настоянки із чорнобривців покращують обмін речовин. Їх п'янкий аромат піднімає настрій і знімає нервові напруження. Ванни із відвару чорнобривців заспокоюють нервову систему, допомагають в стресових ситуаціях, знімають занепокоєння, відновлюють душевну рівновагу. Рекомендується при неврозах, депресіях, невпевненості і розгубленості. На початковій стадії цукрового діабету здатний знизити кількість цукру в крові, позитивно впливає на підшлункову залозу. При порушенні обміну речовин (псоріаз, витиліго, діатези, нейродерміти, випадіння волосся, погіршення зору) чорнобривці також ефективні. Для лікування і профілактики захворювання підшлункової залози. Для укріплення стінок судин при зовнішніх і внутрішніх кровотечах. При нежиті і гаймориті робити інгаляції. Олія чорнобривців лікує рани, опіки. Лікує кашель.

Допомагає відвар від артриту суглобів рук і ніг. Свіжий сік чорнобривців допомагає при укусах бджіл і ос. Завдяки седативним засобам чорнобривці знижують артеріальний тиск.

Згідно з джерелами народної медицини [14; 15], чорнобривці використовують для приготування тонізуючих лосьйонів для обличчя на основі водно-спиртових екстрактів: 2 ст. л. подрібнених головок залити 1 склянки окропу, настоювати ніч, процідити. Додати 1 ст. л. горілки і 1 ч. л. лимонного соку. Зберігати в холодильнику. Протирати обличчя два-три рази в день.

Чай (настій) з квітів чорнобривців. Цей чай корисний для підтримки травлення, профілактики серцево-судинних захворювань (інсультів, інфарктів, атеросклерозу) та як загальнозміцнюючий засіб. *Інгредієнти:* 4-5 невеликих свіжих або сухих суцвіть (або 1 ст. л. пелюсток). 250 мл окропу, мед (за бажанням). *Приготування:* залити квіти окропом, настояти протягом 15 хвилин (для зовнішнього використання можна настоювати всю ніч), процідити напій. Пити 2-3 рази на день незалежно від прийому їжі.

Олія, настояна на чорнобривцях (для шкіри та волосся). Ця олія використовується для живлення шкіри, зняття

подразнень, а також для зміцнення волосся. *Інгредієнти:* сухі пелюстки чорнобривців, олія-носій (наприклад, кокосова, жожоба або кунжутна). *Приготування:* Наповніть скляну банку сухими квітами чорнобривців. Важливо: квіти мають бути повністю сухими, щоб запобігти росту бактерій. Залити квіти олією так, щоб вони були повністю покриті. Закрити банку кришкою і настоювати в темному місці близько 15 днів або півмісяця. Процідити олію через марлю або ситечко. Використовувати олію зовнішньо (наприклад, для масажу шкіри голови перед миттям або для догляду за шкірою).

Мазь із чорнобривців (для ран та запалень). Мазь допомагає загоєнню ран та знімає запалення шкіри. *Інгредієнти:* 20 г сухих пелюсток чорнобривців, 150 г масла какао, 200 мл соняшникової олії, 50 г бджолиного воску, ефірна олія лаванди (опційно, 2 мл або 40 крапель). *Приготування:* на водяній бані (або в мисці, поставленій у каструлю з гарячою водою) розтопити масло какао та соняшкову олію. Додати натертий бджолиний віск і перемішувати до повного розчинення. Додати сухі пелюстки чорнобривців і *gently* нагріти суміш протягом години, періодично помішуючи. Процідити суміш через марлю в чисту скляну ємність. Додати ефірну олію лаванди, якщо використовуєте, і перемішати. Розлити мазь у невеликі баночки і дати охолонути перед закриттям кришок.

Для зміцнення волосся. Залити окропом висушені листочки зі стеблами чорнобривців. Жменю сухої суміші на літр води. Коли настоїться, то процідити настій і змочити ним волосся на півгодини, тоді помити і знову сполоснути цим настоєм.

При болях у суглобах. Чотири ложки висушених і подрібнених квіточок, покласти в каструлю і залити літром трохи охололого окропу. Закрити й обгорнути, щоб настоялося. Коли рідина у каструлі охолоне, процідити її, відтиснути квіти і протягом дня випивати цей настій. Курс – три місяці.

Щоб знизити рівень цукру в крові. Досить приготувати настій з чорнобривців: одна квітка заливається склянкою окропу. Приймати ліки потрібно чотири рази на день по чверті склянки. Слід зазначити, що є лише традиційною практикою і не мають прямого клінічного підтвердження.

Зволожуючий бальзам для губ. Суміш з декількох квітів, половини склянки оливкової і столової ложки мигдалевого масла настоюється близько двох тижнів.

Слід зазначити, що дані рецепти є лише традиційною практикою і не мають прямого клінічного підтвердження.

4.2. Використання чорнобривців в кулінарії

Використовувати чорнобривці можна не тільки з лікувальною метою. Чорнобривці додають в компоти і киселі, які підсилюють не лише аромат, але й лікувальні властивості, підвищують стійкість організму до застуди, грипозних захворювань, різних мікробів. Рятують людей від вірусів і бактерій, зміцнюють імунітет.

У Туреччині чорнобривцями приправляють страви як спеціями, нарівні з базиліком, коріандром [14]. Вони роблять їжу корисною і допомагають нормальному травленню. У маринадах надають овочам аромат і пружність.

Хоча чорнобривці не є традиційною щоденною їжею, їх аромат і лікувальні властивості цінують у народній гастрономії:

- *борщ із чорнобривцями* (наприкінці варіння додається дрібка сушених пелюсток, що збагачує аромат страви, пом'якшує кислотність та підсилює смаковий баланс);

- *мариновані овочі* (кілька квіток на банку забезпечують природний антисептичний ефект і характерний аромат);

- *ферментовані напої* (квас на чорнобривцях отримує легку цитрусову ноту та м'який малиновий колір);

- *домашній сир* (подрібнені пелюстки використовують як фарбник і смакову домінанту).

Кавказькі та світові кулінарні практики: плов з імеретинським шафраном (спеція додає страві характерний золотистий колір і фруктовий аромат); *аджика* (сучасні рецептури включають чорнобривці як стабілізатор смаку та джерело приємної гірчинки). У Південній Америці чорнобривці додають до м'ясних страв, соусів і маринадів як основу пряно-ароматичного профілю.

Сучасні гастрономічні інновації та ресторанны страви: олії, настої та сиропи з чорнобривців; десерти з карамелізованими пелюстками; хліб із додаванням меленої спеції; авторські соуси для м'яса; ферментовані напої й коктейлі з ароматизованими настоянками. Сучасні шеф-кухарі активно включають чорнобривці до локальних меню, позиціонуючи їх як унікальний український інгредієнт.

Як приправа (у вигляді спеції). Сухі пелюстки подрібнюють і додають до м'яса, риби, каш, соусів. У Грузії, Вірменії та на Кавказі чорнобривці відомі як імеретинський шафран (або шафран з чорнобривців). Українці, особливо на півдні, перейняли цю традицію. Дає стравам золотистий колір і приємний аромат, схожий на куркуму або шафран.

Для ароматизації напоїв. Пелюстки додають у трав'яні чаї, компоти, узвари — для тонкого медово-пряного запаху. У деяких регіонах чорнобривці додають у домашнє вино або настоянки.

У кондитерських виробках і напоях. Цукати з пелюсток чорнобривців – давня традиція у селах Поділля. Пелюстки також використовували для ароматизації меду, варення чи желе.

Висновки до розділу 4

Проаналізовано різні кулінарні та лікувальні практики, що демонструють універсальність використання чорнобривців. У народній медицині рослина довела свою ефективність як протизапальний, імуномодулювальний, антисептичний та відновлювальний засіб. У гастрономії чорнобривці успішно поєднуються з м'ясними, овочевими, молочними та ферментованими продуктами, надаючи їм характерного аромату та золотистого кольору. У сучасній кухні простежується тенденція до відродження та переосмислення традиційних технологій із використанням чорнобривців. Інноваційні ресторанны страви підтверджують можливість інтеграції рослини у світові гастрономічні тренди.

РОЗДІЛ 5

РЕЦЕПТУРА ТРАДИЦІЙНИХ ТА СУЧАСНИХ СТРАВ З ДОДАВАННЯМ ЧОРНОБРИВЦІВ

Під час опрацювання розділу були використані рецептури з різних відкритих джерел, зокрема кулінарних сайтів, народних збірників, етнографічних описів, матеріалів кулінарних блогів. Усі рецепти були адаптовані, узагальнені та подані у стандартизованому технологічному форматі. Частину рецептів також було доповнено власними спостереженнями, уточненнями та практичними рекомендаціями, отриманими під час приготування страв у лабораторних умовах коледжу.

5.1. Борщ із чорнобривцями (традиційний подільський варіант)

Борщ із додаванням пелюсток чорнобривців (*Tagetes spp.*) є традиційною регіональною стравою Поділля, у якій рослина виконує функцію ароматичної пряності, аналогічної за дією до імеретинського шафрану. Чорнобривці надають страві характерного пряно-медового відтінку та зумовлюють підсилення органолептичних властивостей овочевої частини.

Інгредієнтний склад. 400 г м'яса свинини або яловичини на кістці; 2–3 коренеплоди буряка; 1 морква; 1 цибулина; 3–4 картоплини; ¼ голівки капусти; 2 ст. л. томатної пасти або подрібнених помідорів; 2 ст. л. олії; 1–2 ч. л. сушених пелюсток чорнобривців; 1–2 зубчики часнику; 1 лавровий лист; сіль, перець; зелень за смаком; 1 ч. л. оцту або лимонного соку для стабілізації пігменту буряка.

Технологія приготування. Спочатку готують бульйон: м'ясо варять у 2 л води протягом 1–1,5 год до готовності, солять наприкінці. Буряк подрібнюють на крупній тертці та злегка обсмажують на олії з додаванням томату та кислоти. До бурякової заправки вводять подрібнену моркву й цибулю та тушкують 10 хв. В киплячий бульйон додають нарізану картоплю, через кілька хвилин — капусту. Після 10 хв варіння вводять овочеву заправку, лавровий лист, прянощі, часник та висушені пелюстки чорнобривців (0,3–0,5 ч. л. на порцію). Після доведення до кипіння борщ настоюють під кришкою 15–20 хв.

Органолептичні характеристики. Додавання чорнобривців зумовлює золотисто-помаранчевий відтінок страви та пряний аромат із медовими нотами. Пелюстки пом'якшують кислотність буряка та томатів.

Культурно-етнографічна довідка. Традиційні рецепти борщу із застосуванням чорнобривців зафіксовані у селах Поділля (Вінницька та Хмельницька області). У сучасній гастрономії такі варіанти відтворюються в українських етноресторанах як елемент культурної спадщини.

5.2. Мариновані томати з чорнобривцями

Маринування томатів із додаванням суцвіть чорнобривців ґрунтується на використанні рослинної сировини з природними антисептичними властивостями, що сприяють подовженню терміну зберігання готової продукції (додаток А).

Інгредієнти (на 3-літрову банку). 1,5–2 кг щільних стиглих помідорів; 3–4 суцвіття чорнобривців; по 2–3 листки смородини, хрону, вишні; 1–2 парасольки кропу; 3–4 зубчики часнику; шматочок гострого перцю (за потреби); 1–2 лаврові листки; 4–5 горошин запашного перцю.

Маринад (на 1 л води). 1 ст. л. солі з гіркою; 2 ст. л. цукру; 70 мл оцту 9%.

Технологія приготування. Скляні банки стерилізують. На дно вкладають ароматичне листя, часник, кріп і суцвіття чорнобривців, після чого щільно укладають помідори. Додають спеції, заливають попередньо прокип'яченим маринадом і витримують 10–15 хв. Маринад зливають, повторно кип'ятять, додають оцет, знову заливають у банку та герметично закупорюють. Для повільного охолодження банки укутують тканиною.

Органолептичні та функціональні властивості. Додавання чорнобривців забезпечує томатам пряно-солодкуватий аромат і злегка гірку нотку. Суцвіття завдяки вмісту ефірних олій діють як природний консервант. У разі використання листя чорнобривців необхідно контролювати їх кількість, щоб уникнути надмірної гіркоти.

5.3. Домашній сир із чорнобривцями

Домашній сир із додаванням чорнобривців є прикладом інноваційного застосування рослинної сировини як природного барвника та ароматичної добавки (додаток Б). Пелюстки *Tagetes* виконують роль природного пігменту та формують характерний пряний аромат.

Інгредієнтний склад. 500 г кисломолочного сиру; 100 г вершкового масла; 1 яйце; 0,5 ч. л. соди; сіль за смаком; 1–2 ст. л. сушених пелюсток чорнобривців.

Технологія приготування плавленого сиру. Сир, м'яке масло, яйце, сіль і пелюстки чорнобривців змішують до однорідної консистенції за допомогою блендера. Суміш нагрівають на повільному вогні, постійно помішуючи, додають соду й доводять до повної однорідності маси. Готову гарячу масу переливають у форму, охолоджують і витримують у холодильнику до стабілізації структури.

Рекомендації. Для виготовлення використовують їстівні сорти чорнобривців (*T. minuta*, *T. signata*). Пелюстки мають бути добре висушені. Готовий продукт зберігають у холодильнику 3 – 5 діб. За бажанням можна вводити додаткові добавки (зелень, часник).

5.4. Олія для салатів із чорнобривцями

Олія, настояна на висушених суцвіттях чорнобривців, є продуктом, отриманим методом мацерації, який дозволяє екстрагувати біологічно активні речовини у жировій фракції. Продукт використовується як ароматична олія для салатів і заправок.

Інгредієнти. Висушені суцвіття *Tagetes spp.*; базова олія-носій (оливкова, мигдальна, жожоба або соняшникова); стерильна скляна тара.

Технологія (холодний метод). Суху рослинну сировину поміщають у скляну ємність, заповнюючи її на $\frac{1}{2}$ – $\frac{2}{3}$ об'єму. Квіти повністю заливають олією, залишаючи 1–2 см запасу зверху. Ємність щільно закривають і настоюють 4–6 тижнів у теплому місці, періодично струшуючи. Після настоювання суміш

фільтрують, зберігають у тарі з темного скла. Термін зберігання – до 12 місяців.

5.5. Трав'яний чай «Сонячний»

Трав'яний чай «Сонячний» є полікомпонентним фітозбором, у якому суцвіття чорнобривців поєднуються з м'ятою, мелісою, календулою та липовим цвітом. Такий склад забезпечує комплексний смаковий профіль та потенційні функціональні властивості (додаток В).

Оптимальні пропорції. Чорнобривці – 1 частина; календула – 1 частина; липа – 1 частина; м'ята – 0,5 частини; меліса – 0,5 частини.

Технологія приготування. Сухі інгредієнти змішують, зберігають у скляній або металевій тарі. Для заварювання 2 ч. л. суміші заливають 250 мл окропу (80-95 °С), настоюють 10–15 хв під кришкою. Напій вживають свіжоприготовленим.

Функціональні властивості. Чорнобривці можуть сприяти нормалізації травлення та мають легку діуретичну дію; м'ята й меліса зумовлюють седативні ефекти; календула проявляє антисептичні властивості; липа – протизапальні.

5.6. Квас із чорнобривців

Квас, виготовлений на основі суцвіття чорнобривців, є традиційним напоєм, що широко побутує в українських регіонах. Продукт поєднує освіжаючі властивості квасу з потенційною фітотерапевтичною дією рослинної сировини.

Інгредієнти. 5 л джерельної води; 400 г бурякового цукру; 40 г лимонної кислоти або сік 4 лимонів; 56 суцвіття чорнобривців темного забарвлення.

Технологія приготування. У воді розчиняють цукор і кислоту, додають суцвіття та настоюють 3 доби в темному місці. Після первинного настоювання напій фільтрують і витримують у прохолодному приміщенні 10–14 днів для природного бродіння.

Оцінка функціональних властивостей. Напій характеризується можливим антиоксидантним, тонізуючими та протизапальним ефектами, зумовленими хімічним складом

Tagetes spp.. Квас може бути рекомендований як сезонний освіжаючий напій (додаток Г).

5.7. Цінна спеція – імеретинський шафран

Органолептичні властивості свіжих суцвіть *Tagetes erecta* характеризуються інтенсивним, специфічним для родини *Asteraceae* ароматом, який часто сприймається як різкий. У процесі сушіння хімічний склад летких сполук змінюється, внаслідок чого аромат набуває більш м'якого та фруктового відтінку, а смак — виразної пряності. Подібність висушених пелюсток до аромату суміші висушеної хурми та гранатових кірок зумовлює їх використання як альтернативи дорогому шафрану (*Crocus sativus*).

Спеція, відома під назвою «імеретинський шафран», виробляється з подрібнених пелюсток або з цілих висушених квіткових кошиків *Tagetes*. Найвищу якість мають пелюстки, попередньо відокремлені від чашолистків, що обумовлює вищу собівартість продукту. Виготовлення спеції можливе в домашніх умовах: суцвіття збирають на стадії повного цвітіння, висушують у добре вентиляваному приміщенні, після чого подрібнюють (додаток Д). Через високу концентрацію ароматичних речовин спецію рекомендують дозувати мінімальними кількостями, щоб уникнути надмірної гіркоти страви.

Імеретинський шафран є важливою складовою кавказької гастрономічної традиції, зокрема грузинської кухні, і активно застосовується як натуральний барвник, ароматизатор і смакова домінанта.

5.8. Огірки консервовані

Методика консервування огірків із додаванням чорнобривців ґрунтується на поєднанні традиційної технології маринування та використанні *Tagetes* як натурального ароматизатора й антисептичної рослини. Розрахунок рецептури здійснюється на дві стандартні трилітрові банки. Огірки укладають щільно, без попереднього механічного пошкодження (не обрізають кінчики та не проколюють плоди), що сприяє збереженню текстури під час зберігання.

У кожному банку додають:

- 2 лаврових листки;
- 5 горошин чорного перцю та 2 – духмяного перцю;
- $\frac{1}{3}$ чайної ложки імеретинського шафрану або 3 висушені суцвіття чорнобривців;
- 3 бутони гвоздики.

Після заливання окропом огірки настоюють 40 хвилин, далі рідину зливають, кип'ятять і додають цукор (6 ст. л.) та сіль (4 ст. л.). Після повного розчинення компонентів у маринад вливають 6 столових ложок оцту та повторно розливають по банках. Консервацію завершують герметичним закупорюванням стерилізованими кришками (додаток Е).

Застосування чорнобривців у маринадах зумовлене наявністю у рослині летких органічних кислот, лютеїну та ефірних олій, що мають природні антимікробні властивості, підтвержені в ряді фітохімічних досліджень.

5.9. Узбецький плов

У технології приготування узбецького плову використання імеретинського шафрану є важливим елементом формування кольору, смаку та аромату готової страви. Спеція забезпечує рису золотистий відтінок і м'який пряний аромат, який не може бути відтворений без її застосування (додаток Ж).

Рецептура розрахована на 1 кг баранини (або яловичини з високим вмістом жиру) та 450 г рису. Рис ретельно промивають до прозорості води та замочують у гарячій воді. Овочеву частину плову формують із моркви (700 г), нашаткованої брусками, та цибулі (500 г), подрібненої кубиками. М'ясо нарізають шматками до 2 см завдовжки.

Приготування зірвака (основи страви) починається зі змішування кукурудзяної олії (200 мл) та кунжутної (50 мл). У нагрітій посудині послідовно обсмажують моркву, м'ясо й цибулю, запобігаючи перегорянню, щоб уникнути надмірної гіркоти. Для приготування суміші спецій використовують такі компоненти у співвідношенні (чайні ложки): 0,5 – гострий перець; 1 – імеретинський шафран; 2 – паприка; 3 – сіль; 4 – зіра; 5 – ягоди барбарису.

Після обсмаження овочів і м'яса додають воду так, щоб її рівень був на 1 см вищим за м'ясний шар. Страву доводять до кипіння та тушкують на слабкому вогні. У технології підкреслюється потреба дещо пересолити основу, оскільки рис під час варіння активно абсорбує сіль.

Використання імеретинського шафрану в плові відображає вплив кавказької гастрономічної традиції на центральноазійську кухню та підтверджує універсальність чорнобривців як кулінарної пряності.

5.10. Салат із використанням чорнобривців

Даний салат є прикладом комбінованої страви зі свіжих овочів, м'ясної сировини та ароматичних спецій, серед яких застосовуються пелюстки чорнобривців, що виконують роль природного барвника та пряної добавки.

Технологічна частина. Білу редьку подрібнюють на тертці так, щоб утворилися довгі волокнисті смужки; надлишковий сік видаляють механічним віджиманням. Три мариновані огірки очищають від шкірки та натирають аналогічним способом. Відварену яловичину (100 г) нарізають тонкими слайсами; можливе використання копченої яловичини для формування виразнішого смаку.

Пекінську капусту частково шаткують, залишаючи кілька цілих листків, які згодом розривають вручну для збереження природної текстури. Червону цибулю (2 головки) нарізають кільцями та розділяють на окремі сегменти.

У окремій ємності змішують у рівних пропорціях імеретинський шафран (сушені пелюстки *Tagetes*) та подрібнене насіння пажитника (використовується як спеція з горіхово-гіркуватим відтінком); суміш перетирають до порошкоподібної консистенції.

Після комбінування всіх інгредієнтів салат заправляють кунжутною олією, за потреби коригують кількість солі. Для оздоблення використовують цілі листки пекінської капусти та пелюстки чорнобривців.

Органолептичні властивості. Страва характеризується свіжим, структурованим смаковим профілем із легкою пряною ноткою, зумовленою чорнобривцями та пажитником.

5.11. Хліб із чорнобривцями, приготований у хлібопічці

Використання пелюсток чорнобривців у виробках з тіста дозволяє отримати хліб із золотистим відтінком та характерним пряним ароматом. Технологічний процес оптимізований для хлібопічки.

Технологічний процес. На дно чаші хлібопічки наливають кефір у кількості, що покриває дно (приблизно $\frac{1}{2}$ склянки), після чого додають аналогічний об'єм кип'яченої охолодженої води. Додають 10 г сухих дріжджів швидкої дії, 2 ст. л. пшеничних або вівсяних висівок, 400 г борошна, $\frac{1}{2}$ ч. л. імеретинського шафрану, 2,5 ст. л. цукру та 1,5–2 ст. л. солі.

Замішування тіста здійснюють у режимі «Пельмені». Після завершення замішування встановлюють хлібопіч на режим «Дієтичний». За 1,5 год до завершення випікання до чаші додають 2 ст. л. олії для формування м'якшої текстури м'якушки.

Кінцевий продукт. Хліб має помірно щільну структуру, виражений аромат імеретинського шафрану та характерний золотистий колір.

5.12. Мариновані чорнобривці

Маринування пелюсток чорнобривців є способом консервування рослинної сировини для подальшого використання як ароматичної спеції в стравах м'ясної та овочевої групи.

Сировина та пропорції. 1 кг пелюсток чорнобривців; 2 ст. л. кам'яної солі; 3 горошини чорного перцю; 0,5 л 9% оцту.

Технологія маринування. Готують розсіл: воду доводять до кипіння, додають сіль і перець, кип'ятять 4 хв. Потім вливають оцет, після чого гарячий розчин розливають у стерилізовані скляні ємності, заповнені пелюстками чорнобривців. Банки герметично закупорюють і залишають для охолодження.

Характеристика готового продукту. Мариновані чорнобривці мають інтенсивний аромат і можуть використовуватися як приправа до м'яса, овочів і гарячих страв.

5.13. Аджика з чорнобривців

Аджика на основі чорнобривців є варіантом гострого соусу, у якому суцвіття *Tagetes* виконують функцію ароматичної та барвної складової.

Інгредієнтний склад. 25 суцвітть чорнобривців; 1 склянка подрібнених волоських горіхів; 1 склянка подрібненого часнику; 1 кг гіркого перцю; 80 г солі; 1 пакування коріандру; 1 пакування хмелі-сунелі.

Технологія приготування. Суцвіття чорнобривців промивають і ретельно висушують. Використовують немахрові сорти. Усі компоненти двічі пропускають через м'ясорубку для досягнення рівномірної консистенції. Готову масу розміщують у стерильну суху банку й зберігають у холодильнику (додаток И).

Використання. Аджика може застосовуватися як приправа до м'ясних і овочевих страв, плову, птиці, супів, пельменів.

Результатом систематизації традиційних рецептів та сучасних гастрономічних практик з використанням чорнобривців є розроблена збірка технологічних карток страв з чорнобривцями (додаток К).

5.14. Авторські страви

Літній напій «Сонцеквіт»

У процесі проведення дослідження було встановлено, що чорнобривці характеризуються виразним м'яко-квітковим ароматом та природною жовтогарячою пігментацією. Зазначені властивості зумовили розроблення рецепту напою, у якому ароматичний профіль рослини може бути відтворений у максимально делікатній та освіжаючій формі. Напій «Сонцеквіт» – напій, що поєднує легкі цитрусові ноти, натуральний лютеїновий барвник і м'який квітковий аромат чорнобривців (додаток Л). Напій підходить для літнього меню кафе, барів, кав'ярень та закладів здорового харчування.

Характеристика авторської страви.

Тип страви: тонізуючий функціональний напій.

Основа: настій із чорнобривців (*Tagetes erecta* / *Tagetes patula*), лимонний сік, медова вода.

Смаковий профіль: квітково-цитрусовий, освіжаючий, із легким медовим посмаком.

Колір: світло-золотистий або ніжно-помаранчевий завдяки лютеїну.

Особливість: використання їстівних пелюсток чорнобривців у ролі натурального ароматизатора та антиоксидантної добавки.

Інгредієнти (на 1 порцію, 350 мл): вода питна – 300 мл; пелюстки чорнобривців сушені – ½ ч. л.; лимонний сік свіжий (літній варіант) – 1 ст. л.; мед – 1-1,5 ч. л. (або цукровий сироп – 10 мл); м'ята свіжа – 1-2 листочки.

Декор: пелюстки чорнобривців або тонкий слайс лимона

Технологія приготування. Приготування настою. Сушені пелюстки чорнобривців залити 150 мл гарячої води (80-85 °С). Накрити і настоювати 10 хвилин – цього достатньо, щоб аромат став яскравим, але не різким. Процідити настій, дати охолонути до температури 40-45 °С.

Формування напою. Додати мед до теплого настою і ретельно розмішати до повного розчинення. Влити лимонний сік (у разі приготування літнього напою). Покласти листочок м'яти.

Подача. Напій подають у склянці хайбол або у прозорій чаші, щоб підкреслити золотистий колір. Можна додати кілька крихітних пелюсток чорнобривців зверху для візуального акценту.

Органолептична характеристика. Колір: світло-золотистий, інколи із м'яким помаранчевим відтінком. Аромат: квітковий, теплий, з легкими цитрусовими нотами. Смак: освіжаючий, м'яко-солодкий, з легким пряним відтінком чорнобривців. Після смак: медово-лимонний з невеличкою квітковою нотою.

Особливості та новизна страви:

– поєднання українського локального продукту (чорнобривців) із сучасним підходом до напоїв;

– використання їстівних квітів, що зараз є трендом гастрономії;

– напій легко адаптувати для здорового харчування, літнього меню, фітобару;

– гарно виглядає на фото та підходить для подачі у склянному посуді;

– технологія проста, але результат – яскравий та унікальний.

Напій «Літній настій із Tagetes» може стати цікавою та абсолютно авторською позицією у меню сучасного закладу. Він демонструє можливості чорнобривців як гастрономічного інгредієнта та розширює використання їстівних квітів у кулінарії. Страва відповідає трендам здорового та функціонального харчування й гармонійно поєднується з темою дослідження.

Салат «Tagetes Salad: Подільська інтерпретація»

Метою розроблення страви було поєднання сучасних гастрономічних підходів із виразними елементами української кулінарної ідентичності. У результаті створено легку салатну композицію, що інтегрує сезонні овочі, свіжий домашній сир та авторську олію з чорнобривців, яка вже використовується у виробничій практиці (додаток М).

Характеристика страви. Тип: холодна закуска. Смак: свіжий, пряний, із квітковими нотами. Стиль: гастрономічна інтерпретація українських сезонних продуктів. Колір: дуже яскравий за рахунок овочів і золотистої олії.

Інгредієнти (1 порція): огірок свіжий – ½ шт.; помідор рожевий – ½ шт.; домашній сир (зернистий або м'який) – 50 г.; листя салату (будь-яке) – 30 г.; кріп – 2-3 гілочки; олія з чорнобривців – 1,5 ст. л.; сіль – за смаком; лимонний сік – ½ ч. л.; пелюстки чорнобривців для декору – дрібка.

Технологія приготування. Підготовка інгредієнтів. Огірок нарізати півкружальцями. Помідор – скибками. Листя салату порвати руками для кращої текстури. Сир розім'яти виделкою або використати зернистий без змін.

Формування салату. На тарілку викласти листя салату. Додати овочі, перемішати їх із лимонним соком та дрібкою солі. Викласти зверху домашній сир. Рівномірно полити олією з чорнобривців. Декорувати кількома яскравими пелюстками чорнобривців.

Органолептична характеристика. Смак: дуже свіжий, літній, легкий. Олія приносить квіткову ноту, але не перебиває смак овочів. Аромат: трав'янистий із прямими квітковими

відтінками. Колір: яскравий і апетитний – червоний, зелений, білий, золотистий.

Новизна. Страва підкреслює українські сезонні продукти та поєднує їх із сучасною гастрономічною технікою – ароматизованою олією. Може стати фірмовою позицією літнього меню.

У рамках прикладної частини дослідження було проведено органолептичне тестування двох видів страв із використанням пелюсток чорнобривців (*Tagetes spp.*):

- квасу;
- маринованих томатів.

Тестування мало на меті оцінити, як додавання *Tagetes* впливає на аромат, смак, колір, консистенцію та загальне сприйняття цих продуктів. Методика адаптована для рівня студентської лабораторії та не потребує спеціального оснащення (додаток Н).

Методика дослідження.

Учасники: залучено 10 дегустаторів (студенти та викладачі коледжу).

Зразки квасу:

- Зразок А – традиційний квас без *Tagetes* (контроль).
- Зразок В – квас, настояний на 56 суцвіттях чорнобривців (експеримент).

Мариновані томати:

- Зразок С – традиційні мариновані томати (контроль).
- Зразок D – томати, мариновані із суцвіттями чорнобривців (експеримент).

Шкала оцінювання (1-5 балів)

1 – дуже слабо / неприємно; 5 – яскраво / дуже приємно

Оцінювали параметри: аромат; смак; колір; текстура / консистенція; загальна приємність. Оцінювання проводилось у дегустаційних листах – бланках (додаток П). Результати органолептичної оцінки наведено у додатку Р.

Висновки дослідження: додавання пелюсток чорнобривців позитивно впливає на органолептичні якості обох досліджених продуктів. У квасі *Tagetes* посилили аромат, надали напою приємного золотистого кольору та м'якої пряності. У

маринованих томатах чорнобривці покращили аромат і візуальну привабливість продукту, не погіршуючи текстуру.

За результатами тестування, загальна приємність обох експериментальних зразків підвищилася приблизно на 0,7–0,9 бали, що свідчить про доцільність використання *Tagetes* як ароматичної добавки у ферментованих та маринованих продуктах.

Висновок до розділу 5

П'ятий розділ представив практичну частину роботи – добірку страв, що демонструють різноманітні кулінарні можливості чорнобривців. Практичні рецептури підтверджують, що рослина може бути ключовим інгредієнтом у супах, маринадах, пловах, салатах, молочних продуктах, хлібопеченні, напоях та соусах. Чорнобривці підсилюють смак, виступають природним барвником, виконують функцію натурального консерванту та формують нові гастрономічні властивості страв. Створені технологічні карти страв доводять придатність чорнобривців для впровадження в харчове виробництво та ресторанні технології.

ВИСНОВКИ

Чорнобривці – це не просто яскраві квіти, які прикрашають українські подвір'я. Вони стали невід'ємною частиною культурної спадщини України, символом рідної домівки, материнської любові, тепла та духовного зв'язку з Батьківщиною. Хоча їхня історична батьківщина – Мексика та Центральна Америка, в Україні чорнобривці набули особливої символіки, глибоко укорінилися у фольклорі, мистецтві й традиціях.

Квіти мають надзвичайно багатий потенціал: вони використовуються в лікуванні, кулінарії, декоративному садівництві, народних обрядах і навіть у сучасних екологічних практиках. Їхній аромат відлякує шкідників, а лікувальні властивості сприяють зміцненню здоров'я, підтримці нервової системи, покращенню стану шкіри й волосся. У кулінарії

чорнобривці відомі як «український» або «імеретинський шафран», надаючи стравам особливого смаку й аромату.

Численні легенди, поетичні рядки, музичні та живописні твори демонструють: чорнобривці – це квіти, що об'єднують різні культури світу, але в Україні вони стали справжнім символом душевності, родинного затишку та духовної краси.

Отже, чорнобривці – це унікальне поєднання краси, користі й культурного змісту. Вони втілюють історію, любов і традиції українського народу, залишаючись символом, який надихає і сьогодні.

Проведене дослідження підтверджує, що чорнобривці (*Tagetes erecta*) є перспективною інноваційною рослинною сировиною для харчових і фармацевтичних технологій. Комплексний аналіз історичних, ботанічних, хімічних, кулінарних та оздоровчих аспектів використання рослини довів, що чорнобривці мають значну гастрономічну, функціональну та культурну цінність.

Історико-культурний огляд засвідчив, що чорнобривці стали невід'ємною частиною гастрономічної спадщини багатьох народів, зокрема України, де рослина трансформувалася зі символічного образу в цінний харчовий компонент. Ботанічна та хімічна характеристика підтвердила наявність у рослині потужного комплексу біологічно активних сполук, що формують характерний аромат, смак та високий оздоровчий потенціал.

У роботі встановлено, що чорнобривці можуть використовуватися як натуральний барвник, спеція, ароматизатор, консервант і функціональний інгредієнт у харчовій промисловості. Їх ефірні олії, каротиноїди та флавоноїди сприяють створенню корисних продуктів харчування та фітотерапевтичних засобів. Систематизація рецептів і розробка технологічних карт показали практичну реалізацію теоретичних положень і підтвердили придатність рослини до широкого використання в домашній, професійній та індустріальній гастрономії.

Загалом чорнобривці є унікальним інгредієнтом, що поєднує харчову, лікувальну та культурну цінність, і здатні стати основою для розвитку нових технологій у харчовій промисловості, фітотерапії та ресторанній кухні. Результати дослідження засвідчують необхідність подальших наукових

розвідок, спрямованих на стандартизацію, промислове впровадження та популяризацію чорнобривців як локального українського супер інгредієнта.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гродзінський А. М. Лікарські рослини : енциклопедичний довідник. Київ : Українська енциклопедія, 1992. 543 с.
2. Державна фармакопея України. Доп. 2. 1-е вид. Харків : ДП «Науковоекспертний фармакопейний центр», 2008. 620 с.
3. Екологічна енциклопедія / за ред. Я. П. Дідуха. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2010. 540 с.
4. Ботанічний словник-довідник / за ред. Т. Л. Андрієнко. Київ : Наукова думка, 2004. 460 с.
5. Ковальова О. С., Півоваров О. А., Вакуленко А. В. Застосування квіткової сировини у виробництві вин (на прикладі чорнобривців). *Наука технології інновації*. 2025. № 3 (35). С. 46-60.
6. Ковтун В. І. Квітникові рослини відкритого ґрунту: вирощування та догляд. Харків : Ранок, 2021. 140 с.
7. Малюгіна О. О., Мазулін О. В., Смойловська Г. П., Мазулін Г. В., Єренко О. К. Компонентний склад та протимікробна дія ефірної олії суцвіть чорнобривців пряmostоячих (*Tagetes erecta* L). *Фармацевтичний журнал*. 2014. № 1. С. 86-92. URL : <http://nbuv.gov.ua/> (дата звернення 23.10.2025).
8. Малюгіна О. О., Мазулін О. В., Мазулін Г. В. Визначення кількісного вмісту флавоноїдів у суцвіттях чорнобривців розлогих і пряmostоячих. *Запорізький медичний журнал*. 2013. № 6 (18). URL : <http://nbuv.gov.ua/> (дата звернення 25.10.2025).
9. Малюгіна Е. А., Смойловська Г. П. Мікроскопічна діагностика суцвіть *Tagetes erecta* L. var. *Hawaji*. *Інновації в медицині та фармації*. 2017. Т. 1, Вип. 4. С. 46-50.
10. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин : підручник. Київ, «Либідь», 2005. 808 с.

11. Флора України. / за ред. К. К. Флоровича. Т. 1-12. Київ : Наукова думка, 1965. 587 с.
12. Чорнобривці: квіти, що дарують радість. URL : <https://gelios.ua/czikavi-fakty-pro-chornobryvczi-sonyachni-kvity/> (дата звернення 21.09.2025).
13. Чорнобривці – символ дому, материнської любові. URL : <https://www.lvduvs.edu.ua/uk/virtual-book-exhibitions2/derzhavni-ta-narodni-symvoly-ukrainy.html> (дата звернення 22.10.2025).
14. Що приховують чорнобривці? URL : <https://www.ar25.org/article/shcho-pryhovuyut-chornobryvci.html> (дата звернення 25.10.2025).
15. Чорнобривці : що лікують, від чого захищають і чому цей символ України родом з Мексики. URL : <https://nsirogozy.city/articles/109266/chornobrivci-scho-likuyut-vid-chogo-zahischayut-i-chomu-cej-simvol-ukraini-rodod-z-meksiki> (дата звернення 15.11.2025).
16. Agricultural Practices of Ancient Civilizations: The Aztecs URL : <https://www.isaaa.org/kc/cropbiotechupdate/features/aztecs.htm> (дата звернення 05.10.2025).
17. Ahsan S., Sabir A., Mohamed Ahmed I. A. Phytochemical profiling of *Tagetes erecta* L. flowers at various blooming stages through optimized extraction of bioactive compounds for the development of functional juice. *Front. Sustain. Food Syst.* 2025. V. 9: 1474848.
18. Antioxidant activities and lutein content of 11 marigold cultivars (*Tagetes* spp.) grown in Thailand. URL : <https://www.scielo.br/j/cta/a/HpD9SNHj3D5rVmkdJ4qgWxD/?lang=en> (дата звернення 20.10.2025).
19. Erbil N., Alan Y., Digrak M. Antimicrobial and Antioxidant Properties of *Lamium galactophyllum* Boiss & Reuter, *L. macrodon* Boiss & Huet and *L. amplexicaule* from Turkish Flora. *Asian Journal of Chemistry.* 2014. Vol. 26. N 2. P. 549-554.
20. Keshavarz M., Matloobi M., Alizadeh-Salteh S., Rezghiyan A. Optimizing plant growth and pigment profiles of African marigold (*Tagetes erecta* L.) under different light spectra. *BMC Plant Biol.* 2025. V. 25, № 1. Art. 1619.

21. López-Estrada D., Chang W.-T., Heinrich M. From “traditional” to modern medicine: a medical and historical analysis of *Tagetes erecta* L. (Cempasúchil) // *J. Tradit. Complement. Med.* 2025. V. 15, № 1. P. 6-14.

22. Hydroalcoholic extract of *Tagetes erecta* L. flowers, rich in the carotenoid lutein, attenuates inflammatory cytokine secretion and improves the oxidative stress in an animal model of ulcerative colitis. URL : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30979660/> (дата звернення 25.10.2025).

23. *Tagetes lucida* cav. URL : https://www.researchgate.net/publication/359060086_doslidzenna_flavonoidiv_cornobrivciv_zolotistih_tagetes_lucida_cav/fulltext/63dd46a162d2a24f92f573b3/doslidzenna-flavonoidiv-cornobrivciv-zolotistih-tagetes-lucida-cav.pdf (дата звернення 28.10.2025).

24. Study of biological activity of aqueous extracts of *Tagetes Patula* L. flowers. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40562317/> (дата звернення 22.10.2025).

25. Rivas-García L., Crespo-Antolín L., Forbes-Hernández T. Y., Romero-Márquez J. M., Navarro-Hortal M. D., Arredondo M., Llopis J., Quiles J. L., Sánchez-González C. Bioactive properties of *Tagetes erecta* edible flowers: polyphenol and antioxidant characterization and therapeutic activity against ovarian tumoral cells and *Caenorhabditis elegans* tauopathy // *Int. J. Mol. Sci.* 2024. V. 25, № 1. Art. 280.

26. Moliner C., Barros L., Dias M. I., López V., Langa E., Ferreira I. C. F. R., Gómez-Rincón C. Edible flowers of *Tagetes erecta* L. as functional ingredients: phenolic composition, antioxidant and protective effects on *Caenorhabditis elegans*. *Nutrients*. 2018. V. 10, № 12. Art. 2002.

27. Shetty V., Dheematti S., Dhanabal S. P. A brief review on medicinal plant *Tagetes erecta* L. // *J. Appl. Pharm. Sci.* 2015. V. 5, Suppl. 3. P. 91–95.

28. Meurer M., de Oliveira B. M. M., Cury B. J., Jerônimo D. T., Venzon L., França T. C. S., Mariott M., Silva-Ruan S., Santos A. C., Roman-Junior W. A., Oliveira R. G., Arunachalam K., Santin J. R., Benvenuti L., Souza P., Aldana-Mejía J. A., da Silva L. Extract of *Tagetes erecta* L., a medicinal plant rich in lutein, promotes gastric

healing and reduces ulcer recurrence in rodents // *J. Ethnopharmacol.* 2022. V. 293. Art. 115258.

29. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Lutein from *Tagetes erecta* L. (Chemical and Technical Assessment, 63rd JECFA). – Rome: FAO, 2010.

30. European Food Safety Authority (EFSA), Panel on Food Contact Materials, Flavourings and Processing Aids (CEF). Scientific Opinion on the re-evaluation of lutein (E 161b) as a food additive // *EFSA J.* 2010. V. 8, № 5. P. 1557.

31. The Plant List (*Tagetes* spp.). Kew Botanical Garden. URL : www.theplantlist.org (дата звернення 27.10.2025).

32. USDA, Agricultural Research Service. *Tagetes* L. – Germplasm Resources Information Network (GRIN). URL : <https://plants.usda.gov> (дата звернення 25.11.2025).

33. *Tagetes erecta*. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Tagetes_erecta (дата звернення 22.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Мариновані томати з чорнобривцями



Додаток Б

Домашній сир з чорнобривцями



Додаток В

Трав'яний чай «Сонячний»



Додаток Г

Квас з чорнобривців



Додаток Д

Імеретинський шафран



Огірки консервовані

Додаток Е



Узбецький плов

Додаток Ж



Аджика з чорнобривцями



Збірка технологічних карт

Технологічна карта «Огірки консервовані з чорнобривцями»

Показник	Зміст
Назва продукту	Огірки консервовані з чорнобривцями
Вихід	1 л банка
Сировина	Огірки – 600–700 г; чорнобривці – 3 шт; вода – 500 мл; сіль – 20 г; цукор – 25 г; часник – 2 зуб.; 5 горошин чорного перцю; 2 горошини духмяного перцю; 3 гвоздики; 0,5 чайної ложки імеретинського шафрану; кріп
Технологічний процес	1. Закласти спеції та огірки. 2. Приготувати маринад. 3. Залити огірки. 4. Додати оцет. 5. Закрити та охолодити.
Органолептика	Аромат пряний; огірки хрумкі; колір огірків злегка оливковий

Технологічна карта «Мариновані чорнобривці»

Показник	Зміст
Назва продукту	Мариновані чорнобривці
Вихід	0,25 л банка
Сировина	Чорнобривці суцвіття – 15–20 шт; вода – 200 мл; сіль – 10 г; цукор – 10 г; оцет – 20 мл
Технологічний процес	1. Відібрати свіжі квіти. 2. Промити. 3. Приготувати маринад. 4. Залити квіти маринадом. 5. Закрити стерильними кришками.
Органолептика	Аромат квітково-пряний; колір насичений; структура пружна

Технологічна карта «Квас із чорнобривців»

Показник	Зміст
Назва напою	Квас із чорнобривців
Вихід	1 л
Сировина	Квіти чорнобривців – 12 шт.; вода – 1 л; цукор – 100 г; лимон – 10 г
Технологічний процес	1. Залити пелюстки холодною водою. 2. Додати цукор і лимон. 3. Бродіння 12-24 год. 4. Процідити.
Органолептика	Колір рожевий; смак освіжаючий; аромат квітковий

Технологічна карта «Салат із чорнобривцями»

Показник	Зміст
Назва страви	Салат овочевий із чорнобривцями
Вихід	200 г
Сировина	Помідори – 80 г; огірок – 60 г; цибуля – 20 г; олія з чорнобривців – 10 мл; пелюстки – 0,3 г
Технологічний процес	1. Нарізати овочі. 2. Додати олію. 3. Додати пелюстки. 4. Перемішати та подати.
Органолептика	Аромат свіжий; смак збалансований; колір яскравий

Технологічна карта «Аджика з чорнобривців»

Показник	Зміст
Назва продукту	Аджика з чорнобривців
Вихід	250 г
Сировина	Перець червоний – 150 г; часник – 50 г; чорнобривці – 1 г; сіль – 5 г; олія – 10 мл; волоські горіхи 50 г; хмелі-сунелі, коріандр за смаком
Технологічний процес	1. Подрібнити перець, часник та горіхи. 2. Додати спеції. 3. Додати чорнобривці. 4. Перемішати. 5. Настояти 12 год.
Органолептика	Колір яскравий; аромат пряний; смак гострий

Додаток Л

Літній напій «Сонцеквіт»



Додаток М

Салат «Tagetes Salad: Подільська інтерпретація»



Додаток Н

Органолептичне тестування двох видів страв із використанням пелюсток чорнобривців (*Tagetes spp.*)



БЛАНК № ____

Органолептична оцінка страви _____

Дата проведення: ____ / ____ / 20__

Оцінювання за п'ятибальною шкалою (1 – дуже слабо/неприємно, 5 – дуже яскраво/приємно).

Зразок А _____ без Tagetes (контроль)

Показник	Оцінка (1–5)
Аромат	
Смак	
Колір	
Відчуття (легкість, м'якість, освіжаючість)	
Загальна приємність	

Зразок В _____ із додаванням Tagetes

Показник	Оцінка (1–5)
Аромат	
Смак	
Колір	
Відчуття (легкість, м'якість, освіжаючість)	
Загальна приємність	

Загальний коментар дегустатора:

Результати органолептичної оцінки

Квас (середні бали дегустаторів)

Показник	Контрольний квас	Квас із Tagetes
Аромат	2,8	3,9
Смак	3,0	3,7
Колір	3,1	4,3
Текстура / відчуття	3,4	3,5
Загальна приємність	3,0	3,9

Коментарі дегустаторів

- Аромат чорнобривців у квасі сприймався як «теплій», «квітково-цитрусовий».
- Колір експериментального зразка став більш насиченим, «золотистим».
- Смак – м'який, з легкою пряною ноткою, без надмірної гіркоти.
- Консистенція й газованість у двох варіантах практично не відрізнялися.

Мариновані томати (середні бали дегустаторів)

Показник	Контрольний квас	Квас із Tagetes
Аромат	3,0	4,1
Смак	3,2	3,8
Колір	3,3	4,0
Текстура / відчуття	3,6	3,5
Загальна приємність	3,3	4,0

Коментарі дегустаторів

- Аромат у варіанті з Tagetes відчувався пряним і більш «домашнім».
- Смак – з легкою гіркувато-пряною нотою, але без надмірності.
- Колір розсолу й томатів став теплішим, із золотистим відтінком.
- Текстура не зазнала істотних змін, хоча один з учасників помітив «трохи м'якшу шкірку».

2.6. Шанюк Тимур, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Вплив роботи сміттепереробного заводу на екологічний стан міста»

Здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира Шанюк Тимур Євгенійович за науково-дослідницьку роботу «Вплив роботи сміттепереробного заводу на екологічний стан міста» отримав диплом учасника Конкурсу.

Відділення: хімія та біологія

Секція: органічна хімія та біохімія

Педагогічний керівник: Кузьмук Тетяна Володимирівна, викладачка хімії та біології Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ПЕРЕРОБКИ СМІТТЯ, ЗОКРЕМА В УКРАЇНІ	6
1.1. Проблеми зі сміттям у світі	6
1.2. Особливості утилізації сміття в Україні	10
Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2 ДІЯЛЬНІСТЬ ЖИТОМИРСЬКОГО СМІТТЕПЕРЕРОБНОГО ЗАВОДУ	15
2.1. Житомирський сміттепереробний завод – нове сучасне виробництво	15
2.2. Перспективи діяльності Житомирського сміттепереробного заводу	17
Висновки до розділу 2	18
РОЗДІЛ 3 ДЕЯКІ ХІМІЧНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНОГО СМІТТЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ	20

Висновки до розділу 3	23
ВИСНОВКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	27
ДОДАТКИ	30

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЖСЗ – Житомирський сміттепереробний завод
 ОС – органічне сміття
 ПЕТ – поліетилентерефталат
 ПС – побутове сміття

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. На планеті Земля більше 8 млрд населення, яке продукує мільярди тон відходів. Сміття належить до механічного виду забруднення [14, с. 180] і його кількість на планеті збільшується. У зв'язку з цим постає гостра потреба в утилізації сміття. Лівову частку побутового сміття складають органічні відходи у вигляді залишків продуктів, пластмаси, вироби з хімічних волокон та гуми. Велику роль в утилізації сміття виконують сміттепереробні заводи. Потужності сучасних заводів цього напрямку дають можливість переробляти до 20 тонн сміття на годину, очищаючи міста та прилеглі населені пункти. Відходи різного виду також виконують роль цінного ресурсу для одержання важливої продукції та слугують додатковим джерелом енергії.

Військові дії в Україні сприяють збільшенню кількості будівельного сміття, металобрухту та забруднюють повітря, водні ресурси, ґрунти нашої країни. Після завершення війни буде велика утилізація на територіях, де проводилися воєнні дії, та там, де були руйнування. У своїй діяльності людство має прагнути прийти до нульового рівня: скільки продукує сміття – стільки ж і утилізує.

Статистичні порівняння в Україні та в світі свідчать про те, що проблемі переробки сміття слід приділити більше уваги. Сміття погіршує екологічну ситуацію, забруднюючи навколишнє середовище. Відходи спричиняють загибель живих організмів в

річках, морях, океанах. Безвідповідальне ставлення людства до цієї проблеми може призвести до екологічної катастрофи на Планеті.

Тема дослідження: Вплив роботи сміттепереробного заводу на екологічний стан міста.

Об'єкт дослідження: переробка сміття на Житомирському сміттепереробному заводі.

Предмет дослідження: переробка сміття органічного походження.

Мета дослідження: з'ясувати, дослідити та спрогнозувати особливості переробки сміття в цілому і на конкретному прикладі – роботі Житомирського сміттепереробного заводу. Популяризувати освітню потребу щодо сортування сміття у побуті.

Завдання дослідження:

- дослідити ситуацію з утилізацією сміття, зокрема в Україні;
- проаналізувати ситуацію з переробкою сміття в місті Житомирі на прикладі роботи Житомирського сміттепереробного заводу;
- спрогнозувати перспективи роботи ЖСЗ та впровадження нових методів утилізації сміття.

Для розв'язання поставлених завдань застосовувалися наступні **методи дослідження:** аналіз, систематизація, метод порівняння, візуалізації даних, прогнозування.

Наукова новизна полягає в тому, що дослідження даного питання в місті Житомирі проводилося вперше. Інформація зустрічалась епізодично, в загальному, на місцевому чи обласному рівнях.

Практичне значення результатів даного дослідження можуть бути використані викладачами на уроках хімії, біології, географії, гуртковій роботі, у виховних заходах. Також, це нагода мотивувати органи місцевої влади сприяти оновленому та сучасному облаштуванню місць збирання сміття та мотивувати населення до сортування сміття в побуті.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Список використаних джерел має 21 найменування.

РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ПЕРЕРОБКИ СМІТТЯ, ЗОКРЕМА В УКРАЇНІ

1.1. Проблеми зі сміттям у світі

Щорічно у світі генерується близько 2 мільярдів тонн твердих побутових відходів, і ця цифра постійно зростає. За прогнозами, до 2050 року ця кількість може досягти 3,77 мільярда тонн. Основні компоненти сміття – це харчові відходи (близько 30 %), пакувальні матеріали (25 %) та макулатура (25 %).

Країни-лідери за кількістю сміття на людину:

- Канада – близько 36 тонн на людину;
- Болгарія – 26,7 тонни на людину;
- США – 26 тонн на людину;
- Естонія – (23,5) тонни на людину[18].

У багатьох країнах рівень переробки сміття залишається низьким. Наприклад, у 2017 році в Україні перероблялося лише 3,2 % сміття. На противагу цьому, Швеція майже повністю переробляє своє сміття, перетворюючи понад 50 % на електроенергію.

У 2016 році міста світу «виробили» 2,01 млрд. тонн твердого сміття. Тобто щодня кожна людина на планеті залишала про себе пам'ять у вигляді 0,74 кг сміття. До 2050 року кількість сміття зросте на 70 % і становитиме 3,4 млрд тонн. Про що свідчать дані дослідження, проведеного Світовим банком [19].

За даними авторів дослідження, в менш розвинених країнах, особливо в бідних міських районах таких країн, люди відчувають найбільш серйозний негативний вплив від сміття, яке там не збирається і не прибирається належним чином. Безконтрольно і небезпечним для навколишнього середовища і людей способом в таких країнах знищується більше 90 % всього твердого сміття. При цьому скупчення сміття тут часто служить розсадником захворювань, є додатковим фактором зміни клімату і, нарешті, заохочує міську злочинність [13].

Швеція є одним зі світових лідерів, що використовують технологію «енергія-зі-сміття» (waste-to-energy). Близько 2,5 мільйонів тон сміття щороку спалюється для вироблення електрики або тепла. У країні – десятки сміттепереробних заводів

та «смітєвих» електростанцій. Вони забезпечують енергією близько мільйона сімей – чимало як для 10-мільйонної країни. Таке місто як Мальме 60 % своєї енергії бере з відходів. 99 % сміття в країні використовується або як паливо для електростанцій, або як сировина для виробництва.

У Відні, столиці Австрії, сміттєспалювальний завод став теплоелектростанцією.

Британія є одним із світових лідерів в іншій технології: перетворенні харчових відходів на енергію. Для цього застосовується так зване «анаеробне розщеплення» (використання бактерій для переробки харчових відходів і отримання біогазу та біодобрива). На спеціальному заводі перекривається доступ кисню, в результаті чого розмножуються бактерії, що розщепляють залишки їжі. За оцінками британського уряду, в середньому подібний завод може виробляти енергії розміром у 200 кВт-год. з однієї тонни сміття.

Сінгапур є одним із прикладів країн, які перетворили свої проблеми на свої переваги. Маленька країна з браком землі просто не могла собі дозволити великих сміттєзвалищ. Тому вона стала будувати енергоблоки на смітті. Сьогодні вони спалюють понад 8 тисяч тон сміття на день, що дозволяє зменшити його обсяги на 90 %. Те, що не спалюється (наприклад, метали) – продається. Завдяки «смітєенергії» Сінгапур виробляє 2500 МВт-годин електрики на день [4].

У Німеччині, наприклад, є навіть спеціальна система штрафів і заохочень. Якщо людина добре сортує своє сміття, то його квартплата набагато менша. У Японії перероблені відходи служать матеріалом для будівництва нових земель. Мало хто знає, але 5 % Токіо розташовується на місці, де зовсім недавно було море [9].

У Франції є лише два баки: перший – для вторинної сировини, що переробляється (пляшки, банки, спеціальні упаковки, папір), другий – для непереробної.

У Китаї сміття переробляють у два основних, але часто екологічно шкідливих способи: шляхом ручного сортування та переробки електронних відходів і шляхом спалювання з виробництвом електроенергії. У великих містах існують державні служби та приватні компанії, які займаються збором та сортуванням відходів, але на неформальному рівні, особливо на

електронних звалищах, процес є небезпечним для робітників (розбирають електроніку (комп'ютери, монітори, телефони) руками, часто без належного захисту) та навколишнього середовища. Вилучення металів відбувається двома шляхами : а) випалювання (компоненти спалюють на великих вогнищах, щоб виділити мідь, свинець та інші метали); б) обробка кислотою (зливи кислотних ванн для очищення мікросхем потрапляють у річки) – все це призводить до сильного забруднення води, ґрунтів і повітря важкими металами, токсичними хімікатами та діоксином. Це шкодить здоров'ю людей, особливо дітей [7].

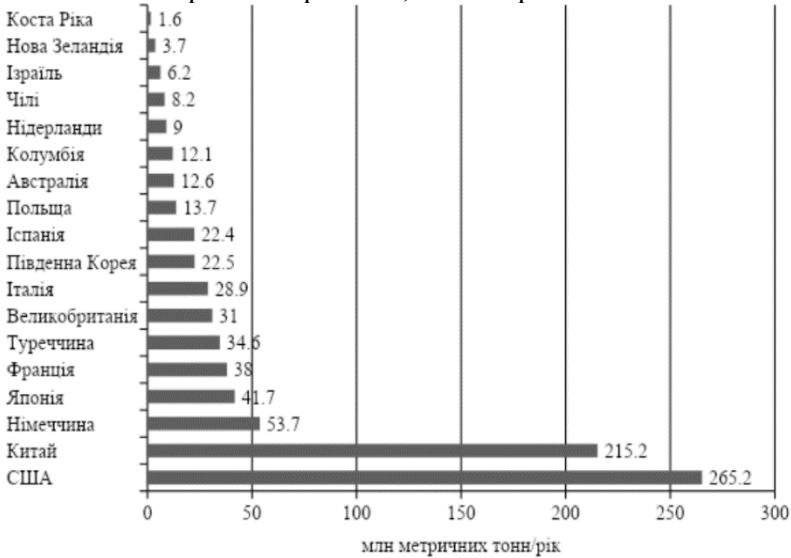
У Китаї проводиться активне розширення мережі підприємств, які відповідають за спалювання сміття. На сьогодні налічується понад 1000 заводів, що складає половину всього світового парку подібних об'єктів. Цим було досягнуто скорочення обсягів відходів на звалищах та дало змогу виробляти електроенергію. Незважаючи на будівництво заводів, багато з них тепер простоюють через брак сировини, оскільки Китай припинив імпорт відходів з-за кордону.

Галузь переробки сміття в Китаї дуже велика і є однією з найбільших за чисельністю працівників, але більшість відходів (близько 90 %) потрапляє на звалища або спалюється, оскільки інші технології ще не отримали широкого поширення [2].

Виробництво твердих побутових відходів може сягнути 2,6 млрд т на рік до 2025 року внаслідок збільшення населення, урбанізації, індустріалізації та економічного розвитку. Розглянемо більш детально статистику утворення побутових відходів у всьому світі в розрізі провідних країн світу (Рис. 1.1.) [20]. Яскравим прикладом забруднення ОС є Плавучий острів сміття в Тихому океані, відомий як Велика тихоокеанська сміттева пляма, є величезним скупченням пластику та інших відходів, що утворилося внаслідок дії океанських течій. Ця пляма, що розташована між Каліфорнією та Гавайями, складається переважно з пластику, який розкладається сотні років, і загрожує морським екосистемам та життю. Велика тихоокеанська сміттева пляма утворилася через накопичення антропогенного сміття, що переноситься океанськими течіями з наземних джерел, рибальських суден та прибережного стоку. Пластик, що складає основу сміттевої плями, розпадається надзвичайно повільно, накопичуючись у величезних кількостях.

Рис. 1.1.

Утворення побутових відходів у всьому світі за
вибраними країнами, млн метричних тонн



Незважаючи на назву «острів», це не суцільний шматок сміття, а величезна територія, де сконцентровані як великі фрагменти, так і мільярди найдрібніших пластикових частинок. Площа Великої тихоокеанської сміттевої плями постійно зростає і може перевищувати територію таких країн, як Франція. Сміттева пляма оцінюється різними дослідниками площею від 700 тис. до 15 млн. км². Найменша оцінка перевершує площу України майже в 1,2 рази (Додаток А).

Вчені оцінюють, що загальна маса сміття становить десятки тисяч тонн, значна частина з яких – це пластикові вироби, зокрема старі рибальські сіті.

Загроза для екосистеми. Пластикові частинки потрапляють в організм морських тварин, що призводить до їхньої хвороби та загибелі. Сміттеві острови можуть служити «плотами», переносячи морських мешканців у нові місця та порушуючи існуючі екосистеми. Існує загроза для морських птахів, риб, черепах та інших організмів, які можуть заплутатися у дрейфуючих сітках або харчуватися пластиком [8].

1.2. Особливості утилізації сміття в Україні

Проблему утилізації відходів слід розглядати, як одну з головних проблем України. За статистичними даними [3], звалища відходів та полігони (це природоохоронні спорудження, призначені для складування твердих побутових відходів й які забезпечують захист від забруднення атмосфери, ґрунтів, підземних і поверхневих вод, що перешкоджають поширенню патогенних мікроорганізмів за межі площадки складування й які забезпечують знезаражування твердих промислових відходів біологічним способом) складають 5–7 % від всієї території України, проте, замість цього українці могли б їх переробляти та отримувати нову продукцію як роблять інші країни.

За статистичними даними [15], на початок II півріччя 2016 року, на Україні налічується 6,5 тис. полігонів та 35 тис. сміттєзвалищ, разом вони складають 42 тисячі квадратних метрів, для порівняння, площа Данії становить 43 тисяч квадратних метрів. З кожним роком цей показник стає все гіршим. Більшість складів для сміття не відповідають вимогам щодо забезпечення екологічної безпеки. Тому дуже небезпечним є зберігання хімічних, специфічних відходів, що утворюються у процесі медичного обслуговування, ветеринарної практики та пов'язаних з ними дослідних робіт. Такі склади не будуть захищати навколишнє середовище від впливу шкідливих речовин.

Упродовж багатьох років кількість твердих побутових відходів невинно зростала: як через ріст населення, так і через зміни способу життя людей, які використовують все більше обгорткових і пакувальних матеріалів.

Дослідження свідчать, що склад міських твердих побутових відходів приблизно такий: папір, картон – 20-40 %; харчові відходи – 21-45 %; скло – 3-12 %; залізо і його сплави – 10 %; пластмаси – 1,5-5 %; деревина – 1,5-5 %; гума і шкіра – 1-4 %; текстиль – 4-7 %; алюміній – 1 %; інші матеріали – 1-3 %.

На думку науковців, відходи слід розглядати як будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворилися у процесі виробництва чи споживання, а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості і не мають подальшого використання за місцем їх утворення чи

виявлення і від яких їх власник позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації чи видалення [11].

Відходи поділяють на:

- побутові (комунальні) – тверді та рідкі відходи, які утворюються в результаті життєдіяльності людей та амортизації предметів побуту;

- промислові – залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, які утворилися при виробництві продукції або втратили повністю чи частково початкові споживчі властивості;

- сільськогосподарські – відходи, які утворилися внаслідок сільськогосподарського виробництва;

- будівельні – відходи, які утворюються в процесі зведення будівель, споруд (у тому числі доріг та інших комунікацій) та виробництва будівельних матеріалів;

- споживчі – вироби та машини, які втратили свої споживачькі властивості внаслідок фізичного або морального зношення;

- радіоактивні – невикористані прямі та опосередковані радіоактивні речовини та матеріали, які утворюються при роботі ядерних реакторів, при виробництві і застосуванні радіоактивних ізотопів.

Швейцарія є чудовим прикладом для України. Певна частина її території перебувала під звалищами, але вони впоралися з цією проблемою, запровадивши державну систему екологічного оподаткування. Окрім того діє система маркування сміття та штраф за несортване сміття. За невеликий період вони досягли значних успіхів. Зараз вони переробляють та спалюють все своє сміття.

За даними Міністерства охорони довкілля, в Україні щорічно утворюється пів мільярда тонн відходів, понад 90 % з них відправляють на звалища. При цьому сміттепереробні заводи існують наразі лише на стадії проєктів. «Слово і діло» пропонує подивитися, скільки в Україні утворюється відходів, скільки утилізують, а скільки зберігається на звалищах (Додаток Б).

У 2010 році в Україні утворилося 422,5 млн тонн відходів, 144,9 млн тонн утилізували, а 311,6 млн тонн відправили на зберігання в спеціально відведені місця. Таким чином, загальний обсяг накопичених відходів склав 13 млрд 220 млн тонн. У 2011 році утворилося 443,8 млн тонн відходів, утилізували – 153,4 млн

тонн, 251,4 млн тонн – відправили на зберігання. Загалом на той рік на звалищах і полігонах зберігалось 14 млрд 372,1 млн тонн відходів. У 2012 році обсяг накопичених відходів виріс до 14 млрд 856,6 млн тонн, в 2013-му – до 15 млрд 111,6 млн тонн. За 2014 рік утворилося 355 млн тонн відходів, утилізували – 109,3 млн тонн, відправили на зберігання – 203,7 млн тонн. Загальний обсяг накопичених відходів скоротився до 12 млрд 205,5 млн тонн. У 2015 році утворилося 312,3 млн тонн відходів, 152,3 млн тонн відправили на зберігання, а 92,5 млн тонн – утилізували. Всього в спеціально відведених місцях зберігалось 12 млрд 505,9 млн тонн відходів, в 2016-му обсяг зменшився до 12 млрд 393,9 млн тонн. Рекордно мало відходів за розглянутий нами період утворилося в 2016 році – 295,9 млн тонн: 84,6 млн тонн – утилізували, 157,4 млн тонн – відправили на зберігання. У 2019-2020 роках кількість відходів в Україні знову зросла. За 2019-й утворилося 441,5 млн тонн відходів, 108 млн тонн утилізували і 239 млн тонн відправили на зберігання. Загальний обсяг накопичених відходів склав 15 млрд 398,6 млн тонн, в 2020-му – 15 млрд 635,3 млн тонн. За минулий рік утворилося 462,4 млн тонн відходів: утилізували – 100,5 млн тонн, відправили на зберігання – 276 млн тонн.

Також зовсім невеликий обсяг відходів в Україні спалюють – в середньому 1-1,1 млн тонн за рік [1]. В Україні працює біля 100 сміттєпереробних заводів.

Висновки до розділу 1

На основі розгорнутої інформації та статистичних даних, можна зробити висновок про те, що у світі та в Україні зростає кількість сміття, в тому числі органічного походження.

У більш розвинених країнах застосовуються організаційні заходи щодо утилізації ПС: облаштовані місця для збору, сортування ПС в домогосподарствах з подальшим відправленням на сміттєпереробні підприємства. Найкраще це організовано у Швеції, Німеччині, Швейцарії, Австрії. У цих країнах утилізація досягає більше 90 %. У маленьких країнах, найчастіше, сміття спалюють для одержання енергії. У країнах з великою кількістю населення (Китай, Індія) та у малорозвинених – великі проблеми з переробкою сміття.

Яскравим прикладом забруднення ОС є Плавучий острів сміття в Тихому океані, відомий як Велика тихоокеанська смітцева пляма, є величезним скупченням пластику та інших відходів, що утворилося внаслідок дії океанських течій. Щоб поліпшити екологічну ситуацію в Тихому океані, можливо, знайдеться інвестор, який вкладе кошти і побудує плавучий сміттепереробний завод, ліквідувавши цю екологічну проблему.

Отже, ситуація зі сміттям в Україні є мало контрольованою. Існує багато незаконних сміттєзвалищ, які кожного дня погіршують екологічну ситуацію в Україні. Для переробки відходів потрібне спеціальне обладнання, яке можуть виробляти вітчизняні підприємства. Це дозволить розширити спеціалізацію вітчизняних підприємств, що збільшить їхній прибуток. Усе пов'язано між собою та потребує спільних зусиль в зазначеному напрямі. Правильна утилізація сміття може стати складовою економічного розвитку країни. Майже в усіх областях України, до початку війни, планувалося побудувати сміттепереробні заводи. Однак, лише у 2023 році в місті Житомирі побудували ЖСЗ, який і є об'єктом дослідження в нашій роботі.

РОЗДІЛ 2

ДІЯЛЬНІСТЬ ЖИТОМИРСЬКОГО СМІТТЕПЕРЕРОБНОГО ЗАВОДУ

2.1. Житомирський сміттепереробний завод – нове сучасне виробництво

Житомирський сміттепереробний завод – це сучасне підприємство, яке розпочало роботу у 2023 році і призначене для сортування та переробки твердих побутових відходів. Завод має потужність 85 000 тонн на рік, планує поглибити переробку до 85 % після запуску другої лінії, а також займається виробництвом RDF-палива, технічного ґрунту та компосту.

ЖСЗ – підприємство ТОВ «МС Соціальний проєкт» – має намір до кінця 2025 року збільшити потужності до 200 тонн відходів на добу та поглибити рівень переробки до 65 %. Про це повідомив керівник підприємства Євгеній Барах під час зустрічі з

журналістами та депутатами міської ради, яка відбулася 5 серпня 2025 року [10].

Зараз завод щодоби приймає до 180 тонн твердих побутових відходів, а середній рівень переробки з урахуванням технічного ґрунту становить близько 45%. ЖСЗ працює на хорватському обладнанні. Сміття зважують, подають у сміттєву яму (Додаток В), а далі по конвеєру на обладнання яке руйнує пакети зі сміттям (Додаток Г). Після цього сміття подається на сортування. Люди вручну відсортовують ПЕТ-пляшки по кольорам, пластмасу після олії, пластмасу після технічних речовин, ганчірки, плівки різного кольору, папір, скло, метал (Додаток Д). Після сортування сміття подається на сито де відбирають органічно-продуктові відходи, які направляють на виготовлення технічного ґрунту та компосту (Додаток Е). З особливостями переробки ґрунту працює технолог, який вводить штами мікроорганізмів для мінералізації. Технічний ґрунт використовують для рекультивації полігонів або озеленення міських територій.

Відсортовані пластмаси різного виду пресують (Додаток Ж) і відправляють на заводи для переробки. Наприклад, з деяких ПЕТ-плашок виготовляють синтепон, який є чудовим утеплювачем одягу, меблів.

Подальший процес переробки включає в себе подрібнення матеріалу на дрібні фрагменти, миття та сушіння. Ці фрагменти, як і раніше містять залишки оригінального контенту, подрібнені паперові етикетки і пластикові ковпачки. Їх видаляється за допомогою різних технологічних процесів до початку дробління та під час процесів мийки та сушки, в результаті чого отримують чисті фрагменти ПЕТ (або «ПЕТ пластівці»). ПЕТ-пластівці використовуються як сировину для цілого ряду продуктів, які інакше були б зроблені з поліестеру. Прикладами таких матеріалів можуть бути поліефірні волокна (основна сировина для виробництва одягу, подушок, килимів і т. д.), поліефірні листи, обв'язки (бандажна стрічка), або назад в ПЕТ-пляшки і ін.

Також, в двох дослідженнях 2023 року, опублікованих в Science, описується економічно-ефективна методика переробки пластикових відходів (поліетилен та поліпропілен) в жирні кислоти, які згодом перетворюють промислові сурфактанти [21];

та поліетиленових відходів в широкий спектр цінних хімічних речовин [16].

У всьому світі приблизно 5,8 млн тонн ПЕТ були зібрані в 2009 році. Це дало 4,7 млн тонн пластику. 3,4 млн тонн були використані для виробництва волокна, 0,5 млн тонн для виробництва пляшок, 0,5 млн тонн для виробництва APET листів для термоформування, 0,2 млн тонн для виробництва обв'язочної стрічки і 0,1 млн тонн для різних додатків [12].

Petcore, Європейська торговельна асоціація, яка сприяє збору та переробці ПЕТ, повідомила, що тільки в Європі, 1,45 млн тонн ПЕТ-пляшок було зібрано в 2010 році – понад 48,3% усіх пляшок. ПЕТ пропускає видиме світло, тоді як скло є непроникним для ультрафіолетового випромінювання.

Частина відходів, які переробляє ЖСЗ, подрібнюється у шредерах і перетворюється на SRF-паливо, яке закупають на різні заводи, замінюючи природний газ, вугілля. На такому паливі працюють, наприклад, цементні заводи у Кам'янці-Подільському та Івано-Франківську (Додаток И).

Таким чином, за одну годину завод переробляє до 16 тонн ПС, за добу – до 200 тонн та до 85 000 тонн твердих побутових відходів за рік. На заводі введено в експлуатацію дві лінії для сортування та компостування, а процеси виробництва поділяється на: сортування відходів, компостування органічних відходів, виробництво SRF-палива, виготовлення технічного ґранту.

2.2. Перспективи діяльності Житомирського сміттєпереробного заводу

У планах модернізація обладнання, зменшення кількості простоїв і запровадження роздільного збору органіки у місті. Для підвищення ефективності підприємство разом із Житомирською міською радою розглядає можливість запровадження пілотного проекту роздільного збору органіки. Це передбачає встановлення окремих контейнерів та оновлення логістичних маршрутів. Завдяки роботі ЖСЗ зменшується обсяг сміття, що потрапляє на міський полігон твердих побутових відходів, що позитивно впливає на екологічний стан міста. Пілотний проект для житомирян передбачає новий підхід до сортування побутових

відходів. Це може знизити вартість послуг з утилізації сміття для мешканців міста.

«Сьогодні обговорювали можливість запровадження пілотних експериментів у місті, для того, щоб забезпечити відділення органіки від усього іншого: органіка в одному контейнері, інше сміття в іншому. Це потребуватиме окремих логістичних маршрутів, в деяких випадках додаткової техніки, а саме контейнерних баків, можливо, сміттевозів. Спершу потрібно почати з підготовки нормативно-правових змін до наявної бази. Після цього будемо спільно з міською радою обирати території, де запровадити цей пілотний проєкт. Якщо все піде оптимально, то з 1 січня 2026 року плануємо запровадити цей проєкт, маючи всю нормативно-правову базу. Це може вплинути на платіжки в сторону зменшення вартості: той, хто сортує, отримає меншу платіжку, а хто не сортує – отримає більшу», – розповідає керуючий партнер ТОВ «МС Соціальний проєкт» Євгеній Барак [5].

У перспективі роботи ЖСЗ планується одержання біогазу метану з ОС. З часом, розвиток потужностей для переробки великогабаритного сміття: меблів, будівельного сміття.

Поява заводу в місті Житомирі забезпечила роботою трьох перевізників, які постачають ПС на підприємство, відкрила багато вакансій для працівників. Працівники ЖСЗ звернулися з проханням до населення з освітньою потребою щодо сортування сміття в побуті. Так як планується організація відділення органічно-продуктових відходів від інших видів ПС.

У межах пілотного екопроєкту «Утилізація побутових відходів у закладах освіти» на території п'яти ліцеїв Житомира встановили контейнери для роздільного збору відходів. Такі ж контейнери встановили на території дитячих садків №34, 44, 55 та 66 (Додаток К).

Висновки до розділу 2

Житомирський сміттепереробний завод – єдине підприємство такого рівня, яке відкрилося в Україні під час війни на кошти приватного інвестора.

ЖСЗ повністю очищає від сміття місто Житомир та прилеглі населені пункти. На сьогодні сировини достатньо для

роботи підприємства. ЖСЗ переробляє до 16 тонн сміття на годину, до 200 тонн на добу, до 85 тисяч тонн на рік. Цей завод є прикладом для інших областей, інвесторів, бо варто організувати і будувати такі виробництва по всій Україні. Такі заводи зменшують кількість офіційних та стихійних сміттєзвалищ, покращують екологічний стан міст і прилеглих населених пунктів, створюють цінні ресурси для використання на інших підприємствах. А в перспективі і створення потужностей для переробки будь-якого сміття.

Під час проведення дослідження роботи ЖСЗ було проведено консультації зі спеціалістами, які освітили подробиці процесів виробництва та перспективи діяльності заводу. З них можна виділити головного інженера та керуючого виробництвом.

РОЗДІЛ 3

ДЕЯКІ ХІМІЧНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНОГО СМІТТЯ ЯК ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Утилізовану пластмасу можна повторно використовувати для виробництва пакувальних матеріалів, пляшок тощо. У більшості випадків хімічна обробка виконується на пластмаси, такі як поліпропілен, поліетилен, полівінілхлорид або полістирол. Сировина, отримана шляхом хімічної переробки, є корисною. Таким чином, це не звичайний даунсайклінг, коли матеріали втрачають деякі або всі свої ключові властивості. Хімічна переробка полімерів – це технологія, яка відповідає концепції циклічної економіки. Основні цілі цієї стратегії включають:

- зменшити кількість відходів,
- максимально використовувати потенціал вторинної сировини та підтримувати її в обігу,
- для вивчення нових застосувань перероблених кінцевих продуктів і напівфабрикатів.

Хімічна переробка відходів полімерної пластмаси базується здебільшого на процесах деполімеризації. Вони дозволяють розщеплювати полімери на мономері: невеликі молекули, які можна далі обробляти та повторно використовувати [17].

Термічна деструкція, у свою чергу, передбачає вплив високих температур на відходи для руйнування їх хімічних зв'язків. Цей метод є ключовим етапом у процесі деполімеризації, оскільки дозволяє знизити складність матеріалів до рівня, придатного для подальшої переробки.

Риформінг – це процес перетворення вуглецевмісних відходів у газоподібні або рідкі продукти, які можуть бути використані як паливо чи сировина для хімічної промисловості. Завдяки термічній деструкції відходів можна отримати синтез-газ, легкі вуглеводні або нафтові фракції, які придатні для подальшого використання.

Переваги термічної деструкції у рециклінгу:

1. Ефективне зменшення обсягу відходів. Процес дозволяє суттєво скоротити кількість полімерних відходів, які накопичуються на звалищах.

2. Відновлення ресурсів. Термічна деструкція дозволяє отримати вторинну сировину, яка може бути використана у виробництві нових матеріалів.

3. Зменшення викидів. Переробка полімерів таким методом знижує потребу у спалюванні відходів, що супроводжується значними викидами CO₂.

Технології термічної деструкції використовуються для переробки пластику, гуми, текстилю та інших полімерів. Наприклад, деполімеризація поліетилентерефталату дозволяє отримувати мономери, придатні для виготовлення нових пляшок або текстильних волокон. Риформінг гумових відходів, таких як шини, дозволяє виробляти нафтові аналоги, які можуть бути використані в енергетиці.

Попри значний потенціал, методи термічної деструкції мають свої виклики: висока енергоємність процесів, необхідність складного обладнання та контроль за викидами. Проте розвиток технологій, таких як каталізатори та інтеграція відновлюваних джерел енергії, відкриває перспективи для широкого впровадження цих методів у промисловість [6].

Хімічна переробка пластику – це процес розщеплення полімерів на простіші молекули (мономери), які потім можна повторно використовувати як сировину. Основні методи включають гідроліз (розкладання водою за високих тиску та температури), гліколіз (розкладання етиленгліколем), алкохоліз

(наприклад, метаноліз) та аміноліз (реакція з аміном). Також існують термічні методи, як-от піроліз, що розкладають пластик за високих температур без доступу кисню.

Основні методи хімічної переробки сміття:

Гідроліз – це метод розкладання полімерів під дією води за високої температури та тиску, утворюючи дрібні молекули, які є напівфабрикатами для промисловості. Гідроліз є ключовим процесом для розщеплення синтетичних полімерів, зокрема пластиків, на їхні вихідні компоненти, що дозволяє їх переробляти та створювати нові матеріали, які мають широке застосування у різних галузях: від будівництва до автомобілебудування та пакування напоїв. Гідроліз застосовується для переробки різних видів пластику, включаючи поліетилен, який використовується для виготовлення пакетів, пляшок, труб, меблів, нових полімерних матеріалів з покращеними властивостями та різного пакувального матеріалу (Рис. 3.1.).

Рис. 3.1.

Схема гідролізу капрону



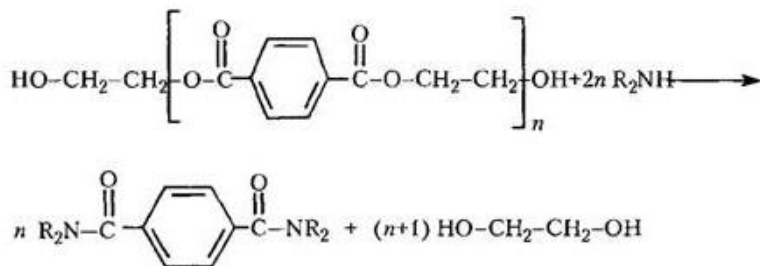
Гліколіз – процес, який використовується для переробки ПЕТ-пластику. Полімери реагують з етиленгліколем за високої температури, розкладаючись на полімерні ланцюги. Цей процес не потребує попереднього сортування та чищення сировини, але отримані продукти не можна використовувати для пакування харчових продуктів.

Алкохоліз (метаноліз) – метод обробки полімерів метанолом, що призводить до їхнього розпаду на нову сировину. Це один з методів рециркуляції пластикових відходів, який відбувається у спеціальних реакторах при високих температурах та тиску. Потребує очищеної та відсортованої сировини. Відбувається розщеплення полімеру на мономерні ланки, які можуть бути використані для створення нових полімерів. Це один з найпоширеніших способів рециклінгу пластику. Дозволяє отримувати нові матеріали з оригінальними властивостями.

Аміноліз – процес реакції пластику з амінами (похідними амоніаку), що призводить до його розпаду та можливості повторного використання в промислових процесах(Рис.3.2.).

Рис. 3.2.

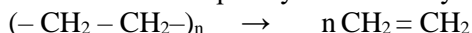
Аміноліз ПЕТ



Піроліз – це термічний процес, який відбувається при високих температурах без доступу кисню. Пластик розкладається на газоподібні продукти, які використовують як паливо або сировину(Рис.3.3.).

Рис. 3.3.

Схема піролізу поліетилену



Висновки до розділу 3

Хімічні методи переробки органічної сировини в складі сміття були розроблені для вирішення постійно зростаючої проблеми накопичення пластику на звалищах, так як заходи щодо переробки сміття все ще недостатньо ефективні, а кількість пластикових відходів стрімко зростає. Кожен новий метод відновлення сировини сприяє покращенню природного середовища та допомагає зменшити вуглецевий слід, який залишає людина.

Хімічна переробки сировини є альтернативою іншим формам переробки, таким як переробка матеріалів що біологічно розкладаються.

Деполімеризація і риформінг методом термічної деструкції – це не лише ефективний спосіб вирішення проблеми відходів, а й важливий крок у напрямку сталого розвитку.

Використання цих технологій дозволяє зменшити навантаження на довкілля, відновити цінні ресурси та створити нові можливості для промисловості. Тому впровадження таких методів у масовий рециклінг є ключовим завданням для сучасного суспільства. Деполімеризація постачає мономери для повторної полімеризації та поліконденсації на виробництвах. Таким чином запроваджується колообіг ресурсів, що дає можливість не тільки економити природні корисні копалини, а й зменшує затрати виробництва, здешевлює продукцію.

Хімічні методи переробки ОС є дуже перспективними, але для їх використання повинні бути відповідні умови, які забезпечують протікання хімічних процесів. Для цього можуть бути створені окремі підприємства, але цей варіант – дороговартісний. Можливе створення додаткових потужностей на існуючих підприємствах з переробки ОС та на заводах, де виробляють саму продукцію органічної хімії, яка йде на повторну переробку.

ВИСНОВКИ

Відповідно завдань дослідження розглянули проблему з утилізацією сміття, зокрема в Україні. З чого було зроблено висновок, що переробка (утилізація) сміття на сучасному рівні відіграє велику роль в очищенні населених пунктів, поліпшенні екологічного стану, попередженні епідемій та знищенні збудників захворювань.

Проаналізувавши ситуацію з переробкою сміття в місті Житомирі на прикладі роботи Житомирського сміттепереробного заводу було виявлено, що сміттепереробні заводи відіграють величезну роль у поліпшенні екологічного стану міст та прилеглих населених пунктів, створюють додаткові ресурси для роботи інших підприємств: органічне паливо, пресовані органічні пластмаси, ґрунт та ін. Будівництво таких заводів допоможе пришвидшити вихід на нульовий рівень щодо ПС: скільки накопичилось – стільки й переробили.

ЖСЗ – єдиний, який відкрили в Україні під час війни. Це підприємство повністю очищує місто Житомир і прилеглі населені пункти.

Спрогнозувавши перспективи роботи ЖСЗ слід зазначити, що і в подальшому завод буде розвиватися та удосконалювати процеси переробки будь-якого сміття, впроваджуючи нові методи утилізації сміття.

Важливу роль в допомозі по переробці ПС відіграє населення. Є освітня потреба навчати людей змалечку сортувати сміття, щоб непростижна тема стала нормою.

Ми пропонуємо випускати різноколірні пакети з надписами: «Продукти», «Папір», «Пластик», «Скло», «Метал» в комплектах пакетів для сміття. В дитячих садочках та школах можна організувати різноколірні корзинки, які відповідають кольорам та надписам на пакетах, і вчити дітей розсортовувати ПС. Освітня потреба відіграє значну роль у поліпшенні якості ПС. Чим чистіше сміття, тим легше його переробка і якіснішою є продукція по результату.

Забруднення планети полімерними відходами перетворюється на справжню екологічну катастрофу. Для усвідомленого споживання виробів з пластику людство негайно повинно зменшити їх споживання, повторно використовувати та переробляти за екологічними нормами відходи з них, тобто скорочення відходів – це перший крок до вирішення проблеми. Суттєво вплинути на ситуацію можна лише на державному рівні через законодавство, що зробить виготовлення й використання пластику не вигідним для компаній і спонукатиме їх переходити на біорозкладні аналоги. Спираючись на досвід європейських країн, Україна має частково або повністю заборонити продукцію, що не переробляється; ввести додатковий збір для виробників, імпортерів і/або продавців, споживачів; зобов'язати виробника збирати, переробляти та утилізувати відходи від своєї продукції, налагодити розвинену інфраструктуру роздільного сортування, заохочувати населення до сортування сміття з використанням фінансових важелів та соціальної реклами у засобах масової інформації. На нашу думку, це сприятиме значному скороченню пластикових відходів в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітичний портал «Слово і Діло». URL : <https://www.slovoidilo.ua/2021/08/28/infografika/suspilstvo/upravlinnya-vidxodamy-skilky-ukrayini-utvoryuyetsya-nakoryuchuyetsya-smittyu> (дата звернення: 02.11.2025).
2. Газета «Financial Times». URL : <https://www.ft.com/> (дата звернення: 02.11.2025).
3. Довга Т. М. Основні тенденції та закономірності утворення і переробки твердих побутових відходів в Україні: Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». URL : <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1491> (дата звернення: 02.11.2025).
4. Єрмоленко В. А. Без сміття: хто у світі навчився жити без відходів. URL : <https://hromadske.ua/posts/pererobka-smittyu-u-sviti> (дата звернення: 02.11.2025).
5. Житомир. info. URL : https://www.zhitomir.info/newscat_2.html (дата звернення: 09.11.2025).
6. Інститут нанотехнологій та органічних продуктів «Авелайф». URL : <https://avelife.pro/> (дата звернення: 16.11.2025).
7. Інформаційне агентство «УНІАН». URL : <https://www.unian.ua/ecology/trash/1096501-u-pivdenniy-koreji-vibuhnulo-shovische-toksichnih-vidhodiv.html> (дата звернення: 02.11.2025).
8. Лобойко Ю. Екологічна проблема Світового океану. URL : <https://www.lvet.edu.ua/index.php/kafedra-vodnykh-bioresursiv-ta-akvakultury/705-plastyk-ekolohichna-problema-svitovoho-okeanu> (дата звернення: 02.11.2025).
9. Переробка пластикових відходів – надприбуткова ідея. URL : <http://homebiznes.in.ua/biznes-na-pererobtsi-plastykovyh-vidhodivnadprybutkova-ideya/> (дата звернення: 02.11.2025).
10. Перший житомирський інформаційний портал. URL : <https://1.zt.ua/news/ekologiya/smittyepererobnyj-zavod-u-zhytomyri.html> (дата звернення: 09.11.2025).
11. Про управління відходами: Закон України від 01.12.2022 р. № 2804-IX (Редакція станом на 31.10.2025). URL :

<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%80>
(дата звернення: 02.11.2025).

12. PCI. URL : www.pcipetpackaging.co.uk (дата звернення: 09.11.2025).

13. Все по полицках. URL : <https://rubryka.com/2018/09/23/strashna-statystyka-do-2050-roku-kilkist-smittyu-u-sviti-zroste-na-70/> (дата звернення: 02.11.2025).

14. Соболев В. І. Біологія і екологія (рівень стандарт) : підруч. для 11 кл. закл. заг. серед. освіти. Кам'янець-Подільський: Абетка, 2019. 256 с.

15. Утворення та утилізація відходів за категоріями матеріалів: Державна служба статистики України. URL : http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2013/ns_rik/ns_u/arch_utvut_u.html (дата звернення: 02.11.2025).

16. Li Houqian, Wu Jiayang, Jiang Zhen, Ma Jiase, Zavala Victor M., Landis Clark R., Mavrikakis Manos, Huber George W. Hydroformylation of pyrolysis oils to aldehydes and alcohols from polyolefin waste. URL : <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adh1853> (дата звернення: 09.11.2025).

17. PCC Group. URL: <https://www.products.pcc.eu/uk/> (дата звернення: 16.11.2025).

18. Statista. URL : <https://www.statista.com/?srsltid=AfmBOorVbC71zsDhDd33YWhOaROfVZkNd6uDeSLW2sEeGPMCmjDK3Hqd> (дата звернення: 02.11.2025).

19. UA.NEWS. URL : <https://ua.news/ua/world/u-najblizhchi-30-rokiv-kilkist-smittyu-u-sviti-zroste-na-70> (дата звернення: 02.11.2025).

20. Village. URL : <https://www.village.com.ua/> (дата звернення: 02.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Сміттєва пляма



Додаток Б

Поводження з відходами в Україні протягом десяти років



Подача сміття у смітцеву яму



Подача сміття на конвеєр



Сортувальна лінія



Утворення технічного ґрунту



Пресовані пластмаси



Контейнери для сортування ПС



2.7. Чернишов Василь, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Перспективи застосування деревного генераторного газу для транспортних засобів у аграрному виробництві»

Здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира Чернишов Василь Анатолійович за науково-дослідницьку роботу на тему: «Перспективи застосування деревного генераторного газу для транспортних засобів у аграрному виробництві» отримав **диплом учасника Конкурсу**.

Відділення: інженерії та матеріалознавства.

Секція: екологічно безпечні технології та ресурсозбереження.

Педагогічні керівники: Окомельчук Андрій Олександрович, викладач з предметів професійно-теоретичної підготовки з професій сільськогосподарського напрямку;

Редько Петро Миколайович, майстер виробничого навчання з професій сільськогосподарського напрямку Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи застосування деревного генераторного газу як палива для двигуна транспортного засобу	7
1.1. Аналіз процесу утворення деревного генераторного газу та його вплив на роботу двигуна	7
1.2. Аналіз розвитку конструкції транспортних засобів з установками для утворення деревного генераторного газу	9

1.3. Обґрунтування доцільності застосування деревного генераторного газу як палива для двигуна транспортного засобу	13
Висновки до розділу 1	15
Розділ 2. Теоретичний метод дослідження показників роботи двигунів на деревному генераторному газі	17
2.1. Дослідження показників роботи двигунів	17
2.2. Визначення параметрів газогенераторної установки трактора	22
Висновки до розділу 2	24
Розділ 3. Метод експериментального дослідження натурного зразка транспортного засобу під час роботи на деревному генераторному газу	25
3.1. Конструкція установки для роботи двигунів на деревному генераторному газу	25
3.2. Методологія експериментальних досліджень установки для роботи двигунів на деревному генераторному газу	26
3.3. Перевірка ефективної потужності двигуна під час роботи на деревному генераторному газу	30
Висновки до розділу 3	32
РОЗДІЛ 4 Рекомендації щодо перспективи застосування деревного газогенераторного газу в агровиробництві	33
4.1. Аналіз отриманих результатів даного дослідження	33
4.2. Рекомендації щодо перспективи застосування деревного газогенераторного газу в агровиробництві	34
Висновки до розділу 4	35
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	37
ДОДАТКИ	41

ВСТУП

Актуальність дослідження. Очевидно, що в умовах воєнного стану та деякий час після його закінчення, країна в

економічному плані обмежена в ресурсах [15, с. 2]. Це стосується також сільського господарства, одна із основних функцій якого – забезпечення стабільної роботи виробників продовольства в умовах воєнного стану [16, с. 2].

За останні 20 років у світі потреба у первинних енергоносіях зросла в 3,6 рази. Потреба в нафті зросла в 5,9 рази, газу – в 7,2 рази, а у вугіллі в – 1,8 рази. Запаси вугілля у світі становлять 83 %, а нафти – 10 % від загального об'єму розвіданих родовищ. Застосування джерел енергії, альтернативних нафті, є актуальною проблемою не тільки для України, а й для всього світу. Один із способів вирішення проблеми альтернативи експлуатації нафтопродуктів – це можливість роботи як бензинових двигунів, так і дизелів на деревному газогенераторному газі, який утворюється в результаті газифікації твердого палива [5, с. 4].

Історія створення і експлуатації газогенераторних автотракторних двигунів заслуговує нового осмислення та відтворення на новому витку технічного розвитку автомобілетракторобудування. Перші дослідні конструкції газогенераторних автомобілів та тракторів з'явилися у 1926-1928 роках. Першими конструкторами транспортного газогенераторобудування були конструктор Декаленков С. І., професор Наумов В. С., а також багато інших [5, с. 4]. Серійний випуск газогенераторних установок для тракторів та автомобілів розпочався в 1936-1938 роках. На газогенератори були переведені всі машини на лісозаготівлях та значна частина тракторного і автомобільного парку сільського господарства. Але в післявоєнний період при значному здешевленні бензину газогенераторні двигуни були зняті з виробництва і експлуатації.

Вищезазначене не зупинило продовження робіт в області газогенератор-них установок багатьма дослідниками після 60-х років. Так, професор В. Г. Костецький, який працював у Київському автомобільно-дорожньому інституті (нині Національний транспортний університет), покращив процес генерації газу та обслуговування генератора. Крім того, професор Костецький В. Г. вважав, що і для дизелів доцільно використовувати газогенераторні установки. Як в далекому, так і в ближньому зарубіжжі інтерес до газогенераторів не вщухав. І зараз проводять дослідження, які дозволяють зробити суттєвий

крок вперед до удосконалення газогенераторних двигунів, надати їм сучасний рівень обслуговування і зменшити в середньому затрати на паливо в два рази, економлячи при цьому нафтопродукти [9, с. 2].

Інший важливий аспект. Створюючи двигуни внутрішнього згоряння, в тому числі газогенераторні двигуни, конструктори мало переймалися проблемами забруднення довкілля. Найбільшими забруднювачами повітря в Україні в даний час є транспортні засоби [9, с. 2]. Наприклад, у Житомирській області протягом останніх років 80 % всіх шкідливих викидів в атмосферу припадало на автомобілі та інший самохідний бензиновий та дизельний транспорт [5, с. 5]. Бензиновий двигун внутрішнього згоряння на 1 км шляху викидає в навколишнє середовище близько 70 г оксиду вуглецю, 25 г оксиду азоту, свинець, оцтовий альдегід, бензол, ацитилен, бенз-х-пірен, бенз-х-атрофен і ще близько 220 шкідливих для живих організмів речовин. Тому перед експлуатацією різних видів транспорту, в тому числі газогенераторного, необхідно проаналізувати кількісні величини тих факторів, що впливають на екологію, зокрема на один із них – енергоємність використання транспорту, наприклад в агротехнологіях [5, с. 5].

Створення газогенераторних двигунів можна віднести до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки відповідно до завдань державних наукових і науково-технічних програм, визначених Міністерством освіти і науки України. Так, в Державній науково-технічній програмі за номером 5.5 «Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування» є напрям – «Розробка технологій конвертації двигунів на альтернативні види палива».

Метою роботи є дослідження процесу утворення деревного газогенераторного газу та використання його у вигляді палива для транспортних засобів сільськогосподарського призначення.

Для досягнення поставленої мети **задачі дослідження** сформульовані наступним чином:

- провести аналіз процесу утворення деревного газогенераторного газу;
- визначити показники роботи двигунів на деревному генераторному газу та параметри газогенераторної установки;

- провести експериментальні дослідження натурального зразка газогенераторного транспортного засобу;
- розробити практичні рекомендації щодо перспективи та поліпшення процесу застосування деревного газогенераторного газу в агровиробництві.

Об’єкт дослідження – двигун транспортного засобу з газогенераторною установкою.

Предмет дослідження – фізичні процеси газоутворення та використання деревного газогенераторного газу в агровиробництві.

Методи дослідження передбачали багатоваріантні розрахунки на персональному комп’ютері показників роботи двигуна на деревному генераторному газу, а також лабораторні експериментальні дослідження натурального зразка.

Наукова новизна отриманих результатів. Виконані експериментальні дослідження встановили величини параметрів роботи двигуна на деревному генераторному газу.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано конструкцію газогенераторної установки для утворення деревного генераторного газу. Одержані результати теоретичних та експериментальних досліджень можна використати при проектуванні подібних установок.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел складає 22 найменування.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВНОГО ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ЯК ПАЛИВА ДЛЯ ДВИГУНА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

1.1. Аналіз процесу утворення деревного генераторного газу та його вплив на роботу двигуна

Відомо, що для того, щоб використати тверде паливо для двигунів внутрішнього згоряння, його необхідно попередньо

перетворити в горючий газ. Якщо це перетворення проводити без доступу повітря, не буде можливості використати всю горючу частину палива, що буде складатися в основному з вуглецю, водню, кисню, деякої кількості азоту та сірки, без попелу та вологи.

Основи досліджень утворення деревного генераторного газу в якості палива для двигунів транспортних засобів викладені в наукових роботах Чудакова Е. А., Зимєлева Г. В., Фалькевича Б. С., Фаробіна Я. Є., Смирнова Г. А. та інших. Тому використовують широко описаний в роботах процес газифікації, що представляє собою утворення горючого газу шляхом окислення вуглецю твердого палива киснем повітря, киснем в чистому вигляді або ж водяною парою. Повне окислення вуглецю палива може протікати за екзотермічною реакцією, з виділенням тепла в кількості 97650 кал/моль [5, с. 10-12].

У результаті неповного окислення вуглецю утворюється горючий газ CO, але при виділенні 29430 кал/моль теплоти. Утворюється оксид вуглецю CO і при відновленні вуглекислого газу CO₂ в розжареному шарі палива в умовах протікання за ендотермічною реакцією з поглинанням тепла в кількості 38790 кал/моль. Оксид вуглецю, що утворився, може бути підведений до циліндрів двигуна внутрішнього згоряння і спалений з виділенням 68220 кал/моль тепла.

Важливі і основні особливості протікання реакцій газифікації. Реакції утворення горючого газу CO, як через повне, так і часткове окислення вуглецю твердого палива протікають майже миттєво, швидкість реакції відновлення значно залежить від активної поверхні палива. При вищій температурі і реакційній здатності палива швидше протікає процес відновлення оксиду вуглецю CO і менша висота шару палива, необхідна для завершення процесу газифікації. З іншого боку, згідно закону діючих мас, швидкість реакції пропорційна концентрації вихідних реагуючих компонентів. А також, враховуючи, що реакція відновлення може протікати як в прямому, так і в зворотньому напрямі, то затягне відновлення утвореного газу спричиняє його деякі втрати. З умов хімічної рівноваги визначено, в теоретичному плані, що для повного відновлення оксиду вуглецю CO потрібно мати температуру в реакційному шарі не нижче 950 – 1000°C, і, навіть в ідеальному випадку, при

газифікації генераторний газ не буде містити оксиду вуглецю CO більше 34,7 %. В дійсному процесі газифікації слід врахувати, що поряд з сухим утворенням горючого газу CO, присутній і процес підсушування палива, тобто утворення вологи [5, с. 13].

Великий вплив на якість генераторного газу має швидкість доступу повітря (або швидкість наддуву) в камеру газифікації. Зі збільшенням швидкості наддуву збільшується температура на поверхні палива, яке знаходиться у цівці повітря, що надходить. Одержується місцеве збільшення напруженості горіння, величина якої досягає $50000 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$. [5, с. 19].

Деревний генераторний газ на виході з газогенератора засмічений домішками, до яких відносять: пил, смолисті речовини, сірчані з'єднання, вологу. Ці домішки, випадаючи в осад у впускній системі і в циліндрах двигуна, порушують нормальну його роботу. Поступово засмічуючи оливу двигуна, викликають передчасне зношування його тертьових поверхонь. Через це генераторний газ має бути очищений від вищеперахованих домішок.

У транспортних газогенераторах в кожному кубічному метрі утвореного генераторного газу може міститися в середньому від 2 до 3,5 г пилу. В залежності від навантаження вміст пилу в газі може змінюватися в широких межах. У деяких випадках, наприклад, при роботі генератора на деревині м'яких порід із значним вмістом дрібних частинок, вміст пилу може підвищитися до 7 – 8 г/м³ газу. Пил генераторного газу являє собою суміш, яка складається з пластівців сажі, частинок попелу, тощо. За розміром частинок пил можна умовно поділити на: грубий, з розміром частинок більшим за 60 мкм і тонкий, з розміром частинок меншим за 60 мкм. Приблизний склад пилу генераторного газу, що утворено з деревини: 42% грубого пилу і 58% тонкого. Генераторний газ, в основному, має очищатися від смолистих речовин ще у процесі газифікації палива. Для цього використовують, в першу чергу, газогенератори, які працюють за оберненим процесом газифікації, а також шляхи правильного підбору параметрів і конфігурації однієї з частин газогенератора – камери газифікації [5, с. 19].

1.2. Аналіз розвитку конструкції транспортних засобів з установками для утворення деревного генераторного газу

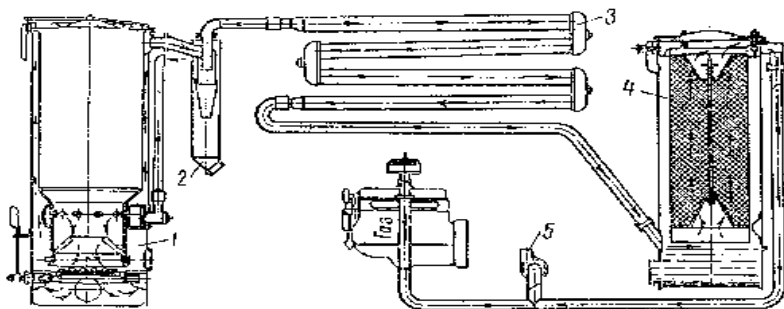
У попередньому підрозділі розглянуто дійсний процес газифікації твердого палива, який відбувається в пристрої – газогенераторі. Але було з'ясовано, що утворений генераторний газ має бути очищений та охолоджений, без цього він мало придатний для використання у вигляді палива у двигунах внутрішнього згоряння, тому загальну конструкцію генераторних установок крім газогенератора класично складають пристрої для охолодження, очищення газу.

Компонування всіх основних пристроїв газогенераторних установок показано на рис. 1.1. На тракторі марки ХТЗ – НАПІ модель Т2Г, що серійно випускався в 40-х – 50-х роках попереднього століття, пристрої очистки і охолодження газу мали класичну загальну конструкцію, подібну до тієї, що зображена на рис. 1.1. Грубе очищення газу відбувалось у одному або декількох відцентрових очисниках типу “циклон”.

Охолодження газу після грубого очищення відбувалось в охолоджувачі радіаторного типу. Тонке очищення газу відбувалось у доволі складному фільтрі бакової конструкції з фільтрувальними кільцями [5, с. 23].

Рис. 1.1.

Установка для утворення деревного генераторного газу



1 – газогенератор; 2 – грубий фільтр-охолоджувач; 3 – трубчастий охолоджувач; 4 – тонкий фільтр; 5 – вентилятор.

У автомобілів з газогенераторними установками, як уже зазначалось, загальна конструкція пристроїв охолодження і очистки газу була полегшеною або, інакше, спрощеною, без охолоджувачів радіаторного типу, пристрої грубого очищення одночасно були і охолоджувачі. Конструкцію газогенератора таких установок показано в додатку А.

У складі газогенераторних установок використовувались різноманітні за конструкцією пристрої охолодження та очищення газу:

а) грубі очисники бувають:

- відцентрового типу «циклон» різних видів;
- секційного типу з перфорованими пластинами;

б) охолоджувачі:

- радіаторного типу;
- трубчастий охолоджувач;

в) тонкі очисники:

- бакового типу, подвійні, з кільцями;
- типу вертикальний циліндр з двома шарами кілець;
- з фільтрувальним елементом;
- барботажного типу (в більшості модифікації автомобілів, призначених для роботи на вугіллі і торфі).

До цього різноманіття конструкцій слід додати ще невелику кількість пристроїв охолодження і очистки газу, що випускались невеликими серіями.

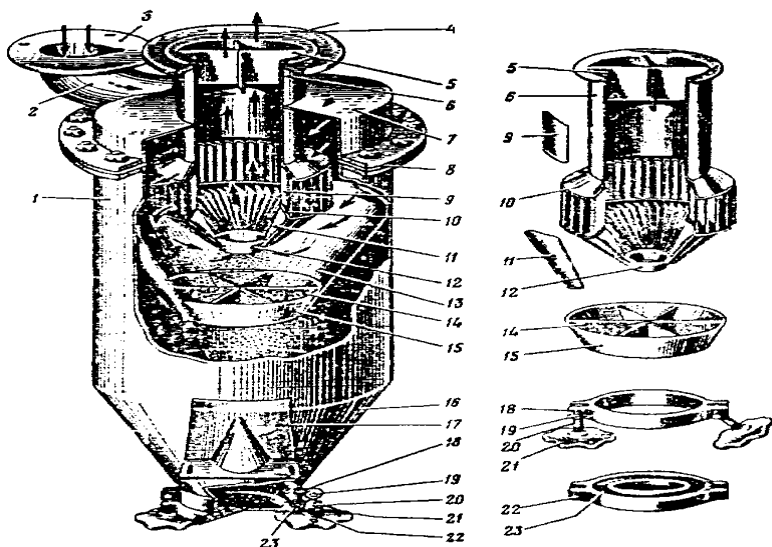
Грубий очисник відцентрового типу «циклон» схематично представлений на рис. 1.2. Циклон складається: з циліндричного корпусу 1 з листової сталі, до нижнього краю якого приварена конічна частина 1б корпусу, в нижній частині якої знаходиться люк, який закручується баранцевими гвинтами 21. Верхня частина корпусу 1 циклона закрита кришкою 7, прикрученою до фланця 20 корпусу болтами на азбестовій прокладці 8. З боку до кришки приварено сталевий підвідний патрубок 2, спрямований по дотичній до кола корпусу.

В середині корпусу до витисненого обідка 15 приварено конус 13. Простір під конусом називається збирачем відходів 17. Газ, який надходить у циклон завдяки формі підвідного патрубку 2, набуває в корпусі циклона швидкого обертального руху. Під впливом відцентрової сили важкі механічні домішки газу відкидаються до стінок і опускаються в збирач відходів. При

виході з циклона через центральний патрубок 6 газ проходить крізь ґратки 10, які складаються з двох рядів лопаток 9, 11. Лопатки 9 і 11 розміщено похило так, що, проходячи повз них, течія газу розбивається на струмені, змінюючи напрям руху, що спричиняє виділення з газу механічних домішок. Циклон очищується від відходів через нижню горловину 18, яка закривається кришкою 22 з кріпленням 19.

Рис. 1.2.

Очисник типу «циклон»



Якщо в загальній конструкції газогенераторної установки присутній окремий охолоджувач, то він може бути радіаторного типу, подібний до показаного в додатку Б. Охолоджувач радіаторного типу складається з двох баків – верхнього 2 і нижнього 8, сполучених трубчастою серцевиною. Верхній бак має чавунні кришки 1, які закривають горловини, через які промивається радіатор. Трубки розділені на дві частини, кожна з яких сполучена з однією з двох ємкостей, які розділяються перегородкою в нижньому баці 8.

Газ в охолоджувач підводиться через патрубок 16, приварений до правої ємкості нижнього бака 8. Увійшовши до першої секції, газ розбивається на цівки, які проходять трубками

першої секції знизу – вверх. У верхньому баці 2 газ змінює свій напрям і надходить до другої секції. При проходженні по трубках, охолоджується струменем повітря, яке просмоктується вентилятором між трубками охолоджувача.

Тонкі очисники серійних тракторів та автомобілів найчастіше в якості фільтрувального елемента для очищення газу використовували кільця в один чи більше шарів. Корпусами служили баки чи вертикальні циліндри автомобілів, схематично очисник представлено в додатку В. Фільтрувальні кільця представляють собою короткі циліндри, розміри якого дорівнюють діаметр і висота від 10 до 25 мм. У корпусі очисника кільця засипані на сітки в один чи декілька шарів. Матеріал для виготовлення кілець – листова сталь або фарфор. Кількість кілець доходила до 25 тис. шт. У роботі [5, с. 24] маса ста кілець розміром 25х25мм становить 757 г.

Очищення газу досягається за рахунок багаторазового доторкання його до вологої поверхні кілець, на яких випадають в осад частинки дрібного пилу. Конденсація водяної пари, що міститься в газі, зумовлює підтримання поверхні кілець у вологому стані і їх самоочищення конденсатом, що стікає вниз очисника. Досліджено, що при вологості газу 120 г/м^3 і охолодженні його до температури 50°C , із 1 м^3 газу виділяється і конденсується 10г водяної пари. При шарі кілець в 600 мм процес очищення газу відбувається з коефіцієнтом очистки 0,22. А при охолодженні газу до 20°C із 1 м^3 газу конденсується 100г вологи, і коефіцієнт очистки підвищиться до 0,60. Але оскільки в газі із дров початкова кількість вологи лежить в межах $180\text{-}200 \text{ г/м}^3$, а газ охолоджується до температури $30\text{-}35^\circ\text{C}$, коефіцієнт очистки в кільцях (при висоті шару в 800мм) досягає значення 0,7-0,8.

Часто в тонких очисниках замість кілець використовували фільтруючі матеріали: пробкові крихти, скловату, рослинне волокно (сезаль), тощо.

Згадувані барботажні очисники – це очисники, де використовувалась поверхня води як фільтрувальний елемент. Позитивний момент у використанні барботажних очисників – вода не створює значного опору проходженню газу.

1.3. Обґрунтування доцільності застосування деревного генераторного газу як палива для двигуна транспортного засобу

Для сільськогосподарських виробництв України актуальною є проблема переходу сільськогосподарської техніки на альтернативні види палива з невеликими капітальними вкладеннями. В структурі собівартості виробництва продукції енергетична складова має вагоме значення. Тому з врахуванням різкого подорожчання висококалорійних енергоносіїв на основі нафти в Україні виникла необхідність створення технологій та обладнання для отримання газогенераторних моторних палив на основі відновлювальних та місцевих видів палива (відходи деревообробки, сільськогосподарського виробництва, рослинна біомаса і т.д.), вартість яких в наш час приблизно в 2-3 рази нижче вартості нафтопродуктів [5, с. 137]. Проведені дослідження показують, що вартість палива складає 20-30 % і 5-7% від вартості продукції рослинництва і тваринництва відповідно. Отже, здешевлення палива в 2 рази приведе до зниження собівартості продукції рослинництва на 10 – 15 % і тваринництва на 25-35%. Згідно зі статистичними даними, в 2022 р. для потреб сільського господарства було використано 2,1 млн. т. пального нафтового походження на загальну суму близько 92 млрд. грн. У той же час потенційні ресурси надлишку соломи і стебел складають в середньому 21 млн. т. (або 10,1 млн. т. умовного палива) [9, с. 5]. З наведених вище даних видно, що потенційні ресурси соломи і стебел майже у 2,6 рази перевищують річні потреби в паливі для проведення сільськогосподарських робіт. Це свідчить, що тільки частина ресурсів соломи і стебел може бути використана для потреб сільськогосподарської техніки, і це, не враховуючи запаси деревини та інших аналогічних видів палива. Сумарні потенційні ресурси надлишку відходів деревини (включаючи кору) в лісовому господарстві та деревопереробних галузях промисловості становлять 3743 тис. м³, що еквівалентно 984 тис. т. умовного палива. Продаж сільськогосподарськими підприємствами надлишків соломи і стебел дала б їм змогу на отримані кошти (до 150 млн. грн. при вартості соломи 35 грн.

за 1 т.) придбати нову сільськогосподарську техніку, обладнання, матеріали, запчастини тощо.

Важливим також є те, що сільськогосподарська техніка, яка працює на газогенераторному паливі, дозволяє значно зменшити викиди в атмосферу вихлопних і парникових газів, підвищуючи тим самим екологічність виробленої продукції. Наведені вище економічні розрахунки не враховують потенційної можливості продажу одиниць зниження викидів CO₂ та інших парникових газів, якого було б досягнуто при оснащенні сільськогосподарської техніки газогенераторами (за попередніми розрахунками ці заходи зменшать кількість шкідливих викидів до 38 млн. т. за рік). Одиниці зниження викидів CO₂, що регламентовані Кіотськими квотами, купуються за ціною 9 євро/т CO₂ еквіваленту (наприклад, в рамках програми Ecu-PT, яка фінансується міністерством економіки Нідерландів) [9, с. 3]. Взнявши до уваги цю можливість, використання газогенераторів для сільськогосподарської техніки дозволить залучити додаткові кошти (340 млн. євро/рік), що можуть бути інвестовані в подальший розвиток використання альтернативних видів палива.

Таким чином, в Україні в найближчі роки найбільш перспективними для комерційного використання будуть технології, які використовують транспортні та стаціонарні газогенератори. Використання газогенераторних автомобілів на Україні на відміну від ряду Західноєвропейських країн визначається не жорсткою екологічною політикою, а економічною доцільністю використання місцевих видів палива [5, с. 138]. Створення транспортної газогенераторної установки актуальне сьогодні і знайде попит у фермерських господарствах, колективних сільськогосподарських підприємствах і на заготівельних базах.

Висновки до розділу 1

Критичний аналіз літературних джерел підтверджує, що дослідження процесів покращення утворення деревного генераторного газу є актуальними і потребують нових підходів до вирішення проблемних питань.

Для того, щоб використати тверде паливо (дрова, торф, вугілля, тощо) для двигунів внутрішнього згорання, його попередньо газифікують. Для максимального наповнення циліндрів газ необхідно охолодити до температури навколишнього середовища, але на практиці газ охолоджується до 30 – 40 °С, подальше охолодження газу потребувало б значного збільшення охолоджуючої поверхні, що в умовах транспортної газогенераторної установки, яка обмежується масою та розмірами, нераціонально. Генераторний газ на виході з газогенератора засмічений домішками, до яких відносять:пил, смолисті речовини, сірчані з'єднання, вологу, тощо. З цих домішок смоли та механічні частинки, випадаючи в осад у впускні системи і в циліндри двигуна, у його оливу порушують нормальну роботу двигуна, значно прискорюють зношення, в першу чергу, деталей кривошипно-шатунного механізму. При роботі генератора на деревині м'яких порід вміст пилу може підвищитися до 7 – 8 г/м³ газу. Генераторний газ, в основному, має очищатися від смолистих речовин ще у процесі газифікації палива, саме за оберненим способом газифікації, а також шляхом правильного підбору параметрів і конфігурації однієї з частин газогенератора – камери газифікації.

У загальну конструкцію серійних газогенераторних установок пристрої для очищення і охолодження газу включені, як окремі елементи, спроб об'єднання їх в систему очищення і охолодження газу та послідовне дослідження цієї системи не виявлено. Більшість мобільних (транспортних) газогенераторних установок мали полегшену загальну конструкцію, завдяки, в першу чергу, тому, що не використовували охолоджувачі радіаторного типу. Визначення необхідної поверхні охолодження на основі законів про теплопередачу не дає точних результатів – таке резюме з літератури періоду інтенсивного проектування пристроїв охолодження газу й інших елементів газогенераторних установок, що випускались серійно. Воно теж потребує перевірки, перегляду з урахуванням вимог сучасності.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВИГУНІВ НА ДЕРЕВНОМУ ГЕНЕРАТОРНОМУ ГАЗУ

2.1. Дослідження показників роботи двигунів на деревному генераторному газу

Тракторні газогенераторні установки, без зміни конструкції та робочого процесу їх двигунів, в першу чергу необхідно відносити до газорідних, через те, що їх системи живлення будуть працювати на суміші з частини рідкого палива (дизельного палива) і частини газоповітряної суміші.

Такий робочий процес передбачає одночасне використання дизельного та газоподібного палива. Передбачено, що газ через змішувач подається до впускного трубопроводу дизеля. Професор Костецький В.Г. вважає, що газ можна подавати безпосередньо до повітроочисника і далі до циліндрів двигуна. Газ порівняно з дизельним паливом має вищу температуру самозаймання (480-600°C), тому на дизелях за реальних для них ступенів стиску самозаймання газоподібних палив здійснити не можна. У зв'язку з цим робочу суміш у циліндрах газодизеля запалюють від дози дизельного палива. В кінці такту стиску до циліндра впорскується дизельне паливо, що виконує роль іскри запалювання. Дизельного палива потрібно до 30% від об'єму суміші, хоча в деякій літературі [12, с. 110] відмічається, що його може бути достатньо і 20 %. У подальшому двигун працює як дизель. В цьому способі є суттєві переваги: не потребує докорінної зміни конструкції, значно знижується токсичність відпрацьованих газів (менший вміст сажі, оксиду азоту тощо), і як зазначено в літературі [12, с. 112] - є змога одержати високі потужність та економічність.

Щоб визначити основні параметри газогенераторних установок, необхідно визначити теплотворну здатність суміші, на якій буде працювати газодизель, а з неї можна визначити, наприклад, ефективну потужність цього двигуна (один з способів - за методикою Токарева Г.Г. [5, с. 27]). Для визначення

теплотворної здатності суміші на якій працює газодизель використовуємо формулу (2.1) [12, с. 112]:

$$Q = \frac{Q_H}{1 + \alpha \cdot L_o}, \text{ ккал} / \text{м}^3 \quad (2.1)$$

де Q_H – нижча теплотворна здатність палива, $\text{ккал} / \text{м}^3$;
 α – коефіцієнт надлишку повітря;

L_o – теоретична необхідна кількість повітря для згорання суміші, $\text{м}^3 / \text{м}^3$.

В літературі [12, с. 113] рекомендують розраховувати за формулою (2.1) окремі складові суміші: газу та дизельного палива. Коли визначиться теплотворна здатність окремих складових, то можна визначити відносну втрату теплотворної здатності суміші через заміну частини рідкого палива за формулою (2.2):

$$E = \frac{Q^{P.П.} - Q^G}{Q^{P.П.}} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де $Q^{P.П.}$ і Q^G – відповідно теплотворні здатності рідкого палива та газу.

Далі виберемо тракторні двигуни, до яких розрахуємо параметри газогенераторної установки. Для початку свій вибір зупинимо на дизелі Д-240, двигуні трактора МТЗ-80. Цей двигун є базовим для великої кількості модифікацій, а також є важливим той факт, що трактор МТЗ-80 дуже поширений в Україні. Інший двигун – СМД-66. Для цього двигуна були проведені попередні дослідження в лабораторіях Житомирського агротехнічного фахового коледжу де є в наявності трактор ДТ-175С, на який він встановлюється. Дані по цих двигунах приведено в табл. 2.1.

Розрахуємо один з основних показників роботи двигунів на дизель-газоповітряній суміші - це кількість суміші, необхідної для робочого процесу за формулою (2.3):

$$V_{cm} = 0,03 \cdot V_h \cdot n \cdot \eta_v, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.3)$$

Підставивши значення параметрів (з табл. 2.1) для різних марок двигунів отримуємо: для Д-240 – $249,5 \text{ м}^3 / \text{год}$; СМД-66 – $443,3 \text{ м}^3 / \text{год}$.

Таблиця 2.1

Дані для розрахунку

Марк а двигу на	Число циліндр ів, i	Робоч ий об'єм, $V_h, л$	Число обертів колін- частого вала, $n, об/хв$	Коефіціє нт наповне ння циліндрі η_V	Коефіціє нт надлишк у повітря (при номіналь них обертах) α	Ступі нь стиск у ε
Д-240	4	4,75	2200	0,70	1,1	16
СМД- 66	6	9,15	1900	0,85	1,25	15

Наступний показник роботи двигуна – середній індикаторний тиск P_i , можна визначити за формулою (2.4) [12, с. 116]:

$$P_i = 0,0427 \cdot Q_{o.d.} \cdot \eta_i \cdot \eta_V, \text{ кг/см}^2 \quad (2.4)$$

де $Q_{o.d.}$ – теплотворна здатність суміші при 15°C і тиску $735,5 \text{ мм.рт.ст.}$;

η_i – індикаторний коефіцієнт корисної дії.

Теплотворну здатність $Q_{o.d.}$ визначимо для газодизелів на основі даних приведених в табл. 2.1 для різних двигунів та формул (2.1) та (2.2). Теплотворну здатність робочої суміші з дизельного палива та газоповітряної суміші визначили як теплотворні здатності окремих складових у вище згаданих пропорціях. Величина теплотворної здатності $Q_{o.d.}$ буде в межах $618...797 \text{ ккал/м}^3$ ($2586...3341 \text{ кДж/м}^3$).

Індикаторний коефіцієнт корисної дії можна розрахувати за формулою (2.5) [12, с. 117]:

$$\eta_i = \mu \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{0,23}} \right), \quad (2.5)$$

де μ – коефіцієнт форми камери згоряння двигуна, приймаємо його - 0,98;

ε – ступінь стиску двигунів (представлено в табл. 2.1).

В літературі представлено методики розрахунку показників роботи двигунів на генераторному газі, одна з найбільш чітких – Г. Г Токарева [12, с. 117], але вона обмежена розрахованими вище показниками. Для порівняння з іншими показниками двигунів ми розширимо цю методику, розрахуємо для вибраних двигунів: індикаторну потужність $N_i, \text{кВт}$, $q_i, \text{кг/кВт} \cdot \text{год}$ та механічний коефіцієнт η_M . Ці показники можна розрахувати за формулами (2.6 – 2.8) [12, с. 117]:

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_h \cdot \omega \cdot i}{12,56}, \text{кВт} \quad (2.6)$$

де ω – кутова швидкість колінчастого вала двигунів, с^{-1} . Її можна визначити як:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}.$$

Питому індикаторну витрату палива розрахуємо за формулою:

$$q_i = \frac{G_T}{N_i}, \text{кг/кВт} \cdot \text{год} \quad (2.7)$$

де G_T – годинна витрата палива, кг/год .

Механічний ККД розрахуємо за формулою:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = \frac{N_e}{N_i}, \quad (2.8)$$

де P_e – середній ефективний тиск, кг/см^2 (або в МПа);

N_e – ефективна потужність, к.с. (кВт).

Годинну витрату палива G_T необхідно визначити для кожного з двигунів окремо за формулою (2.9) [12, с. 117]:

$$G_T = \frac{V_z}{V_o}, \text{кг/год} \quad (2.9)$$

де V_o – вихід сухого генераторного газу з 1кг твердого палива, $\text{м}^3/\text{кг}$;

V_z – продуктивність газогенераторної установки, $\text{м}^3/\text{год}$

Якщо прийняти, що основне паливо, яке буде використовуватися в газогенераторній установці – деревина та її

похідні, то за методикою Токарева Г.Г. вихід сухого газу з цього палива – $2,54 \text{ м}^3 / \text{кг}$ [12, с. 118]. Продуктивність газогенераторної установки можна визначити з формули (2.10):

$$V_g = 0,03 \cdot K / (1 + \alpha \cdot L_o) \cdot V_h \cdot n \cdot \eta_V, \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.10)$$

де K – коефіцієнт приведення температури та тиску генераторного газу перед робочим процесом до нормальних умов: 0°C та 760 мм.рт.ст. , з методики Токарева Г. Г. $K = 0,92$ [12, с. 118].

Середній ефективний тиск P_e можна визначити з формули (2.11):

$$P_e = P_i - P_T, \text{ МПа} \quad (2.11)$$

де P_T – середній тиск роботи сил тертя, МПа.

Методика Токарева Г. Г. передбачає визначення тиску P_T для карбюраторних двигунів, а для дизелів скористаємося літературою [12, с. 118] за формулою (2.12):

$$P_T = 0,0922 + 0,000101 \cdot n, \quad (2.12)$$

де n - частота обертання колінчастого вала двигуна, об/хв.

Ефективну потужність двигуна визначаємо з формули (2.13) [12 с. 119]:

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot n}{900}, \quad (2.13)$$

Вище розглянуті формули (2.3 – 2.13) було розраховано для двигунів Д-240 та СМД-66 на основі їх паспортних даних (табл. 2.1), результати розрахунку в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Показники роботи двигунів Д-240 та СМД-66 на суміші генераторного газу та частково дизельного палива

Марка двигуна	Середній індикаторний	Індикаторний ККД	Індикаторна потужність	Індикаторна вирага палива	механічний ККД	Середній ефективний тиск	Ефективна потужність	Вирага деревини
	$P_i,$ <i>Mpa</i>	η_i	$N_i,$ <i>кВт</i>	$q_i,$ <i>кг</i> <hr/> <i>кВт · год</i>	η_M	$P_e,$ <i>Mpa</i>	$N_e,$ <i>к.с.</i>	$G_T,$ <i>кг/год</i>
Д-240	0,85 3	0,46 2	73,02	1,367	0,631	0,53 9	62,6	99,8
СМД-66	1,01 8	0,45 4	144,7 5	1,392	0,721	0,73 4	141, 8	201, 5

2.2. Визначення параметрів газогенераторної установки трактора

На основі показників робочого процесу двигунів, що досліджуються можна розрахувати основні розміри газогенераторних установок для них. Серйозна відміна в конструкції полягає в тому, що в наших газогенераторних установках буде відсутній тонкий очисник, бо генераторний газ, по Костецькому В. Г., буде підводитись до повітроочисників цих двигунів, про це було вище зазначено.

Основу розрахунку газогенератора складає визначення розмірів камери газифікації, їх визначимо за методикою Токарева Г. Г. [12, с. 119]. Діаметр камери газифікації розрахуємо за формулою (2.14):

$$D_{\kappa} = 1130 \cdot \sqrt{\frac{G_T}{q}}, \text{ мм} \quad (2.14)$$

де q - напруженість горіння, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$.

Для деревини в літературі [12, с. 119] напруженість горіння q визначають в межах $500 \div 900 \text{ кг} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$. Для вибраних нами двигунів визначимо діаметр камери газифікації D_k для граничних значень напруженості горіння, результати в табл. 2.3. Діаметр горловини камери газифікації в газогенераторі визначимо за формулою (2.15):

$$d_e = \frac{D_k \cdot q}{1450}, \text{ мм} \quad (2.15)$$

Висоту активного шару палива в камері газифікації газогенератора розраховують за формулою (2.16):

$$H_3 = \frac{127 \cdot V_k \cdot N_e}{D_k^2}, \text{ мм} \quad (2.16)$$

де V_k - питомий об'єм камери газифікації, $\text{л} / \text{к.с.}$

Цю величину приймають на основі експериментальних даних серійних газогенераторних установок, в межах $1,1 - 1,4 \text{ л} / \text{к.с.}$

Тип газогенератора вибрано – обернений. При такому типі газогенератора крекінгуються в більшості своїй смоли, які є в складі деревини. При цьому типі газогенератора діаметр бункера, що обігривається газом, береться на $40 \dots 60 \text{ мм}$ менше ніж діаметр корпусу, який рівний діаметру камери попелу. Діаметр корпусу, висота бункера приймається з габаритних умов монтажу генератора на тракторі, при заданому діаметрі визначають запас ходу або тривалість роботи газогенератора в годинах без довантаження палива.

Періодичність довантаження бункера газогенератора визначається за формулою (2.17):

$$t_{\delta} = 0,9 \cdot \frac{V_{\delta} \cdot \gamma_T}{G_T}, \text{ год} \quad (2.17)$$

де $0,9$ - коефіцієнт допустимого використання палива в бункері;

V_{δ} - об'єм бункера в літрах;

γ_T - насипна вага палива, яка становить для дров та торфу $0,3-0,35 \text{ кг/л}$ [12, с. 118].

Питомі об'єми грубих очисників-охолоджувачів газу змінюються, для напівстаціонарних умов (для тракторів [12, с. 119]) в межах $3-4 \text{ л/к.с.}$ Для вибраних двигунів та їх розрахованих ефективних потужностей N_e підраховано об'єми цих очисників, величини їх в табл. 2.3.

Таблиця 2.3
Основні розміри складових установок двигунів
Д-240 та СМД-66

Марки двигунів	Границі основних параметрів	Газогенератор				Грубий очисник-охолоджувач			Радіаторний охолоджувач	
		Діаметр камери газифікації	Діаметр горловини	Висота активного шару	Періодичність довантаження	Питомі об'єми грубих очисників-охолоджувачів	Об'єм грубих очисників-охолоджувачів	Висота корпусу грубих очисників-охолоджувачів	Питомі поверхні охолодження радіаторного охолоджувача	Поверхня охолодження радіаторного охолоджувача
1	2	D_k , мм	d_e , мм	H_z , мм	t_6 , год	$\frac{\text{л}}{\text{к.с.}}$	л	мм	$\frac{\text{м}^2}{\text{к.с.}}$	м^2
Д-240	max	504,8	233,6	3,60	2,2	4	250	7,5	0,08	5,01
	min	376,3	174,1	2,69	1,7	3	188	5,7	0,07	4,38
СМД-66	max	717,3	331,8	3,81	1,9	4	567	11,3	0,08	11,34
	min	534,6	247,3	2,84	1,4	3	425	8,5	0,07	9,99

Якщо вважати, що корпус грубого очисника-охолоджувача має форму циліндра та прийнявши, що для двигуна Д-240 – діаметр цього циліндра $d_{оч} = 6,5 \delta м$, для СМД-66 – $d_{оч} = 8 \delta м$, то висоту корпусу очисника $H_{оч}$ можна визначити за формулою (2.18):

$$H_{оч} = \frac{4 \cdot V_{оч}}{\pi \cdot d_{оч}^2}, \delta м \quad (2.18)$$

В табл. 2.3 приведено розраховані розміри грубих очисників-охолоджувачів для викладених вище умов. В літературі [12, с. 119] приведено і інші експериментальні дані, наприклад питомі площі охолодження, для грубих очисників-охолоджувачів. Тому тут велике поле для оптимізації визначення розмірів очисників. В літературі [5, с. 34] приведено експериментальні дані з питомих величин поверхонь охолодження радіаторних охолоджувачів - $0,07 - 0,08 м^2 / к.с.$ Для вибраних двигунів розраховані поверхні охолодження установки приведено в табл. 2.3.

Висновки до розділу 2

Визначені основні параметри процесу утворення деревного газу, які мають ґрунтуватися на умовах газифікації, до яких відносять: вид палива, що буде газифікуватись, його елементарний склад; приблизний склад газу, що утворюється. Зокрема для деревини і її похідних встановлено такі параметри: нижчу теплотвірну здатність суміші, кількість суміші, необхідної для робочого процесу, вихід сухого газу з 1кг палива, тощо.

Розрахована ефективна потужність газогенераторного трактора за методикою Г. Г. Токарева забезпечує тільки мінімально можливу ефективну потужність двигуна для існуючих аналогів тракторів, тому експериментальна перевірка експлуатаційних властивостей переобладнаних тракторів вкрай необхідна.

РОЗДІЛ 3

МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НАТУРНОГО ЗРАЗКА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПІД ЧАС РОБОТИ НА ДЕРЕВНОМУ ГЕНЕРАТОРНОМУ ГАЗУ

3.1. Конструкція установки для роботи двигунів на деревному генераторному газу

На підтвердження теоретичних досліджень в Поліському національному університеті та Житомирському агротехнічному фаховому коледжі, в лабораторіях відповідного профілю, проводяться експерименти з встановлення газогенераторних установок на різні двигуни тракторів та автомобілів (Додаток К).

Нещодавно у створенні конструкції натурального зразка газогенераторної установки для тракторного двигуна СМД-66 прийняли участь також викладачі та здобувачі освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира (Додаток Л). Здобувачі освіти даного навчального закладу прийняли участь у монтажі та у подальших експериментальних випробувань системи живлення двигуна СМД-66 під час роботи на деревному генераторному газу (Додаток М).

Для виконання цього завдання на тракторі ДТ-175С зроблені наступні конструктивні зміни (Додаток Н):

- знято основний паливний бак трактора, це дало змогу вивільнити місце над лівою гусеницею, розміри якого: ширина – 0,6 м, довжина – 1,4 м;
- замість знятого бака трактор дообладнано меншим, місткістю 50 л (Додаток Н);
- знято кожух акумуляторної батареї (позаду кабіни трактора), для самої акумуляторної батареї можна знайти місце в задній частині кабіни трактора, в крайньому випадку акумуляторну батарею можна не переносити, але змінити форму її кожуха;
- знято інструментальний ящик із заднього кінця правого крила трактора, звільнено площадку розміром: ширина – 0,35 м, довжина – 0,68 м;
- в кабіну, з лівого боку, проведено привод дросельної заслінки регулювання кількості надходження генераторного газу;

- до електродвигуна вентилятора підведено живлення від джерел електричної енергії трактора;
- встановлено кріплення для трубопроводу підведення газу на повітроочиснику;
- закріплено основні частини газогенераторної установки на тракторі: газогенератор - позаду кабіни, на правому крилі; грубий очисник-охолоджувач - позаду кабіни, на лівому крилі; радіаторний охолоджувач, вентилятор - над лівою гусеницею, на місці знятого основного паливного баку [12, с. 119].

Повний склад газогенераторної установки на тракторі ДТ-175С: газогенератор (Додаток Д), грубий очисник-охолоджувач (Додаток Е), радіаторний охолоджувач (Додаток Ж), трубопроводи, вентилятор, блок з дросельною заслінкою, гнучкі шланги, кріпильні матеріали. Основна мета, з якою виконана ця робота: з'ясувати основні питання з можливості розміщення установки на сучасному гусеничному тракторі та перевірити потужність, яку буде розвивати двигун на суміші дизельного палива та генераторного газу з повітрям, порівняти її з теоретичною. Для більш широких досліджень необхідні значні кошти, які в повному обсязі зараз лабораторіями не можуть бути отримані.

3.2. Методологія експериментальних досліджень установки для роботи двигунів на деревному генераторному газу

У загальному під методологією експериментальних досліджень розглядають загальну структуру (або проєкт) експерименту. Тобто постановка і послідовність виконання експериментальних досліджень [12, с. 120].

Метод експерименту передбачав такі етапи:

- розробка плану експерименту;
- оцінка вимірювань і вибір засобів для проведення експерименту;
- математичне планування експерименту з одночасним проведенням експериментального дослідження, обробкою та аналізом здобутих даних.

Оснoву плану складає методика експерименту. Методика є системою прийомів або способів для послідовного найефективнішого здійснення експериментального дослідження. До неї входить: мета і завдання експерименту; вибір варіативних факторів; обґрунтування засобів та необхідної кількості вимірювань; опис проведення експерименту; обґрунтування способів обробки та аналізу результатів експерименту [12, с. 120]. Мету експерименту обґрунтовують на основі аналізу інформації, гіпотези чи теоретичних розробок. На основі вищерозглянутого визначили мету експериментів, які було проведено:

- досліджено температурні режими установки для роботи двигунів на деревному генераторному газу;
- визначити зміну ефективної потужності двигуна при переобладнанні базового транспортного засобу установкою для роботи двигунів на деревному генераторному газу;
- перевірено адекватність теоретично визначеної величини годинної витрати деревини.

Для кожного з експериментів була розроблена загальна структура, принципи якої розглянуто вище.

Обґрунтування засобів вимірювань – це вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, обладнання машин, апаратів, тощо. У першу чергу використовують стандартні машини і прилади [5, с. 142]. Проведення експерименту стало найважливішим і найбільшим трудоємним етапом. Експериментальні роботи проводили відповідно до плану і методики експерименту. Обов'язково виконували вимоги інструкції з техніки безпеки, санітарії. Організовували робоче місце, керуючись принципами наукової організації праці.

Згідно мети експерименту даної роботи вимірювали температуру на різних ділянках газогенераторної установки транспортного засобу. Істинність результатів вимірювання температури звичайно визначається тим, наскільки вдало вибрано метод і засіб вимірювання для конкретного об'єкту та умов. А вони для об'єкта доволі різняться в залежності від умов експлуатації транспортного засобу.

В літературі необхідну точність вимірювання безпосередньо визначають значенням сумарної похибки δ_{Σ} результату вимірювання. Частина цієї похибки складуть значення випадкової та систематичної похибки $\delta_{\Sigma P}$. Інша частина сумарної

похибки δ_{Σ} визначить значення $\delta_{\Sigma n}$, яке рекомендується використовувати для вибору первинного перетворювача за формулою (3.1) [5, с. 142]:

$$\delta_{\Sigma n} = \sqrt{\frac{S_{\Sigma}^2}{m} + \frac{\theta_n^2}{3}}, \quad (3.1)$$

де m – число одиничних вимірювань; S_{Σ} – оцінка значення сумарної випадкової похибки, що допускається; θ_n – оцінка залишків систематичних похибок, включає в себе оцінку похибки градування первинного перетворювача.

Якщо прийняти орієнтовно, що число вимірювань буде 10, а інші величини на рівні, який розглянуто вище на основі методики Токарева Г.Г., то похибка $\delta_{\Sigma n}$ складе 3,2 одиниці, якщо похибку градування оцінити в одиницю. Якщо похибка градування буде рівна 5, то сумарна похибка $\delta_{\Sigma n}$ буде рівна 4,3, що теж для приведених Токаревим Г. Т. результатів вимірювання температури допустимо.

Наступний фактор, який маємо врахувати в подальшій роботі – тривалість процесу вимірювань Δt . Ця характеристика для процесів, що будуть досліджуватись, в основному є визначальною при виборі засобу та методу вимірювання температури. При тривалості менше мілісекунди використання контактних методів приводить до надмірно великих динамічних похибок і більш ефективним буде використання приладів безконтактного вимірювання температур. Тривалість вимірювання температури, при встановлених режимах в очисно-охолоджувальних системах можна приймати в сотні разів більшу, тому використання контактних методів допустиме. Також не має необхідності у штучному зменшенні тривалості вимірювального процесу для запобігання надмірного перегріву первинного перетворювача. Наступний фактор дуже серйозно може впливати на температурні вимірювання в системі. В літературі він розглядається як фактор вібраційних та ударних навантажень [9, с. 8]. Це й міцність закріплення приладів, стійкість їх до вібрації, ударів тощо. Вплив на засоби вимірювання вібраційних або ударних прискорень, тензометричний ефект, стає причиною виникнення у вимірювальних ланцюгах нових джерел перешкод, нових шумів. При експлуатації газогенераторних установок виникають доволі значні ударні та вібраційні навантаження, тому

їх необхідно враховувати. Необхідно відмітити, що ці вібрації мають також корисний вплив на установку, вони не дають в багатьох випадках паливу злежуватись в бункері газогенератора. Виміряти температуру газу на ділянках системи, і при цьому усунути вплив вібраційних та ударних навантажень, можна (Додаток И) від'єднавши двигун від установки або того пристрою очисно-охолоджуючої системи, де буде вимірюватись температура.

Фактор реєстрації результатів вимірювання. Необхідність реєстрації цих результатів змушує вводити у вимірювальний ланцюг додаткові блоки, які є джерелами додаткових похибок вимірювань. Через це реєстрація результатів здійснюється завжди з похибками, що перевищують похибки прямих вимірювань. Ергономіка, звісно, висока при використанні подібних приладів. Це, наприклад, автономний реєстратор температури MTR – 4/01, який призначений для вимірювання температури в чотирьох каналах з наступним записом вимірних значень у внутрішню енергонезалежну пам'ять [5, с. 149]. У нашому випадку не буде чотирьох джерел запису для каналів, і справедливо буде відзначити, що у випадку використання подібних засобів витратна частина досліджень явно збільшиться.

Перед експлуатацією відібрані засоби вимірювання температури мають бути випробувані та перевірені за показами еталонних засобів. У табл. 3.1 представлено основні засоби, що використовувались при дослідженнях.

Таблиця 3.1

Засоби вимірювання температури

№ п/п	Тип	Номінальна статистична характеристика	Кількість елементів	Діапазон температур, що вимірюється °С	
				від	до
1	Платиновий ТСП-5081-01	Гр21, 100П	1	- 50	+ 200
2	Платиновий ТСП-8040П	50П, 100П	1	0	+ 530
3	Рідинно-скляні термометри лабораторні по типу А	-	-	0 0 100 400	50 100 200 500

3.3. Перевірка ефективної потужності двигуна під час роботи на деревному генераторному газу

Метою експериментальних досліджень стала перевірка адекватності теоретичних розрахунків і вихідних положень, що були покладені в основу розрахунку ефективної потужності двигуна під час роботи на деревному генераторному газу. Для лабораторних досліджень був використаний пристрій ІМД-2М (Додаток Г). Заводська (паспортна) характеристика цього стенда в наведена в табл. 3.2. При підготовці до досліджень слід враховувати час на розпалювання газогенератора, при цьому можна врахувати результати температурних досліджень даної роботи. Тільки після виходу на режим повного розігріву газогенератора та прогріву двигуна до 70-90⁰ С допускається підключення електроживлення пристроїв.

Таблиця 3.2

Основна заводська (паспортна) характеристика пристрою ІМД-2М

Параметр вимірювання	Діапазон вимірювання	Одиниця вимірювання	Похибка вимірювання, %
Потужність	0 ... 200	кВт	4
Час спрацювання	0 ... 10	с	0,1

Інша важлива особливість методики лабораторних досліджень тракторів з газогенераторною установкою полягає в тому, що такий трактор знаходиться під час випробовувань у приміщенні лабораторії, у якій відсутній інтенсивний обдув газогенераторної установки, що враховується при їх проектуванні і є підставою для експлуатації полегшених газогенераторних установок. Через це характеристики лабораторних досліджень можуть суттєво відрізнятися від характеристик дорожньої експлуатації. Вихід з подібних ситуацій вбачається в обов'язковому використанні стандартних для тягових стендів вентиляторів обдуву, бажано фронтальної та бокової дії. Відстань встановлення вентилятора (вентиляторів) біля радіатора пристроїв газогенераторної установки може бути нормативною, а саме 1,5 – 2 м. Дані визначення зміни ефективної потужності

двигуна при переобладнанні базового транспортного засобу в газогенераторний наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Дані зміни ефективної потужності двигуна при переобладнанні базового транспортного засобу в газогенераторний (ГУ) [9, с. 114]

Комплектація	N_k , кВт	Δ_n	ε	N_e , кВт	Δ_n	ε_m
базовий	69,8	0,91	5,7	82,9	0,94	6,2
ГУ	41,7	1,28	7,1	49,0	1,37	7,3

Подальша методика випробовувань на стенді ІМД-2М газогенераторних транспортних засобів в цілому ідентична базовим транспортних засобів.

Відносну похибку ε розраховували за формулою (3.2):

$$\varepsilon = \frac{\Delta t_{екс}}{\langle t_{екс} \rangle} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

В табл. 3.3 враховано : Δ_n - довірча межа похибки вимірювання; ε – відносна похибка результатів вимірювання; ε_m – відносна похибка адекватності моделювання.

Висновки до розділу 3

У створенні конструкції натурального зразка газогенераторної установки для тракторного двигуна СМД-66 прийняли участь здобувачі освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, вони виконували монтаж та експериментальні випробувань системи живлення двигуна СМД-66 під час роботи на деревному генераторному газу.

Було зроблено вибір необхідних для спостережень і вимірювань приладів, обладнання машин, апаратів, тощо. У першу чергу використовували стандартні машини і прилади. Проведення експерименту стало найважливішим і найбільшим трудомним етапом. Експериментальні роботи проводили відповідно до плану і методики експерименту. Обов'язково виконували вимоги інструкції з техніки безпеки, санітарії. Організовували робоче місце, керуючись принципами наукової організації праці.

РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ В АГРОВИРОБНИЦТВІ

4.1. Аналіз отриманих результатів даного дослідження

Основний встановлений показник роботи двигуна СМД-66 на суміші деревного генераторного газу та дизельного пального (близько 30 % за об'ємом), а саме його ефективна потужність, виявилась меншою на 14 % у порівнянні з роботою цього двигуна тільки на дизельному пальному.

Пов'язано це в першу чергу з невстановленими режимами роботи турбокомпресора та регулятора паливного насосу високого тиску [12, с. 120], тому необхідні ґрунтовні дослідження роботи регулятора паливного насосу високого тиску для забезпечення часткового впорскування дизельного палива в циліндри двигуна. Також необхідні ґрунтовні дослідження режимів роботи турбокомпресора з нагнітання газоповітряної суміші, в складі якої генераторний газ з температурою не менше 25-35°C

Але вже отримані дані дають можливість оцінити ефективність використання суміші деревного генераторного газу та дизельного пального для ДВЗ. Для підтвердження цієї гіпотези розрахуємо дотичну силу тяги трактора з двигуном СМД-66 під час роботи на даній суміші. Така сила визначає тягову властивість трактора. Дотична сила тяги виникає в результаті роботи двигуна трактора, крутний момент якого через трансмісію передається на ведучі колеса і може бути визначена за формулою (4.1):

$$P_{ДТ} = \frac{M_{ек}}{r_k} = \frac{10 \cdot N_{ен} \cdot i_{ТР} \cdot \eta_M}{n_H \cdot r_k}, \quad (4.1)$$

де $M_{ек}$ – крутний момент на ведучих колесах трактора;

$N_{ен}$ – номінальна потужність двигуна під час роботи на суміші деревного генераторного газу та дизельного пального (на 14% менша заводської номінальної), $N_{ен} = 114$ кВт;

$i_{тр}$ – загальне передаточне число трансмісії, $i_{тр} = 26$ [10, с. 261];

η_M – механічний ККД трансмісії (для гусеничних тракторів з урахуванням втрат в гусеницях $\eta_M = 0,86-0,88$) [10, с. 261];

n_n – номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна, $n_n = 2100$ об/хв.;

r_k – радіус кочення ведучого колеса (зірочки), 0,358 м [10, с. 261].

$$P_{дт} = 10(114 \cdot 26 \cdot 0,87) / (2100 \cdot 0,358) = 34 \text{ кН.}$$

Отримане теоретичне значення сили тяги трактора з двигуном СМД-66 під час роботи на суміші деревного генераторного газу та дизельного пального показує, що сили тяги переобладнаного трактора буде достатньо для проведення комплексу сільськогосподарських робіт із набором знарядь тягового класу 30 кН.

4.2. Рекомендації щодо перспективи застосування деревного газогенераторного газу в агровиробництві

Наведені теоретичні розрахунки можна в повній мірі можна використовувати і для інших двигунів тракторів, на які будуть проєктуватись газогенераторні установки. Експериментальні дослідження необхідно продовжувати, в першу чергу, потрібно дослідити режими роботи турбокомпресора та регулятора паливного насоса високого тиску.

Є переваги в експлуатації газогенераторного виду газодизелів – немає необхідності в пошуку газонаповнювальних станцій, яких в сільській місцевості практично немає, а установка генерації газу монтується безпосередньо на тракторі.

Екологічні та економічні показники газогенераторних тракторів не поступаються показникам трактора з установкою природного газу. Перспективи встановлення газогенераторних установок на трактори є, в першу чергу, в гусеничних тракторів та енергонасичених колісних тракторів загального призначення.

Висновки до розділу 4

Експериментально встановлена ефективна потужність роботи двигуна СМД-66 на суміші деревного генераторного газу

та дизельного пального (близько 30% за об'ємом) виявилась меншою на 14% у порівнянні з роботою цього двигуна тільки на дизельному пальному, але отримане теоретичне значення сили тяги трактора з двигуном СМД-66 під час роботи на даній суміші показує, що сили тяги переобладнаного трактора буде достатньо для проведення комплексу сільськогосподарських робіт із набором знарядь тягового класу 30 кН.

Перспектива встановлення газогенераторних установок на трактори є, в першу чергу, в гусеничних тракторів та енергонасичених колісних тракторів загального призначення.

ВИСНОВКИ

У даному дослідженні розширено методику Токарева Г. Г. за рахунок розрахунку ряду додаткових показників дійсного робочого процесу автотракторних двигунів. На основі показників робочого процесу дизелів з газогенераторними установками розраховують основні розміри складових цих установок. Можливе інше розміщення частин газогенераторної установки на тракторі, наприклад, радіатора – для кращого обдування потоком зустрічного повітря.

Для встановлення частин газогенераторної установки на трактор ДТ-175С немає потреби у серйозних конструктивних змінах самого трактора. Жодна з встановлених частин газогенераторної установки не виступає за габаритні розміри трактора. Частини газогенераторної установки не перешкоджають переміщенню частин та нормальній роботі гідронапівної системи трактора ДТ-175С. Вони також суттєво не зменшують оглядовість через заднє скло кабіни цього трактора

Заміна основного паливного бака трактора на менший не впливає на умови визначеного робочого процесу на суміші частини дизельного палива та газоповітряної складової.

Отримане теоретичне значення сили тяги трактора з двигуном СМД-66 під час роботи на суміші деревного генераторному газу та дизельного пального показує, що сили тяги переобладнаного трактора буде достатньо для проведення комплексу сільськогосподарських робіт із набором знарядь тягового класу 30 кН.

Перспективи встановлення газогенераторних установок на трактори є, в першу чергу, в гусеничних тракторів та енергонасичених колісних тракторів загального призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ємець Б. В. Визначення загальної енергоемності використання автомобілів з газогенераторною установкою в екологічних агротехнологіях. *Вісник ДАУ*. 2005. №1. С. 211- 219.

2. Ємець Б. В. Економіко-технічне обґрунтування роботи трактора на альтернативному паливі. «Інтеграція бізнес-структур: стратегії та технології»: *збірник доповідей III Міжнародної наукової конференції (Грузія, м. Тбілісі, 22 лютого 2019 року)*. Тбілісі : Baltija Publishing, 2019. С. 106-109.

3. Ємець Б. В. Модель ефективності використання транспортних засобів з покращеними техніко-експлуатаційними показниками, які обладнані газогенераторними установками. *Автошляховик України*. 2007. № 4. С. 14-17.

4. Ємець Б. В. Моделювання та покращення паливної економічності автомобілів сільськогосподарського призначення. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 2. С. 268-273. URL : <https://sciencehorizon.com.ua/uk/journals/2-56-2016> (дата звернення 21.10.2025)

5. Ємець Б. В. Покращення показників техніко-експлуатаційних властивостей транспортних засобів з газогенераторними установками: Дис...к-та техн. наук: 05.22.02. Нац. транспорт. ун-т. Київ, 2008. 184 с.

6. Ємець Б. В. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування роботи транспортних засобів на місцевому біодизелі. Бізнес, цифрові інновації та підприємництво: аналіз тенденцій та науково-економічний розвиток : *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції* (Львів, 25 січня 2020 року). Львів : ГО «Львівська економічна фундація», 2020. С. 94-97.

7. Ємець Б. В., Журавський І. В. Економічне обґрунтування використання альтернативного твердого палива для автомобілів. Реформування економіки та фінансової системи країни: глобальні та локальні аспекти : *матеріали доповідей*

Міжнародної науково-практичної конференції (м. Запоріжжя, 5-6 лютого 2021 р.). Запоріжжя : Класичний приватний університет, 2021. С. 97-100.

8. Ємець Б. В., Мельничук С. В., Рудзінський В. В., Ломакін В. О. Моделювання динамічності автомобілів сільськогосподарського призначення під час роботи на альтернативному паливі. *Матеріали ІХ-ої Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту»* (м. Вінниця, 14-15 квітня 2021 р.). Вінниця : ВНТУ, 2021. С. 93-98.

9. Криворот А. І. Поліпшення тягово-швидкісних властивостей і паливної економічності транспортних засобів, що працюють на газогенераторному паливі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02. Київ, 2020. 18 с.

10. Лімонт А. С., Мельник І. І., Маліновський А. С. Практикум із машиновикористання в рослинництві : навч. посіб. за ред. І.І. Мельника. Київ : Кондор, 2004. 284 с.

11. Лось Л. В., Цивенкова Н. М. Проблема енергоносіїв та її вирішення в сільському господарстві України біоенергетичними газогенераторами. *Вісник ДАУ*. 2004. № 2. С. 3-21.

12. Лось Л. В., Ємець Б. В., Шмалюк М. І. Перспективи створення, визначення показників роботи та основних розмірів газогенераторних установок для тракторних двигунів. *Вісник ДАУ*. 2006. № 1. С. 109-121.

13. Маяк М. М., Ємець Б. В., Рябчук О. П. Покращення показників розганяння вантажного автомобіля на генераторному газу. *Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 90-річчю Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету «Сучасні тенденції розвитку автомобільного транспорту та галузевого машинобудування»* (м. Харків, 16-18 вересня 2020 р.). Харків : ХНАДУ, 2020. С. 323-326.

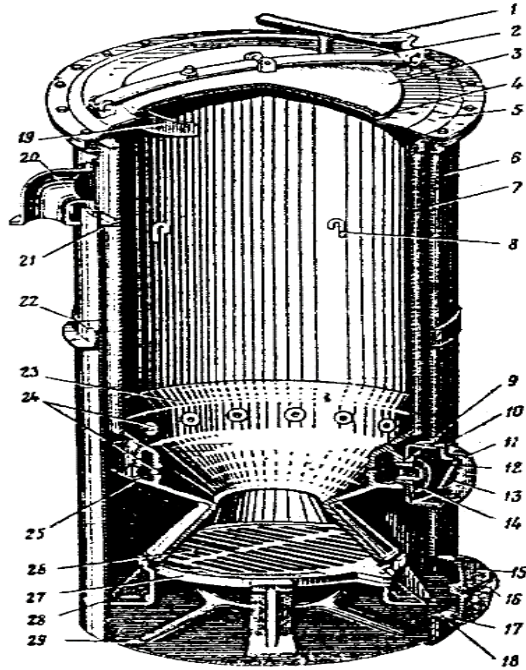
14. Окоча А. І., Вірювка М. І. Альтернативні палива для дизельних двигунів сільськогосподарської техніки (стан і проблеми). *Констр., вир-во та експл. с-г. машин*. 2003. Вип. 33. С. 216-221.

15. Про правовий режим воєнного стану : Закон України від 12 трав. 2015 р. № 389-VIII (поточна редакція – від 14.05.2025, підстава 4391-IX) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text> (дата звернення 24.10.2025).
16. Про регулювання цін на окремі види продовольчих товарів та забезпечення стабільної роботи виробників продовольства в умовах воєнного стану : Постанова Кабінету Міністрів України від 19 черв. 2023 р. № 650-2023-п URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/650-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення 20.09.2025).
17. Рудзінський В. В., Ємець Б. В. Критерії оптимальної експлуатації автомобілів на альтернативних видах палива. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. № 1(13). С. 124-132. URL: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/issue/view/14> (дата звернення 21.10.2025).
18. Сидоренко Р. В. Покращення паливної економічності і зменшення токсичності автомобілів з двигунами, переведеними з бензину на газ : автореф. дис.... к-та техн. наук : 05.22.20. Нац. трансп. ун-т. Київ, 2004. 19 с.
19. Шмалюк М. І., Вознюков В. А., Ємець Б. В., Лось Л. В. Створення сучасного газогенераторного двигуна внутрішнього згоряння для північних районів України – важливий фактор підтримки сільськогосподарського товаровиробника. *Вісник Інженерної академії України*. 2001. № 2. С. 75-77.
20. Яновський В. В. Покращення паливної економічності та екологічних показників конвертованих газових двигунів дорожніх транспортних засобів : автореф. дис... к-та техн. наук: 05.05.03. Нац. трансп. ун-т. Київ, 2004. 18 с.
21. Ємець Б. В., Ємець Л. В. Еколого-економічне та технічне обґрунтування роботи транспортних засобів на місцевих альтернативних видах палива. III International Scientific Conference From the Baltic to the Black Sea: the Formation of Modern Economic Area: Conference Proceedings, August 23th, 2019. Riga, Latvia : Baltija Publishing. P. 92-96.
22. Ємець Б. В., Ломакін В. О., Рябчук О. П., Ємець Л. В. Експертна оцінка та синтез оптимальних критеріїв експлуатації автомобілів на альтернативних видах палива. The 1th International scientific and practical conference «Current issues of

ДОДАТКИ

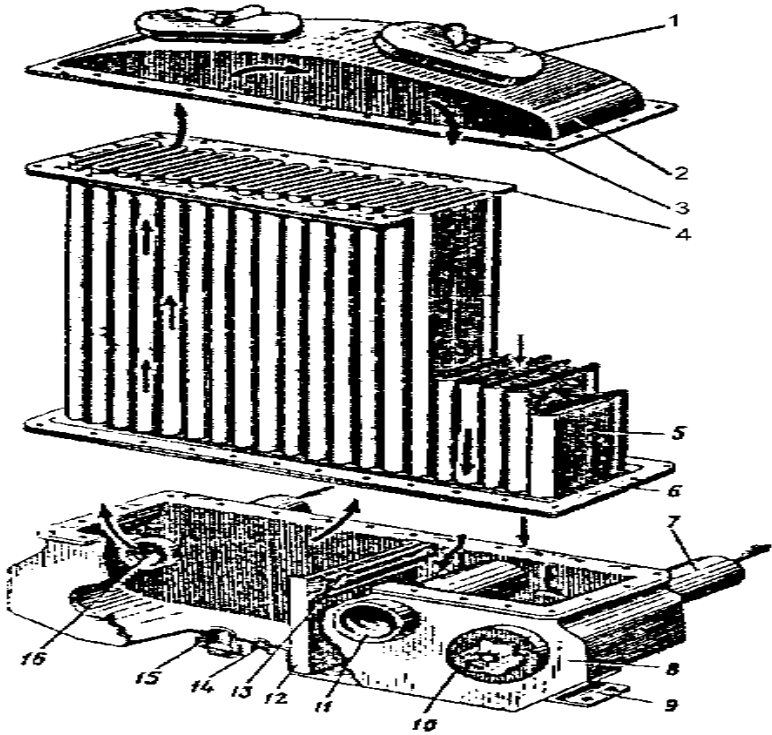
Додаток А

Газогенератор



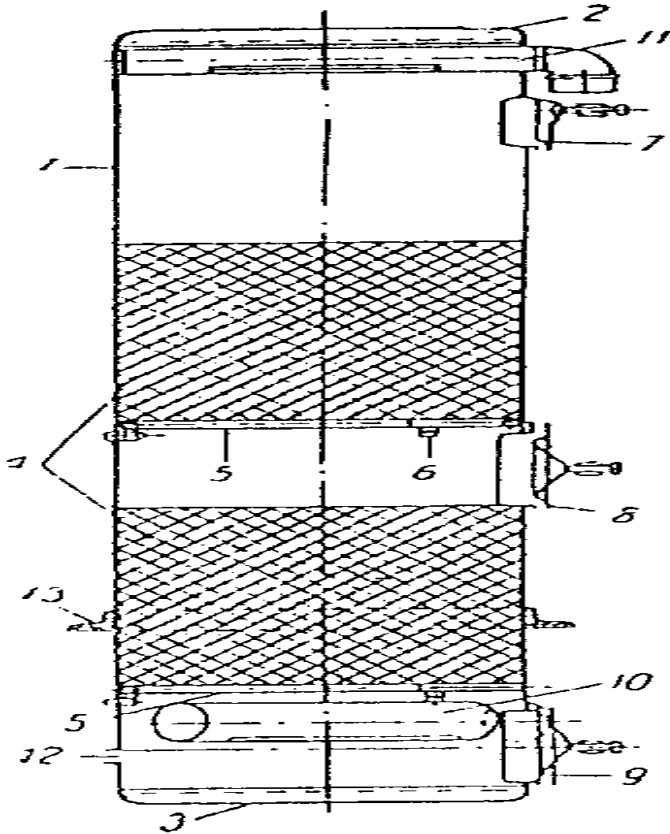
1 - рукоятка кришки; 2 - пружина кришки; 3 - кришка бункера; 4 – прокладка; 5 - горловина бункера; 6 - корпус бункера; 7 - бункер; 8 - гачок; 9 - прокладка футорки, 10 - коробка повітряного клапана; 11 – кришка коробки повітряного клапана; 12 - скоба повітряного клапана; 13 - клапан повітряний; 14 - футорка; 15 - кришка люка для попелу; 16 - траверса кришки люка; 17 - прокладка люка; 18 - палець; 19 - кронштейн; 20 - патрубок; 21 - відбивач газу; 22 - кріпильний пояс генератора; 23-камера горіння; 24 - фурми; 25 - повітряний канал; 26 - колосникова ґратка; 27 - опорне кільце ґратки; 28 - кронштейн колосникової ґратки; 29 - днище генератора.

Охолоджувач радіаторного типу



- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 – кришка; | 9 – кронштейн; |
| 2 – верхній бак; | 10 – кришка; |
| 3 – фланець; | 11 – труба; |
| 4 – верхня опорна пластина; | 12 – перемичка; |
| 5 – трубки охолодження; | 13 – планка; |
| 6 – нижня опорна пластина; | 14 – захисні трубки; |
| 7 – відвідний патрубок; | 15 – пробка зливу конденсату; |
| 8 – нижній бак; | 16 – підвідний патрубок |

Схема тонкого очисника з кільцями:



- 1 – корпус очисника;
- 2 – верхнє днище;
- 3 – нижнє днище;
- 4 – шари кільця;
- 5 – сітка;
- 6 – кріплення сітки;

- 7 – верхній люк;
- 8 – середній люк;
- 9 – нижній люк;
- 10 – труба підведення газу;
- 11 – труба відведення газу;
- 12 – отвір зливу конденсату

Пристрій ІМД-2М для лабораторних досліджень
величини ефективної потужності двигунів



Схема загального вигляду газогенератора натурального зразка

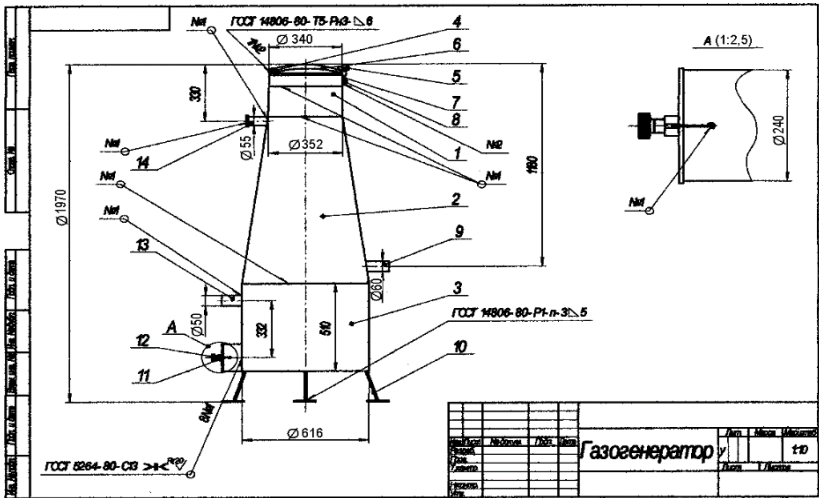
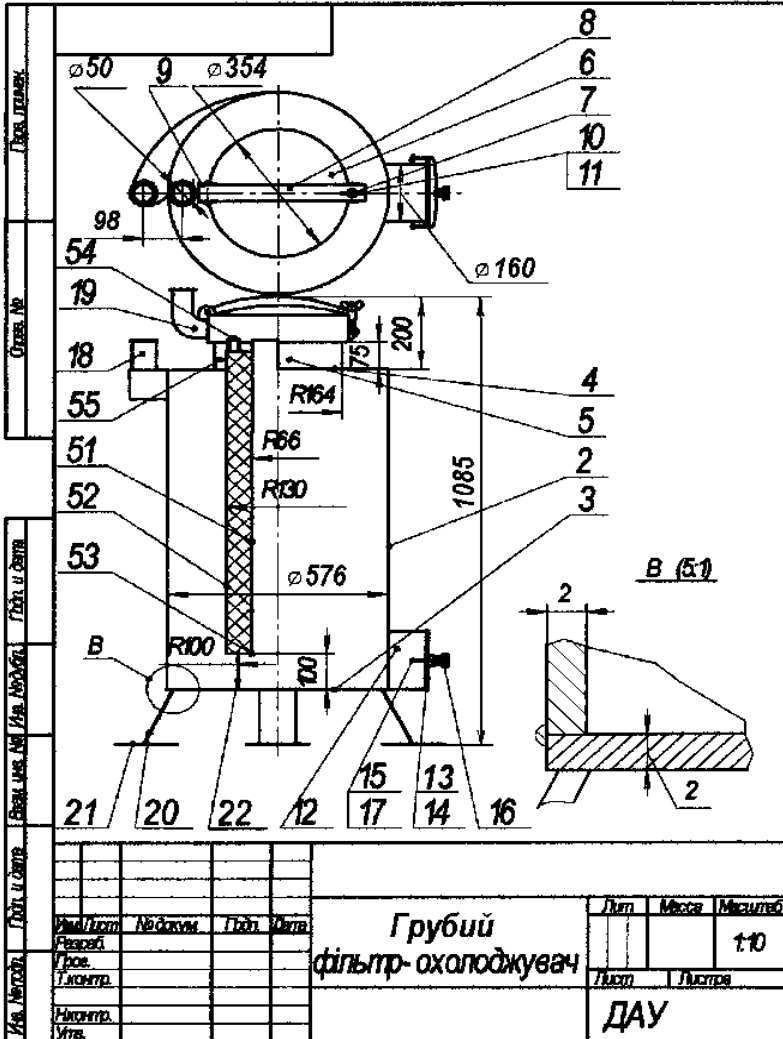


Схема загального вигляду грубого очисника-охолоджувача



Додаток И
Вимірювання температури газу



Додаток К
Установка для роботи двигуна СМД-66
на деревному генераторному газу



Додаток Л

Здобувачі освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира встановлюють установку для роботи двигуна СМД-66 на деревному генераторному газу



Додаток Н

Встановлена система живлення для роботи двигуна СМД-66 на деревному генераторному газу



2.8. Вітовський Максим, здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Дослідження спектральних класів зір. Діаграма Герцшпрунга-Рассела»

Здобувач професійної освіти Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира Вітовський Максим Леонідович за науково-дослідницьку роботу на тему «Дослідження спектральних класів зір. Діаграма Герцшпрунга-Рассела» отримав диплом учасника Конкурсу.

Відділення: фізика та астрономія

Секція: астрономія

Педагогічний керівник: Ковбан Віталій Павлович, викладач фізики та астрономії Професійного коледжу технічних інновацій міста Житомира

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. АСТРОФІЗИЧНА СПЕКТРОСКОПІЯ ТА СПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ В АСТРОНОМІЇ	5
1.1. Спектральні дослідження	5
1.2. Зоряна спектроскопія	6
1.3. Спектроскопія галактик	7
1.4. Про спектри планет та їх супутників	8
1.5. Спектральна класифікація зір	9
1.6. Гарвардська спектральна класифікація	10
1.6.1. Спектральна лінія	11
1.6.2. Безперервний спектр	11
1.6.3. Спектральний клас O	13
1.6.4. Спектральний клас B	14
1.6.5. Спектральний клас A	15
1.6.6. Спектральний клас F	16
1.6.7. Спектральний клас G	16

1.6.8. Спектральний клас К	17
1.6.9. Спектральний клас М	18
1.6.10. Спектральний клас С	20
1.6.11. Спектральний клас S	21
1.7 Йеркська класифікація	26
Висновки до розділу 1	28
РОЗДІЛ 2. ДІАГРАМА ГЕРЦШПРУНГА-РАССЕЛА	30
Висновки до розділу 2	33
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	35
ДОДАТКИ	37

ВСТУП

Актуальність теми дослідження полягає в тому, що вивчення спектральної класифікації зірок і діаграми Герцшпрунга – Рассела є одним із ключових напрямів сучасної астрофізики. Саме ці інструменти дають змогу визначати фізичні параметри зірок, встановлювати їхню еволюційну стадію та простежувати зміни, що відбуваються протягом зоряного життя. У час, коли спостережні технології швидко розвиваються, а обсяг астрономічних даних стрімко зростає, важливо мати систематизовані знання про методи класифікації зірок та їх інтерпретацію. Діаграма Герцшпрунга-Рассела залишається основою для аналізу зоряних популяцій, моделювання еволюції галактик і порівняння даних різних обсерваторій. Тому дослідження взаємозв'язку між спектральними характеристиками зірок та їхнім положенням на діаграмі Г-Р є актуальним, має як наукове, так і практичне значення.

Об'єктом дослідження є спектральна класифікація зірок та діаграма Герцшпрунга - Рассела

Предметом дослідження є фізичні властивості зірок (температура, світність, спектральний клас) та їхнє відображення на діаграмі Герцшпрунга-Рассела.

Метою роботи є проаналізувати взаємозв'язок між спектральною класифікацією зірок і їхнім положенням на діаграмі Герцшпрунга-Рассела.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Розглянути основи спектральної класифікації зірок.
2. Описати будову та принципи інтерпретації діаграми Герцшпрунга-Рассела.
3. Проаналізувати залежність спектрального класу від температури та світності зорі.
4. Визначити місце різних типів зірок на діаграмі та порівняти їхні властивості.
5. Пояснити, як діаграма відображає етапи еволюції зір.

Наукова новизна роботи полягає в узагальненні сучасних підходів до спектральної класифікації зірок та показано їхній взаємозв'язок із фізичними характеристиками зоряних об'єктів; поглиблені аналізи ролі діаграми як інструмента дослідження еволюційних змін у зорях; уточнені особливості розташування окремих типів зірок на діаграмі (залежність їхнього положення від температури, світності та спектрального класу); розкритті значення поєднання спектральної класифікації та Г-Р діаграми для передбачення стадій еволюції зорі.

Практичне значення роботи. Результати дослідження можуть бути використані для якіснішої інтерпретації спостережних даних про зорі, зокрема під час визначення їхнього спектрального класу, температури та світності. Напрацьовані матеріали придатні для застосування в навчальному процесі під час вивчення тем з астрономії та астрофізики. Систематизація знань про діаграму Герцшпрунга – Рассела сприяє точнішому моделюванню етапів еволюції зір у наукових і навчальних дослідженнях.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел налічує 12 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АСТРОФІЗИЧНА СПЕКТРОСКОПІЯ ТА СПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ В АСТРОНОМІЇ

1.1. Спектральні дослідження

Спектральний аналіз – це сукупність методів дослідження фізичних властивостей та хімічного складу об'єкта. Він ґрунтується на вивченні властивостей його випромінювання, зокрема, світла. Атоми кожного хімічного елемента мають певні резонансні частоти, на яких вони випромінюють або поглинають світло. Унаслідок цього в спектрографі на спектрі з'являються лінії у строго визначених положеннях, характерних для кожного атома чи молекули. Інтенсивність та профіль ліній залежать від кількості і стану речовини, тиску, температури, великомасштабних і турбулентних рухів, магнітних полів та інших чинників. У кількісному спектральному аналізі визначають вміст досліджуваної речовини за інтенсивністю ліній або смуг в спектрах. Термін «спектр» уживають у історичному значенні як розподіл потоку випромінювання залежно від довжини хвилі, частоти або енергії фотонів [4].

В оптичних спектрах кількісно описуються функції, що задають залежність інтенсивності випромінювання від його довжини хвилі або, що еквівалентно, від частоти. Світло від небесного тіла, зібране телескопом, аналізують за допомогою спектральних апаратів – спектроскопів, спектрографів, спектрометрів. Основою спектрального апарата є диспергувальний елемент: призма, дифракційна ґратка, інтерферометр чи інші пристрої, що забезпечують розкладання білого світла за частотами або довжинами хвиль. Схему астрономічного спектрографа представлено у додатку А.

Щілина спектрографа вирізає певну ділянку зображення об'єкта, наприклад, галактики або зірки. У додатку А верхнє дзеркало виконує роль коліматора: воно перетворює розбіжний пучок світла від щілини на паралельний, який падає на ґратку. Дифракційна ґратка розкладає світловий потік за довжинами хвиль, а нижнє дзеркало будує зображення вхідної щілини у вузьких монохроматичних ділянках спектра на приймачі зображення (ПЗЗ камера). Отриманий спектр джерела аналізується за допомогою комп'ютера. У додатку Б наведено фотографію астрономічного спектрографа.

Спектрограф МАЕСТРО встановлений на телескопі в обсерваторії Тарскол на Північному Кавказі.

1.2. Зоряна спектроскопія

Температура поверхні зорі-фотосфери – визначає її спектральні особливості. Існуючі спектральні класифікації були створені за виглядом спектра, однак саме температура фотосфери є головним параметром, а послідовність спектральних класів тісно пов'язана з температурою зір. Найгарячіші зорі належать до класу O, наступні – холодніші – до класу B, далі йдуть A, F, G, K, і, нарешті, найхолодніші до класу M. Усім відомий Сіріус - відносно гаряча зірка спектрального класу A з температурою близько 10 000 K. Зорі цього класу мають найсильніші водневі лінії у своїх спектрах. У додатку В зображено спектр Сіріуса в синій ділянці, поблизу 4000 Å. У спектрі добре помітна серія глибоких ліній поглинання, що належать атомам водню. Ця серія ліній, яка спостерігається в оптичному діапазоні та формується під час переходів атома водню з другого енергетичного рівня, називається серією Бальмера – на честь французького вчителя, який першим запропонував емпіричну формулу для визначення довжин хвиль цих ліній.

Вгорі – схема квантових переходів атома водню. На фото: світла смужка посередині – спектр Сіріуса з лініями поглинання водню, вгорі і внизу – емісійний спектр лабораторної розрядної лампи для калібрування довжин хвиль. Лінії поглинання водню (справа наліво): H α , H β , H γ , тощо.

На іншому кінці шкали – холодні зірки класу M з температурами близько 3,5 тисячі кельвінів (CG Великої Ведмедиці, SQ Дракона та інші, Додаток Г). Їхній континуум в ультрафіолеті дуже слабкий через низьку температуру й майже зникає внаслідок великої кількості ліній та смуг поглинання. Ці смуги належать молекулам, які можуть існувати в атмосфері таких холодних зір. Однією з найхарактерніших є молекула – TiO (оксид титану).

У додатку Д подано спектри зірок Дельта Скорпіона, Альфа і Бета Ліри, Р Лебеда і Гамма Кассіопеї. У спектрах добре видно емісійні лінії гелію та водню. Спектр Альфа Ліри наведено для порівняння – спектр Веги містить лише лінії поглинання. Емісійні лінії виникають у потужних гарячих оболонках навколо зір. У спектрах також можна бачити лінії поглинання кисню та водяної пари, що належать земній атмосфері; «a» band та LB band В є характерними атмосферними смугами поглинання в червоній

частині спектра.

Вагомий внесок у розвиток зоряної спектроскопії та дослідження фізики зоряних атмосфер зробили Маргарита Ак, Струве та Швейн (Додаток Т).

1.3. Спектроскопія галактик

Коли ми розглядаємо спектр галактики, насправді спостерігаємо поєднання спектрів мільйонів зір, що входять до її складу. Знімок галактики М51, отриманий на космічному телескопі Хаббла представлений у Додатку Е. На фото добре видно червоні туманні області, які зосереджені переважно в спіральних рукавах галактики. Це так звані області НІІ – сферичні «оболонки» іонізованого водню навколо масивних гарячих зір. Червоний колір зумовлюється емісією $H\alpha$, яка виникає під час рекомбінації протонів і електронів в іонізованій хмарі. В областях НІІ формуються молоді зорі, тому в їхніх спектрах, окрім водневих емісійних ліній, з'являються також лінії іонізованих азоту, кисню, сірки та інших елементів.

Розглянемо зображення і спектри двох різних галактик (дані запозичено з бази даних Sloan Digital Sky Server (SDSS) (Додатки Ж, И та К, Л).

У спектрі виразно видно емісійні лінії водню, іонізованого кисню і азоту. І спектр, і зображення галактики свідчать про бурхливий процес утворення молодих гарячих зірок.

У спектрі галактики SDSS J011909.05-004552.0 (Додаток Л) можна побачити одну слабку емісійну лінію водню ($H\alpha$). Інші лінії бальмерівської серії водню спостерігаються як лінії поглинання. Можна також бачити сильні лінії поглинання магнію, натрію, іонізованого кальцію. Це свідчить про наявність холодного міжзоряного газу в галактиці. І спектр, і зовнішній вигляд галактики свідчать про те, що процеси утворення молодих гарячих зірок в цій галактиці давно закінчилися.

1.4. Про спектри планет та їх супутників

Планети та їх супутники – це не самосвітні тіла. Проте при відбиванні їхніми поверхнями та атмосферами сонячного світла його спектр змінюється, тому за спектром відбитого світла можна

визначити хімічний склад атмосфери, якщо вона, а також дізнатися про мінеральний склад твердої поверхні. Наприклад, слабка широка смуга поглинання в місячних спектрах у ділянці близько 1,2 мкм вказує на наявність мінеральних піроксенів. У спектрах Марса спостерігаються ознаки оксидів заліза, які визначають червоний колір цієї планети. Абсорбційна смуга близько 2 мкм у марсіанському спектрі вказує на наявність вуглекислого газу в атмосфері Марса.

У спектрах Юпітера і Сатурна переважають сильні смуги поглинання метану. Спектри Урана і Нептуна також демонструють групи сильних смуг поглинання метану. У спектрах супутників Юпітера – Європи, Ганімеда та Калісто – домінують смуги поглинання води та льоду. Проте ці спектри вказують на наявність домішок у льоду. Супутник Європа має найбільшу частку льоду, далі йдуть Ганімед і Калісто. Більшість супутників Сатурна мають спектри, подібні до спектру Ганімеда, проте лід там виглядає більш чистим і, ймовірно, складається з великих кристалічних зерен. У спектрі Плутона спостерігаються сильні абсорбційні смуги льодів і метану.

Космічний апарат «Кассіні» пролетів поблизу Юпітера 31 грудня 2000 року. Він провів детальні дослідження Юпітера і його супутників, зокрема вимірював варіації коефіцієнта відбивання атмосфери Юпітера на різних широтах. Це дозволило виконати спектроскопічну ідентифікацію яскравих і темних зон в атмосфері планети. На спектрах виразно видно широкі смуги поглинання метану (CH_4) (Додаток М).

1.5. Спектральна класифікація зір

Спосіб класифікації зір в астрономії ґрунтується на аналізі їхніх спектральних характеристик. Загалом спектральний клас зорі містить інформацію про фізичні умови в її атмосфері, де формується спектр. Фізичні умови включають ефективну температуру, тиск випромінювання, поверхневу гравітацію та швидкість осевого обертання, що визначають розподіл потоку випромінювання за довжиною хвилі й визначають стан іонізації та збудження енергетичних рівнів хімічних елементів, лінії яких дають основний внесок до спектру зорі.

Застосовуючи спектрограф, потік випромінювання зір

розкладають у спектр за допомогою дифракційної ґратки або решіткової системи, а його інтенсивність вимірюють за допомогою ПЗЗ (прилад із зарядовим зв'язком) матриці. Спектр зорі залежно від фізичних умов може мати як лінії поглинання, так і емісійні лінії, що відповідають дозволеним переходам між збудженими енергетичними рівнями атомів та їх іонів. З аналізу цих спектральних ліній можна отримати дані щодо вмісту атомів та іонів хімічних елементів, ефективної температури, поверхневої гравітації та ін. Тому наявність чи відсутність певних спектральних ліній одразу дає інформацію щодо приблизної ефективної температури, що покладено в основу спектральної класифікації. Відомо, що максимум потоку випромінювання від зорі локалізується в певному діапазоні довжин хвиль, який залежить від ефективної температури (закон зсуву Віна). Відповідно, зорі різних спектральних класів мають різну ефективну температуру й різний візуальний колір: від яскраво-блакитного (гарячі зорі з $T_{\text{eff}} = 60\,000\text{-}50\,000\text{ K}$) до темно-червоного (холодні зорі з $T_{\text{eff}} = 3\,000\text{-}1000\text{ }^\circ\text{K}$).

1.6. Гарвардська спектральна класифікація

Сучасна Гарвардська спектральна класифікація зірок, розроблена в Гарвардській обсерваторії в 1890-1924 роках, є температурною класифікацією, заснованою на вигляді та відносній інтенсивності ліній поглинання й випромінювання в спектрах зірок.

Спектральна класифікація зірок виконує важливу роль у зоряній астрономії та астрофізиці. Якісний опис спостережуваного спектра дає змогу оцінити ключові астрофізичні параметри зірки, такі як ефективна температура її поверхні, світність і, в окремих випадках, особливості хімічного складу. Часто на основі цих даних можна визначити еволюційний стан зірки. Спектральна класифікація, виконана за спектрограмами помірної дисперсії, зазвичай дає досить точні результати подальшого аналізу спектру. Спектральні класи та критерії спектральної класифікації, а також критерії світності, відповідають системі МКК. Нагадаємо, що послідовність спектральних класів O-B-A-F-G-K-M відповідає температурній послідовності – від зірок з найбільш гарячою поверхнею (у зірок

класу O) до найбільш холодних (M). Ця послідовність доповнюється окремими типами холодних зірок зі смугами оксидів металів в спектрі (C, S). Послідовність класів світності в системі МКК (від класу світності IaO або Ia + для найяскравіших надгігантів до класу VI для субкарликів) відповідає послідовності збільшення газового тиску на поверхні зірки, від зірок з найменшим тиском (надгіганти) до зірок головної послідовності, що мають найбільший тиск на поверхні серед нормальних зірок, якщо не враховувати білих карликів.

1.6.1. Спектральна лінія

Найбільш дивовижними структурами, що спостерігаються у спектрах зірок, є спектральні лінії. Вони несуть багату інформацію про фізико-хімічні характеристики зірок і формують основу спектральної класифікації. Спектральна лінія характеризується такими величинами: довжиною хвилі або частотою випромінювання, максимальною інтенсивністю чи глибиною, еквівалентною шириною W , а також напівшириною на певному фіксованому рівні інтенсивності. Залишкова інтенсивність – це відношення потоку випромінювання в самій лінії до потоку в сусідній ділянці безперервного спектру. Чим більше енергії поглинається в лінії, тим меншою є залишкова інтенсивність. Глибиною лінії називається величина $(1-\tau)$, вона тим більша, чим сильніше відбувається поглинання в лінії. Еквівалентна ширина лінії - це площа, яку закриває лінія на графіку залишкових інтенсивностей, інакше кажучи, це площа під профілем лінії, де профіль відображає зміну глибини лінії залежно від довжини хвилі. Однакову еквівалентну ширину можуть мати як глибока, але вузька лінія, так і неглибока, але широка. Центральну частину профілю лінії зазвичай називають ядром, а бічні частини - крилами. Характеристики спектральної лінії залежать від багатьох фізичних чинників, вони визначають, які лінії проявляються у спектрі певної зірки, що й лежить в основі спектральної класифікації.

1.6.2. Безперервний спектр

Класифікація зоряних спектрів ґрунтується головним

чином на візуальних оцінках інтенсивностей спектральних ліній і смуг. Проте важливу роль відіграє й розподіл енергії в безперервному спектрі (континуумі), який залежить від температури поверхневих шарів зірки. Безперервний спектр можна визначити як розподіл енергії, що утворюється під час переходів, у назвах яких присутні слова «вільно», «вільно-зв'язано» та «вільно-вільно». Такі переходи зумовлюють суцільне, а не лінійчасте випромінювання. Зв'язано-вільні переходи породжують стрибки у розподілі енергії, такі як добре відомий бальмерівський стрибок у ближній ультрафіолетовій області спектра. Зв'язано-зв'язані переходи між енергетичними рівнями атомів формують спектральні лінії. Випромінювання з глибших підфотосферних шарів зірки не виходить назовні через швидке зростання непрозорості речовини зірки з глибиною. У першому наближенні випромінювання фотосфери можна вважати рівноважним і описати за допомогою законів випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою, яку прийнято називати ефективною та позначати T_{eff} . Ця величина безпосередньо пов'язана зі світністю зірки L . Значення світності, поділене на площу поверхні зірки, дає повну кількість енергії, що випромінюється з одиниці поверхні зірки за одиницю часу. Відповідно до закону Стефана-Больцмана ця енергія пропорційна четвертому степеню ефективної температури. Величина T_{eff} в основному визначає розподіл енергії в безперервному спектрі, зокрема положення максимуму цього розподілу. Так, при $T_{\text{eff}} = 5000\text{--}6000\text{ K}$ максимум інтенсивності випромінювання припадає на видиму частину спектра.

У спектрах зірок спектрального класу F та пізніших через велику кількість спектральних ліній поглинання розподіл енергії сильно порушується. Тільки при великих дисперсіях і на спектральних знімках високої роздільної здатності можна виділити ділянки континууму, вільні від молекулярних смуг. При використанні кількісної спектральної класифікації, що ґрунтується на вимірах еквівалентних ширин спектральних ліній, виявляється необхідним враховувати безперервний спектр.

Під спектрами нормальних зірок розуміють спектри тих зірок, які найбільш розповсюджені. За Гарвардською класифікацією вони поділяються на класи O-B-A-F-G-K-M-C-S.

Порівняльна таблиця зображена в Додатку Н.

1.6.3. Спектральний клас О

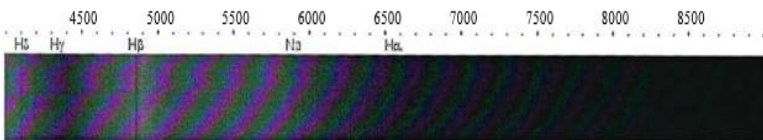
Зірки спектрального класу О (підкласи від О3 до О9,5) мають найвищу ефективну температуру поверхні серед нормальних зірок ($T_{\text{eff}} = 25000\text{K}$ для підкласу О9 і велику для більш раних підкласів) і переважно випромінюють в УФ-діапазоні. Через високу температуру поверхні в розглянутій області спектра спостерігаються лінії високоіонізованих елементів, а також сильні лінії іонізованого і нейтрального гелію. Самі «ранні» з відомих зірок відносяться до спектрального підкласу О3.

Основним критерієм визначення спектрального класу в цьому випадку є температура, яка оцінюється за співвідношенням інтенсивностей спектральних ліній HeII-4471Å / HeII-4541Å. У зірок підкласу О3 лінія HeII - 4471Å практично відсутня. При переході від підкласу О3 до підкласу О9 лінія HeII-4471Å посилюється, тоді як лінія HeII-4541Å слабшає. Інтенсивність ліній HeII-4200Å і HeII-4686Å також зменшується зі зниженням температури поверхні зірки, і в підкласу О9.5 лінія HeII-4200Å стає дуже слабкою.

Для найраніших підкласів класифікація за інтенсивністю ліній ускладнена. Варто відзначити, що найяскравіші надгіганти класу О можуть мати позначення типу О9Ia-0 або О9Ia +. До зірок спектрального класу О відносяться такі візуально яскраві зірки, як Ксі Персея (клас О7), Лямбда Оріона (О8), Дзета Оріона (О9.5Ib), Іота Оріона та Сигма Оріона (О9,5V). До цього спектрального класу відноситься також зірка з найбільшою відомою нам світністю в Галактиці. Це зірка HD93129Å, що має абсолютну зоряну величину -11,5m.

Рис. 1.6.1.

Спектр випромінювання



1.6.4. Спектральний клас В

У всіх підкласах цього спектрального класу водневі лінії є найяскравішими, і їхня інтенсивність зростає зі зниженням температури поверхні зірки. Тобто, при переході від підкласу В0 до більш пізніх підкласів добре помітні лінії гелію, які стають дедалі слабшими зі спаданням температури, при цьому інтенсивність ліній нейтрального гелію HeI досягає максимуму у підкласу В2.

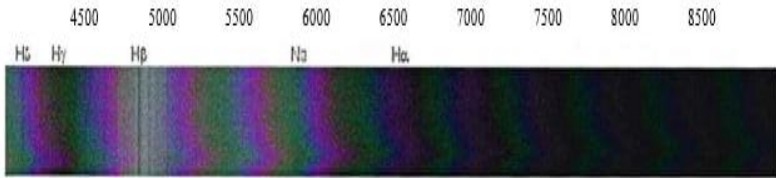
Спектр зірки класу В у жовто-червоній області довжин хвиль менш насичений лініями, ніж у блакитній області. У спектрах зірок цього спектрального класу з'являється натрієвий дублет NaI (D1-D2), який посилюється при переході до більш пізніх підкласів. Найсильнішими лініями залишаються лінії водню H-альфа та гелію HeI-5876Å. У каталогах спектральний клас може позначатися як В5n, В9n або В2 (n). Таке позначення введено для виділення зірок із лініями, які різною мірою розширені через швидке обертання зірки. Можуть зустрітися позначення, що містять символ «e», наприклад В2Ve, який вказує на наявність емісії, переважно в водневих лініях.

Більшість емісійних В-зірок належить до класів світності V і IV. Не у всіх емісійних зірок емісія у спектрі не завжди присутня постійно. Прикладом зірки зі змінною емісією в спектрі є найяскравіша зірка розсіяного скупчення Плеяди - Плейона. Зірки, оточені газовими оболонками, можуть мати позначення В-shell, в спектрах таких зірок з'являються емісійні лінії, характерні для газових туманностей.

Особливо виділяються підтипи В-зірок гало Галактики – субкарлики sdB, які мають понижений вміст металів в атмосферах. Вони, ймовірно, належать до зірок блакитного краю горизонтальної гілки на діаграмі Герцшпрунга-Рассела. До даного спектрального класу належить багато яскравих зірок Північного неба. Наприклад, це Епсилон Персея (В0.5V), Альфа Діви (ВIV), Бета Малого Пса (В7V), Гамма Пегаса (В2IV), Бета Цефея (В2III), Дельта Персея (В2III), Бета Великого Пса (ВIII), Бета Орiona (В8Ia) та інші.

Рис.1.6.2.

Спектр випромінювання



1.6.5. Спектральний клас А

У спектрах зір цього спектрального класу домінують лінії водню серії Бальмера, лінії інших елементів істотно слабші, хоча їхня інтенсивність зростає при переході від підкласу А0 до підкласу А9. У гігантів та надгігантів водневі лінії серії Бальмера стають слабшими, ніж у зір головної послідовності, тоді як лінії важких елементів помітно посилюються. Спектр у червоній області, як і в інших спектральних класах, менш насичений лініями металів, ніж у синьо-зеленій області довжин хвиль. У спектрах таких зір спостерігається дуже сильна лінія H α , помітні лінії щільних металів, а натрієвий дублет D1-D2, добре виділяється. У пізніших спектральних підкласах посилюються також лінії інших металів.

Серед зірок цього спектрального класу зустрічається багато пекулярних об'єктів, що значно ускладнює їх спектральну класифікацію. Виділяються рідкісні зірки типу Лямбда Волопаса, у спектрах яких лінії металів ослаблені порівняно з водневими лініями, але за фізичними властивостями вони не відрізняються від нормальних А-зірок поблизу Сонця.

До спектрального класу А відносяться такі візуально яскраві зірки, як Альфа Північної Корони і Гамма Великої Ведмедиці (A0V), Альфа Близнюків і Бета Великої Ведмедиці (A1V), Дельта Кассіопеї і Бета Візничого (A2V), Бета Лева (A3V), Гамма Близнюків (A0IV), Бета Еридана (A3III), Альфа Змієносця (A5III), Гамма Волопаса (A7III), Дзета Лева (A0Ib), Альфа Лебедя (A2Ia).

1.6.6. Спектральний клас F

Найпомітнішими лініями в спектрах зірок цього спектрального класу є лінії H і K іонізованого кальцію CaII і лінії водневої серії Бальмера. Лінії H і K є найсильнішими для всіх підкласів цього класу, тоді як водневі лінії слабшають зі зменшенням температури поверхні зірок, і у пізніх підкласів цього спектрального класу вони вже не виділяються серед ліній важких елементів.

Серед F-зірок вирізняються хімічно пекулярні зірки класу Fm, які з боку нижчих температур примикають до пекулярних зір типу Am. Ще один тип пекулярних зірок - змінні типу Дельта Щита. Це гіганти (клас світності III), що мають ослаблені лінії іонізованого кальцію. Спектральний клас F мають такі візуально яскраві зірки Північного неба, як Альфа Персея (F5Ib), Альфа Малої Ведмедиці і Гамма Лебеда (F8Ib), Бета Кассіопеї (F2II), Гамма Близнюків і Дельта Орла (F0IV), Альфа Малого Пса (F5IV), Бета Діви (F8V).

1.6.7. Спектральний клас G

До цього спектрального класу відноситься наше Сонце (G2V). Найбільш яскравими лініями в спектрах зірок цього спектрального класу є лінії H і K CaII. Наступною за інтенсивністю є лінія CaI-4226Å. Водневі лінії, на відміну від більш ранніх спектральних класів, слабкі, і не виділяються серед ліній важких елементів, причому продовжують послаблюватися при переході від підкласу G0 до пізніших підкласів. Смуга G (скупчення ліній важких елементів, в основному заліза і іонізованого титану) добре помітна.

Спектр зірки класу G в жовто-червоній області довжин хвиль менш насичений лініями, ніж у блакитній області. Найбільш яскравими лініями є лінії H α , MgI-5167-5184Å (носить спеціальне позначення h), CaI-6362Å і натрієвий дублет NaI D1-D2. Відзначимо, що спектр в зеленій області (там, де розташована лінія H β) менш насичений лініями металів. Це використовують у зоряній фотометрії при виборі смуги пропускання, оскільки у цій області менше впливу хімічного складу атмосфери зорі. Наприклад, такою смугою є смуга V фотометричної системи

UBV.

Даний спектральний клас мають наступні візуально яскраві зірки Північного неба – це Альфа Водолія (G2Ib), Бета Водолія (G0Ib), Бета Дракона (G2II), Альфа Візничого (G8III), Гамма Персея (G8III), Дзета Волопаса (G0IV), Дзета Кассіопеї (G0V)

1.6.8. Спектральний клас К

Жовті та червоні зірки, найчисленніші серед тих, що видно на небі неозброєним оком, належать до спектрального класу К. У спектрах зірок цього спектрального класу дуже сильні і широкі лінії H і K CaII, причому в ядрах цих ліній є емісійна компонента, сильна, але вузька порівняно з самою лінією поглинання. Інтенсивність емісійної компоненти пов'язана зі світністю зірки, що використовується для визначення абсолютних зоряних величин. Добре помітна смуга G, що представляє собою скупчення ліній важких елементів – нейтрального заліза та йонізованого титану TiII.

Проте у пізніших підкласах ця смуга розпадається, оскільки температура поверхні зір стає занадто низькою для збудження ліній йонізованого титану. У спектрах пізніх зір у видимій ділянці з'являються смуги молекули CN. Інтенсивність смуг ціану CN на довжинах хвиль 4150Å і 4216Å є добрим індикатором вмісту важких елементів. Тому для пізніх зір спектральна класифікація може поєднувати традиційну температурну шкалу з оцінкою металевості, що дозволяє класифікувати зорі за вмістом металів.

Зірки зі сильною лінією BaII-4554Å виділяються як «барієві». У спектрах таких зірок також добре помітні лінії інших важких елементів, зокрема цирконію 4077Å і 4216Å. Слід зазначити, що через значне посилення цих спектральних ліній пряме застосування описаних вище критеріїв дає завищене значення світності.

Ймовірно, всі барієві зорі є компонентами тісних подвійних систем, при цьому у більшості випадків другий компонент – білий карлик. Через це подвійність зазвичай проявляється фотометрично лише як невеликий надлишок у ультрафіолетовій області. «Барієва» пекулярність зорі виникає

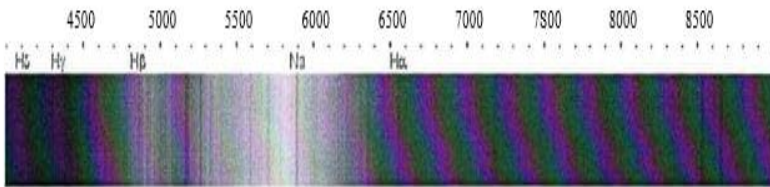
внаслідок переносу речовини, збагаченої продуктами ядерних реакцій, з одного компонента подвійної системи на інший.

Максимум розподілу енергії в спектрах зірок класу К перебуває в червоній області оптичного інтервалу довжин хвиль. Бальмерівський стрибок у спектрах таких зір практично не виділяється через слабкість водневих ліній. Розподіл енергії сильно спотворений скупченнями ліній металів, а в пізніших підкласах цього спектрального класу додатково проявляється сильне поглинання в широких молекулярних смугах оксидів титану.

Серед візуально яскравих зір багато гігантів спектрального класу К. Це, наприклад, Епсилон Пегаса (K2Ib), Бета Лебедя (K5II), Гамма Орла і Гамма Андромеди (K3II), Альфа Кассіопеї, Альфа Великої Ведмедиці і Епсилон Волопаса (K0II-III), Альфа Єдинорога, Бета Близнюків і Гамма Лева (K0III), Бета Кита (K1III), Альфа Волопаса (K2III) та ін.

Рис.1.6.3.

Спектр випромінювання



1.6.9. Спектральний клас М

Найбільш червоні зірки належать до спектрального класу М та до вуглецевих спектральних класів С і S. Червоний колір таких зірок пояснюється низькою ефективною температурою їхньої поверхні, яка становить приблизно 2500-3000 К.

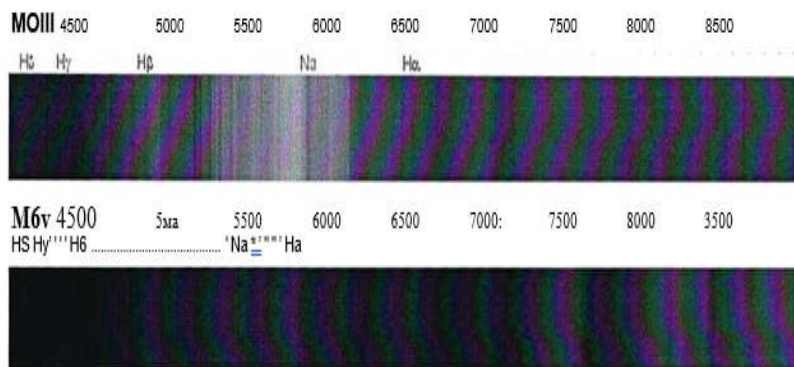
Спектри зірок цього спектрального класу характеризуються дуже сильною лінією CaI-4226A і наявністю молекулярних смуг оксидів металів. Дуже сильні і широкі лінії поглинання H і K CaII, причому вони містять вузьку, але інтенсивну емісійну компоненту в ядрі лінії, що утворюється в хромосфері цих зірок. Спектральний підклас зір класу М визначають за інтенсивністю смуг TiO, VO та CO у видимій

частині спектра, зокрема в зеленій області. Інтенсивність цих смуг посилюється зі зниженням температури поверхні зорі.

Крім того, лінії нейтрального заліза FeI слабшають зі зниженням температури поверхні, тоді як лінії TiI, CaI і SrI стають сильнішими. Дублет ліній калію KI, розташований по обидва боки від лінії FeI-4045Å і який на спектрограмах низької дисперсії зливається з нею, також посилюється зі зниженням температури поверхні зорі.

Рис.1.6.4.

Спектр випромінювання



Цікаво, що у пізніших підкласів спектрального класу M поглинання у смугах титану TiO у зеленій області настільки сильне, що розподіл енергії в спектрі цих зір нагадує спектр гарячіших зір. Це явище проявляється, зокрема, на фотометричних діаграмах колір-колір і колір-світність. У гігантів класу M лінія CaI-4226Å показує істотний негативний ефект світності – вона слабша у надгігантів. Також світність проявляється через стрибок інтенсивності спектра на кордоні смуги CN у 4215Å, проте у зір з меншою світністю цей ефект виражений слабше. Цікаво відзначити, що у M-зірок головної послідовності спостерігається емісія в водневих лініях, причому інтенсивність емісії пов'язана з віком зірки.

Спектральний клас M мають такі візуально яскраві зірки північного неба, як Бета Андромеди і Альфа Лисички (M0III), Альфа Кита і Лямбда Водолія (M2III), Бета Пегаса (M2II-III) та ін.

1.6.10. Спектральний клас С

Це клас червоних зірок з зеленими смугами вуглецевих молекул у спектрі. Він поділяється на підкласи C0-C9. Підкласу C0 відповідає по температурі підкласу G5 нормальних зірок. Так як вуглецеві зірки мають низьку температуру поверхні, їх спектральна класифікація зазвичай проводиться у червоній області спектра. Раніше (у Гарвардській класифікаційній схемі) замість класу С використовували класи R і N з підрозділами на R0, R3, R5, R8 і Na, Nb і Nc.

Виділення класів R і N досі зустрічається при проведенні спостережень з об'єктивною призмою з дуже низькою дисперсією. Зірки класу N подібні зіркам класу R, але у них спостерігається сильніша депресія у фіолетовій області спектра, що викликається сильним поглинанням світла в молекулярних смугах. Зірки пізніх підкласів R і N не завжди вдається розрізнити, що іноді призводило до плутанини і послужило причиною відмови від такої схеми і викликало запровадження єдиного класу С.

Для спектрів всіх вуглецевих зірок характерні смуги поглинання молекулярного вуглецю (у тому числі смуг C12-03, що відіграють велику роль при вивченні ізотопного складу зоряної речовини), молекул CH і CN. У спектрах пізніших підкласів спостерігаються смуги поглинання молекул HCN і C₂H₂ (в інфрачервоній області спектра).

В окремий підтип класу С виділяються так звані CH-зірки, у яких посилені смуги молекули CH, а інтенсивності ліній нейтральних металів дещо зменшені порівняно з нормальними вуглецевими зорями. Також виділяються зірки з недоліком водню, що проявляється в ослабленні смуг CH, або навіть їх повній відсутності. Останнє супроводжується істотним ослабленням водневих ліній і посиленням смуг молекулярного вуглецю і ціану. У деяких С-зірок втрата маси з багатою вуглецем атмосфери призводить до утворення молекул SiC₂, які проявляють себе, утворюючи смуги у довжин хвиль 4640А, 4866А, 4905А, 4977А та ін. Багато вуглецевих зір є довгоперіодичними змінними типу Міра та Кита (MIPID).

1.6.11. Спектральний клас S

Спектральний клас зустрічається переважно серед червоних гігантів і рідко серед розсіяних гігантів. На відміну від спектрів зір класу M, у них відсутні або слабкі смуги молекули TiO. У спектрах таких зір зустрічаються лінії нестійких хімічних елементів, але особливо характерні смуги оксидів важких елементів, утворених у процесі повільного захоплення нейтронів ядрами (s-процес). Це смуги ZrO, ScO, YO і LaO. Саме смуги ZrO і LaO найяскравіше сигналізують про приналежність зірки до класу S.

В даний час відомо близько 700 зірок цього класу. S-зірки поділяються на дві групи, «внутрішні» і «зовнішні», згідно причин виникнення особливостей спектра. У першу включають зірки, в спектрах яких є лінії нестабільного елемента Tc. Зазвичай такі зірки є змінними типу Міра та Кита, на діаграмі Герцшпрунга-Рассела вони лежать на асимптотичній галузі гігантів.

У процесі еволюції червоні гіганти проходять послідовність спектральних класів M-S-C, тобто M-зірки на короткий час перетворюються на S-зірки, а потім – у вуглецеві. До другої групи відносять зірки, що не мають ліній Tc в спектрі і не показують змін блиску. Ймовірно, зірки цієї групи є членами тісних подвійних систем, другий компонент яких – білий карлик. Вони за своїми характеристиками близькі до симбіотичних зірок. З боку низьких температур зірки цього типу примикають до Барієвих зір, принаймні через причини, що зумовлюють специфічні особливості їхнього спектра.

Зустрічаються зірки проміжного типу між M і S, тому іноді вводять більш детальну послідовність M-MS-S-SC-C. Це, ймовірно, відображає поступове зростання вмісту вуглецю відносно кисню в атмосфері зір. Зірки типу SC іноді позначають як CS. У їхніх спектрах, окрім смуг ZrO, з'являються смуги молекулярного вуглецю і сильні смуги CN, що призводить до значного поглинання в області ліній NaI D1-D2.

До пекулярних зазвичай відносять зірки, спектри яких не вкладаються в температурну послідовність O-B-A-F-G-K-M. Часто це зорі, що перебувають на певних еволюційних стадіях нормальних зір, наприклад, зорі Вольфа-Райє та білі карлики.

Інколи пекулярні спектри характерні для зір, які не є типовими для найближчих околиць Сонця. Зорі з низьким вмістом металів, так звані «бідні металами», зустрічаються серед зір Кульових скупчень та гало Галактики. Зокрема, до зірок із пекулярними спектрами належать зірки з аномаліями хімічного складу, що проявляється у посиленні або ослабленні спектральних ліній окремих елементів або смуг їхніх молекул. Типи пекулярних спектрів досить численні. Тут ми розглядаємо спектри лише декількох класів таких об'єктів, у яких спектральні відмінності від випадків нормальних зірок найбільш виражені. Про деякі типи пекулярних спектрів коротко розказано у відповідних параграфах розділу «Спектри нормальних зірок».

Зірки типу Am – клас зірок з посиленими лініями багатьох металів. Якщо класифікувати їх за інтенсивністю лінії K-CaII, ці зірки відносяться до ранніх підкласів спектрального класу A, оскільки лінія K-CaII у них ослаблена і вузька. Лінії ж усіх інших металів настільки сильні, що по них ті ж зірки класифікуються або пізніми підкласами класу A, або навіть класом F (F0-F6). Інтенсивність водневих ліній також не узгоджується з підкласами, обумовленими по лініях металів. При цьому різниця спектральних підкласів, що визначаються по лінії K, водневим лініям і лініях металів може досягати 5 і більше підкласів. Лінії металів в спектрі дуже тонкі, що характерно скоріше для спектрів надгігантів. Але це знаходиться в повному протиріччі з великою шириною крил водневих ліній і світності зірок, які за даними спостережень характерні для V - IV класів світності.

Звичайні спектральні критерії світності A-зірок у об'єктів цього класу не працюють. Ймовірно, ці зірки мають більш протяжні атмосфери, ніж нормальні A-зірки. Майже всі (може бути - всі) такі зірки є компонентами тісних подвійних систем. Слід також зазначити, що Am-зірки, також як і Ap і Vp, обертаються повільніше нормальних зірок. Ймовірно, пекулярність таких зірок зумовлена реально існуючими відмінностями хімічного складу їхніх атмосфер від складу атмосфер нормальних зірок.

Є невелике число зірок, що показують одночасно характеристики Am і Ap, тобто дифузну лінію CaII і деяке посилення ліній SrII-4077Å і 4216Å. Якщо характеристики Am виражені не дуже сильно, такі зірки називаються прото-Am-

зірками (mild-Am) або, іноді, зірками типу Дельта Дельфіна. До Ат-зірок відносяться такі візуально яскраві зірки, як Альфа-А і Альфа-В Близнюків, Тета Лева.

Зірки класу Ар – ця група включає зірки, в спектрах яких різко посилені лінії елементів, зміст яких дуже низький у нормальних зірок. Наприклад, у так званих марганцевих Ар-зірок марганець представлений багатшим всіх металів, але особливо перевищує норму вміст елемента галію (Ga). Можуть бути сильні лінії гольмію, ітрію, європію, цирконію, посилені лінії елементів групи заліза (Cr, Mn, Fe, Co, Ni). На спектрограмі з досить великою дисперсією можуть бути видні лінії осмію, платини, золота.

На відміну від зірок типу Am у Ар-зірок лінія К Call широка і дифузна (у Am-зірок вона слабка і вузька). Підвищення вмісту важких елементів в атмосферах таких зірок можна пояснити, якщо припустити винесення на поверхню речовини, збагаченої елементами, що утворюються внаслідок швидкого захоплення нейтронів ядрами атомів (γ -процес), коли новостворене в процесі нейтронного захоплення ядро не встигає розпастися до поглинання ще одного нейтрона. Часто інтенсивність ліній у спектрах таких зірок є змінною, що ускладнює їх класифікацію.

Серед Ар-зірок виділено 6 підгруп: марганцеві, 4200А, хромові, європіїві, цирконіїві й кремнієві. При цьому в такій же послідовності змінюються спектральні підкласи (тобто температура поверхні) для всіх цих зірок, крім кремнієвих. Пізніше до цих типів додався ще один тип - ртутні зірки. Іноді такий підрозділ укрупнюють, і ділять Ар-зірки на марганцеві, кремнієві і Eu-Cr-Sr. Під час запису спектрального підкласу до позначення Ар часто додають позначення елемента, лінії якого особливо підсилені в спектрі, наприклад Ар-Si. У зірок класу Ар можуть спостерігатися сильні магнітні поля. Такі об'єкти виділяють в окремий підтип магнітних зірок. Ар-зірки проявляють оптичну змінність блиску з амплітудами в межах декількох сотих зоряної величини. Цей тип змінних носить назву зірок типу Альфа-2 Гончих псів.

Зірки класу Fm – ці зірки споріднені із зірками типу Am і примикають до них з боку більш пізніх спектральних класів. У зірок Fm спектральний підклас, який визначається по лініях

металів, виходить більш пізнім, ніж обумовлений по інтенсивності водневих ліній. Це пов'язано з аномальним посиленням ліній металів. Смуга G по інтенсивності відповідає ще більш пізньому підкласу. Посилено також лінії SrII, лінія CaII ослаблена, як і у зірок Am. Є зірки, які не вкладаються в рамки стандартно виділених пекулярних, наприклад, до таких зірок слід віднести зірку HD101065, в спектрі якої домінують лінії рідкоземельних елементів, і практично відсутні нормальні - лінії легких елементів і елементів залізного піку.

Зірки класу WR – до цього класу належать гарячі масивні зірки з нестачею водню в атмосфері і широкими яскравими емісійними лініями іонів He, C, N і O, які накладаються на безперервний спектр з розподілом енергії, близьким до розподілу енергії у зірок класів O і B. Багато ліній мають профілі типу P Cygni: з короткохвильової сторони від майже нерухомого або трохи зміщеного у бік більших довжин хвиль емісійного компонента розташовується один або більше абсорбційних компонентів.

Зірки Вольфа-Райє за видом спектра діляться на дві групи: вуглецеві (WC), у спектрах яких переважають лінії іонів вуглецю (CIII, CIV) і кисню, і азотні (WN), у спектрах яких переважають лінії іонів азоту (NIII, NIV) і слабкі або відсутні лінії O і C. Послідовності підрозділяються на підкласи WN3-WN8 і WC5-WC9. У спектрах зірок типу WC багато емісійних ліній HeI і HeII. Послідовність WN іноді ділять на підпослідовності WN-A з порівняно вузькими лініями і посиленням безперервним спектром, і WN-B з ширшими і сильними лініями.

Частина зірок WN7-WN8 ймовірно утворюють окрему групу, проміжну між зірками Вольфа-Райє і Of-зірками. У зірок вуглецевої послідовності як критерій спектрального підкласу можуть використовуватися ширини ліній, але у класу WN кореляція між ширинами ліній і спектральним підкласом відсутня. Зірки азотної послідовності розбиваються на підкласи згідно інтенсивності смуги (скупчення зливаються лінії) NIII 4634-41Å, яка не видно у «ранніх» підкласів та сильна у пізніх. У пізніх підкласів азотної послідовності для класифікації використовуються лінії HeI, що посилюються при переході до більш пізніх підкласів. Зірки типу Вольфа-Райє характеризуються ефективною температурою поверхні порядку 30000 К. Вони

зустрічаються в молодих зіркових скупченнях і є просунутими стадіями еволюції дуже масивних зірок.

Багаті гелієм зірки (He-rich) – це зірки спектрального класу В (близько В2), але лінії гелію посилені, хоча і не досягають інтенсивності водневих. Приклад такої зірки - HD184927, яка є спектрально-подвійною. Ефект посилення ліній He може бути виражений різною мірою, від слабого посилення, до випадків, коли лінії He майже досягають інтенсивності бальмерівських водневих ліній. Бідні гелієм зірки (He-weak) – це зірки спектральних підкласів В 5-В 8 з ослабленими для даного підкласу лініями гелію. Пекулярність в цьому випадку пояснюється спільною дією дифузії елементів і зоряного вітру. Зірки з цими типами пекулярних можуть зустрічатися в одних і тих же зіркових угрупованнях.

Білі карлики – спектри білих карликів різко відрізняються від спектрів нормальних зірок головної послідовності і гігантів. Основна їхня особливість – дуже невелике число ліній поглинання. Помітна частина білих карликів взагалі не містить помітних ліній поглинання в спектрах (клас dC). У спектрах гарячих білих карликів dO і dB присутні лише деякі лінії гелію. Більшість спостережуваних білих карликів відносяться до класу DA. У спектрах таких зірок спостерігаються кілька перших членів бальмерівської серії ліній водню. У спектрах зірок класів DF, DG і DK присутні також лінії H і K Call і деякі лінії заліза. Зауважимо, що другі літери позначення спектральних класів білих карликів нагадують літери, що використовуються для позначення спектральних класів нормальних зірок.

Атмосфери гарячих білих карликів (dO, dB) в основному складаються з гелію, а більш холодних (dA і т. д.) - з водню. Але атмосфери карликів dC теж гелієві, хоча й більш холодні, ніж у dO і dB. Спектри холодних білих карликів Егген і Грінштейна класифікують як dC, dF, dG, 4670Å і 4135Å, хоча ця класифікація, ймовірно, не є температурною, і зміни в спектрах тут визначаються співвідношеннями вмісту елементів C / O, C / H, H / He. Мале число ліній поглинання в спектрах зірок цього класу пояснюється найсильнішим розширенням ліній, спричиненим високим тиском на поверхнях таких зірок. Тільки найсильніші лінії, розширені, мають достатню глибину, щоб залишитися помітними, а слабкі, через малу глибину, практично зливаються з

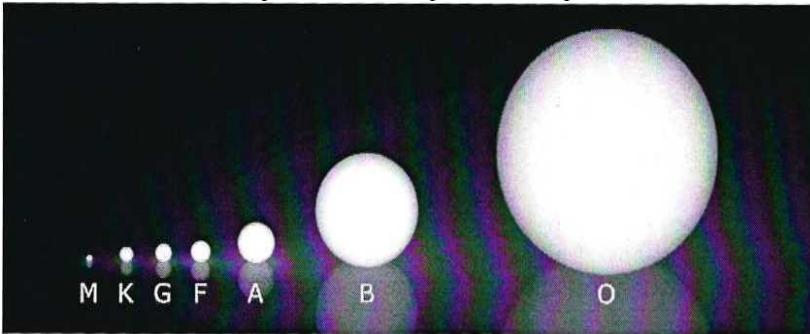
безперервним спектром. Серед візуально яскравих зірок білих карликів немає. Вони мають абсолютні зоряні величини M слабкіше $+10$, так що навіть найближчі білі карлики, наприклад – Сіріус B , можна спостерігати тільки з використанням великих телескопів.

1.7. Йоркська класифікація

Йоркська класифікація (або МК-класифікація) розроблена в 1930-х роках в Йоркській обсерваторії В. Морганом, Ф. Кінаном та Е. Келманом. Вона є двовимірною (Рис.1.7.1.). Основним виміром, як і в Гарвардській класифікації, є ефективна температура.

Рис.1.7.1.

Спектральна класифікація Моргана-Кінана



Для точнішої класифікації в межах одного класу в сучасній системі Морган-Кінана разом з літерами для позначення підкласів використовують арабські цифри від 0 до 9. Наприклад:... $08, 09, B0, B1, \dots, B8, B9, A0, A1, \dots$, де підкласи $B0, B1$ відповідають гарячішим зорям, а підкласи $B8, B9$ – холоднішим зорям спектрального класу B .

Деякі підкласи використовуються досить рідко. Для холодних зір найбільш вживаними підкласами є $GO, G2, G5, G8, KO, K1, K2, K4, K5, MO, M2, M3, M4, M5, M6, M7$ та $M8$. У той же час є випадки застосування проміжних підкласів, наприклад 09.5 та $B2.5$.

Іншим виміром класифікації в системі Морган-Кінана є розподіл зір за класом світності, які відповідають певній ширині

та формі ліній поглинання в спектрах зір. Було виявлено, що ці характеристики залежать від поверхневої гравітації, а, значить, від маси та розмірів зорі. За світністю зорі поділено на наступні класи (позначаються римськими числами I, II, III, IV та V) (Таблиця 1.7.1.)

Таблиця 1.7.1.

Класи світності зір	
Позначення	Клас світності
0 (або Ia+)	Гіпергіганти
Ia	Яскраві надгіганти
Ib	Надгіганти
II	Яскраві гіганти
III	Гіганти
IV	Субгіганти
V	Зорі головної послідовності
VI	Субкарлики
VII	Білі карлики

Наприклад, наше Сонце належить до спектрального класу G2V й відповідно є зорею головної послідовності. Найяскравіша зоря північної півкулі неба, Сіріус, має спектральний клас A1V і відповідно є *білою* зорею головної послідовності.

Висновки до розділу 1

Астрофізична спектроскопія є одним із найважливіших інструментів сучасної астрономії, оскільки саме спектральні методи дозволяють отримувати вичерпну інформацію про фізичну природу небесних тіл без посереднього контакту з ними. У межах цього розділу було розглянуто основні напрями спектральних досліджень, що охоплюють зоряну спектроскопію, спектроскопію галактик, а також перспективи дослідження планет і їхніх супутників.

Зоряна спектроскопія дає змогу визначити хімічний склад, температуру, світність, швидкість руху та еволюційний стан зір. Аналіз спектрів галактик, у свою чергу, відкриває шлях до вивчення їх будови, динаміки та процесів зореутворення, що є ключовим для розуміння еволюції Всесвіту в цілому. Важливим і перспективним напрямом є спектроскопія планет і їхніх

супутників, яка дозволяє досліджувати склад атмосфер, поверхонь і потенційні умови для існування життя. Окрему увагу у розділі приділено спектральній класифікації зір, зокрема Гарвардській спектральній класифікації, що систематизує зорі за температурою та спектральними ознаками, а також Йеркській класифікації, яка доповнює температурний підхід урахуванням світності та фізичного стану зір. Разом ці класифікації формують цілісну систему, що дозволяє глибше зрозуміти різноманітність зоряного населення та закономірності зоряної еволюції.

Отже, спектральні методи в астрономії є фундаментальною основою астрофізичних досліджень. Вони поєднують спостережні дані з теоретичними моделями, забезпечуючи комплексне вивчення зір, галактик і планетних систем, а також відіграють провідну роль у розвитку сучасної астрофізики.

РОЗДІЛ 2 ДІАГРАМА ГЕРЦШПРУНГА-РАССЕЛА

Зірки, якщо їх нанести на діаграму відповідно за їх фізичними характеристиками, поділяються на чітко виражені групи, що відповідають різним стадіям їхньої еволюції. Зірки бувають дуже різними за розмірами: деякі мають діаметр у 30 разів більший за діаметр Сонця, а деякі настільки малі, що їхній розмір порівнянний із великим земним містом. Є зірки настільки гарячі, що основний колір в спектрі їх випромінювання – фіолетовий, і є зірки настільки «холодні», що навіть темно-червоне світло в їх спектрі виглядає тьмяно.

У XIX столітті астрономія зазнала справжнього перевороту: науковці поступово відійшли від «класичної» астрономії («Де це, і як і куди воно рухається?») та звернулися до астрофізики («Що це, і як воно влаштоване?»). Одним з першочергових завдань на цьому шляху було впорядкувати та класифікувати зірки за їхніми фізичними властивостями, щоб зрозуміти їхню природу та еволюцію. Це призвело до незалежного створення двома астрофізиками – Ейнаром Герцшпрунгом і Генрі Расселом діаграми, яка тепер відома як сьогоднішня діаграма Герцшпрунга-Рассела (або, скорочено,

«діаграма ГР») Додаток П. Ця діаграма стала ключовим інструментом для вивчення еволюції зірок, бо показує, як змінюються їхні фізичні характеристики з часом.

Діаграма ГР була практично одночасно розроблена двома вченими, які абсолютно самостійно працювали на двох різних континентах. Генрі Норріс Рассел – один з найбільших американських астрономів початку ХХ століття – довгі роки цікавився проблемою опису життєвого циклу зірок і, судячи з усього, прийшов до основної ідеї діаграми ще в 1909 році, однак робота з її поданням була опублікована лише в 1913 році. Данець Ейнар Герцшпрунг дійшов тих самих висновків, що і Рассел, на кілька років раніше свого американського колеги, проте його робота була опублікована (в 1905-му і 1907 роках) в вузькоспеціалізованому «Журналі наукової фотографії» (*Zeitschrift für Wissenschaftliche Photographie*), виданому до того ж німецькою мовою, через що спочатку залишалася практично непоміченою більшістю астрономів. Тож до середини 1930-х років діаграму зазвичай називали просто «діаграмою Рассела», бо її американська версія була більш відомою у науковому середовищі. Лише пізніше, коли виявили, що Ейнар Герцшпрунг відкрив схожі закономірності раніше, йому було визнано заслугу, і діаграма отримала нинішню назву – діаграма Герцшпрунга-Рассела, увічнюючи обох учених.

Діаграма ГР являє собою графік, на якому по вертикальній осі відраховується світність (інтенсивність світлового випромінювання) зірок, а по горизонтальній – спостережувана температура їх поверхонь. Обидва цих кількісних показники піддаються експериментальному вимірюванню за умови, що відомо відстань від Землі до відповідної зірки. Чисто історично склалося так, що по горизонтальній осі х температуру поверхні зірок відкладають у зворотному порядку: тобто, чим гарячіше зірка, тим лівіше вона знаходиться. Сенс же всієї діаграми ГР полягає в тому, щоб нанести на неї якомога більше експериментально спостережуваних зірок (кожна з яких представлена відповідною точкою) і по їх розташуванню визначити якісь закономірності їх розподілу по співвідношенню спектра і світності.

З'ясовується, що цей розподіл носить аж ніяк не випадковий характер: за спектром і світністю зірки поділяють на

три основні категорії, або, як прийнято їх називати в астрофізиці, «послідовності». З верхнього лівого кута в правий нижній тягнеться так звана головна послідовність. До неї відноситься, зокрема, і наше Сонце. У верхній частині головної послідовності розташовані найяскравіші і гарячі зірки, а справа внизу – самі тьмяні і, як наслідок, довгоживучі.

Окремо – правіше і вище – розташована група зірок з дуже високою світністю, що не пропорційні їх температурі, яка відносно низька – це так звані червоні зірки-гіганти і надгіганти. Ці величезні зірки, умовно кажучи, світять, але не гріють. Нижче і лівіше головної послідовності розташовані карлики – група щодо дрібних і холодних зірок. Ще раз відзначимо, що переважна більшість зірок відноситься до головної послідовності, і енергія в них утворюється шляхом термоядерного синтезу гелію з водню.

Насправді, три цих послідовності на діаграмі ГР строго відповідають трьом етапам життєвого циклу зірок. Червоні гіганти і надгіганти в правому верхньому куті – це зірки, які доживають свій вік до стадії роздуття зовнішньої оболонки (через 6500000000 років така доля спіткає і наше Сонце – його зовнішня оболонка вийде за межі орбіти Венери). Вони випромінюють в простір приблизно ту ж кількість енергії, що й зірки основного ряду, але через величезну площу поверхні – значно більшу, ніж у молодій зірки – температура їхньої поверхні залишається відносно низькою.

Нарешті, звернемося до лівого нижнього кута діаграми ГР: тут ми бачимо так званих білих карликів. Це дуже гарячі зірки – але дуже дрібні, зазвичай розміром не більші за Землю. Тому, випромінюючи в космос відносно небагато енергії, вони, через дуже незначну (на тлі інших зірок) площу їх поверхневої оболонки, світяться в досить яскравому спектрі, оскільки вона виявляється досить високотемпературною.

Взагалі, по діаграмі Герцшпрунца-Рассела можна простежити весь життєвий шлях зірки. Спочатку зірка головної послідовності (подібна Сонцю) конденсується з газо-пилової хмари і ущільнюється до створення тисків і температур, необхідних для розпалювання первинної реакції термоядерного синтезу, і, відповідно з'являється десь у основній послідовності діаграми ГР. Поки зірка горить (запаси водню не вичерпані), вона так і залишається (як зараз Сонце) на своєму місці в основній

послідовності, практично не зміщуючись. Після того, як запаси водню вичерпані, зірка спочатку перегрівається і роздувається до розмірів червоного гіганта або надгіганта, вирушаючи в правий верхній кут діаграми, а потім остигає і стискається до розмірів білого карлика, опиняючись зліва внизу.

Діаграма Герцшпрунга-Рассела зображена у додатку Р. Діаграма Герцшпрунга-Рассела за Річардом Повеласом, побудована за даними 2300 найближчих зір. Перегляд діаграми свідчить, що зорі скупчено у певних зонах діаграми. Особливо насичена діагональ, яка проходить з верхнього лівого кута (гарячі та яскраві зорі) до нижнього правого (холодні і темні). Вона називається головною послідовністю.

Внизу розташовано білі карлики, а над головною послідовністю розташовано субгіганти, гіганти і надгіганти.

Сонце розташоване на головній послідовності з абсолютною зоряною величиною $4,8^m$ і кольоровим індексом $B-V$ 0,66 (температура 5780К, спектральний клас G2). Діаграма Герцшпрунга - Рассела, для найбільш відомих зірок зображена у додатку С.

Висновки до розділу 2

Діаграма Герцшпрунга-Рассела є одним із найважливіших узагальнювальних інструментів астрофізики, що наочно відображає взаємозв'язок між світністю зір і їх температурою або спектральним класом. Вона дозволяє систематизувати різноманіття зір та виявити закономірності їх фізичних властивостей і еволюційного розвитку.

Аналіз положення зір на діаграмі дає змогу виділити основні класи зоряного населення: зорі головної послідовності, гіганти, надгіганти та білі карлики. Саме розташування зір у цих областях відображає різні етапи їх життєвого циклу – від утворення і стабільного термоядерного горіння до завершальних стадій еволюції.

Діаграма Герцшпрунга-Рассела тісно пов'язана зі спектральною класифікацією зір і є ефективним інструментом для визначення їх мас, віку та внутрішньої будови. Вона широко застосовується як у дослідженні окремих зір, так і у вивченні

зоряних скупчень та галактик, дозволяючи робити висновки про їхній еволюційний стан і історію формування.

Отже, діаграма Герцшпрунга-Рассела відіграє ключову роль у сучасній астрономії, оскільки поєднує спостережні характеристики зір із теоретичними моделями зоряної еволюції та є незмінним інструментом для розуміння будови й розвитку Всесвіту.

ВИСНОВКИ

Протягом багатьох століть астрономія накопичувала дані про зірки. На підставі цих даних будуються різні класифікаційні системи. У даній роботі ми розглянули деякі класифікаційні характеристики. За знаходженням на різних стадіях свого життя зірки бувають блакитними й червоними гігантами, білими карликами, нейтронними зірками або чорними дірами.

Класифікуючи зірки за хімічним складом, орієнтуються на вміст у них елементів, важче гелію. Цих елементів, як правило, не більше 2%, але вони визначають, до якої групи належить зірка. Основою класифікації зірок служать їх фізичні характеристики – блиск, світність, розмір, температура, маса. Зірки класифікуються за «зоряною» та абсолютною величиною, за світністю, за кольором, за ступенем іонізації елементів. Найбільш наочно групи зірок відображені у діаграмі Герцшпрунга-Рассела. Вивчаючи фізичні характеристики можна зробити припущення, що всі зірки мають більш-менш однакову масу, в той час як всі інші характеристики змінюються в сотні тисяч і багато мільйонів разів.

Великий інтерес представляє класифікація та вивчення подвійних і змінних зірок. Подвійні зірки та кратні системи можуть бути оптичними і фізичними, їх подвійність пояснюється відповідно геометричними ефектами та фізичними взаємодіями. Змінні зірки бувають затемнені і фізичні. Змінність затемнених зірочок пояснюється знову-таки геометричними ефектами, а змінність фізичних зір - внутрішніми процесами в самій зорі. В даний час класифікація зірок безупинно доповнюється і вдосконалюється.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії : навч. посіб. Одеса : Астропринт, 2007. 380 с.
2. Астрономія: підручник для закладів загальної середньої освіти. Рівень стандарту, 11 клас / за ред. Яцківа Я. С. Харків: Ранок, 2019. 144 с.
3. Бурлака О. Колір та світність. Що таке діаграма Герцшпрунга – Рассела. Universe space team: веб-сайт. URL : <https://surl.lu/qfgpgy> (дата звернення 21.10.2025).
4. Ваврух М. В. Астрофізика : навч. посіб. У 2-х книгах. Книга 1: Основи фізики зір. Львів : Львівський національний університет імені Івана Франка, 2010. 308 с.
5. Головка М. В., Крячко І. П. Астрономія : навч. посібн. Київ : ТОВ «КОНВІ ПРИНТ», 2018. 272 с.
6. Климишин І. А., Крячко І. П. Астрономія : підручник для 11 класу загальноосв. навч. закл. Київ : Знання України, 2002. 192 с.
7. Кузнєцова Ю. Спектральний моніторинг довгоперіодичної системи Epsilon Aurigae за період 2008-2012 рр. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія*. 2022. № 65. С. 45–51 (дата звернення: 21.10.2025).
8. Пришляк М. П. Астрономія : підручник для 11 класу. Рівень стандарту. Київ : Генеза, 2019. 144 с.
9. Сиротюк В. Г., Мирошніченко М. В. Астрономія : підручник для 11 класу. Київ : Навчальна книга, 2011. 306 с.
10. Gray R. O. A Digital Spectral Classification Atlas URL : <http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Gray/frames.html> (дата звернення : 20.10.2025).
11. Спектральна класифікація зір. URL : https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F_%D0%B7%D1%96%D1%80 (дата звернення 21.10.2025).
12. Український астрономічний портал. URL : <http://www.astrosvit.in.ua/> (дата звернення 21.10.2025)

ДОДАТКИ

Додаток А

Схема астрономічного спектрографа

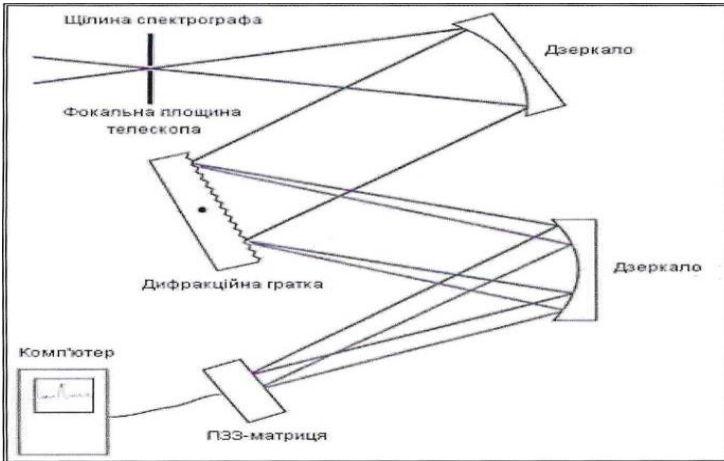
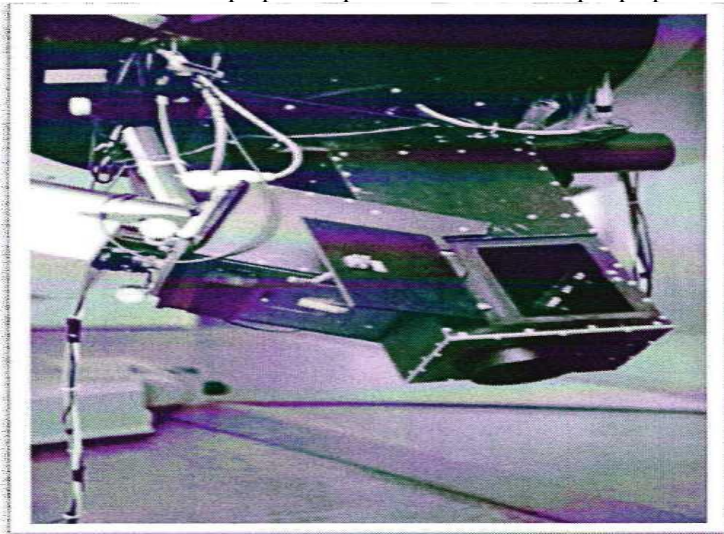


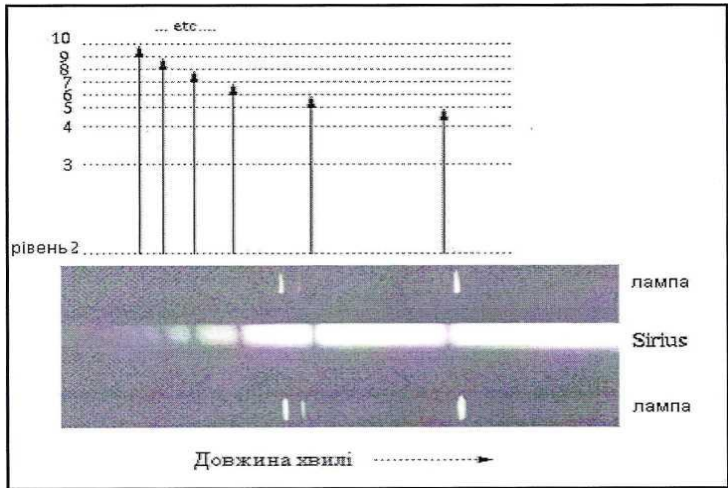
Рис. 1- Схему астрономічного спектрографа

Додаток Б

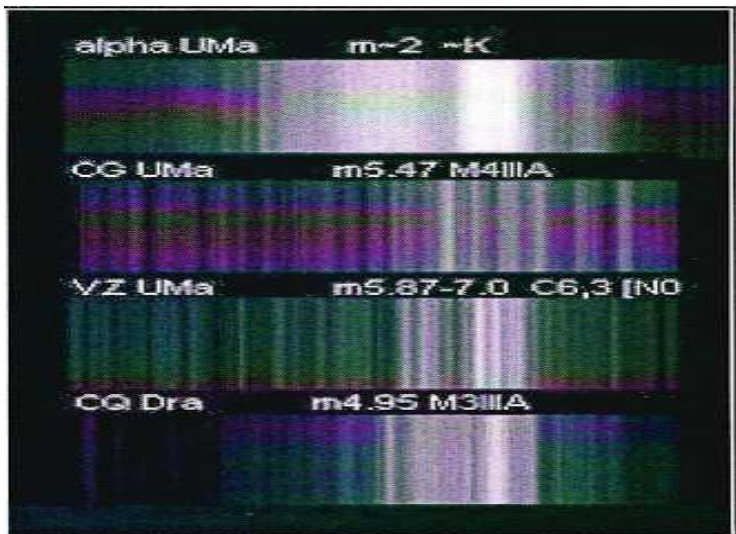
Фотографія астрономічного спектрографа



Спектр Сириуса



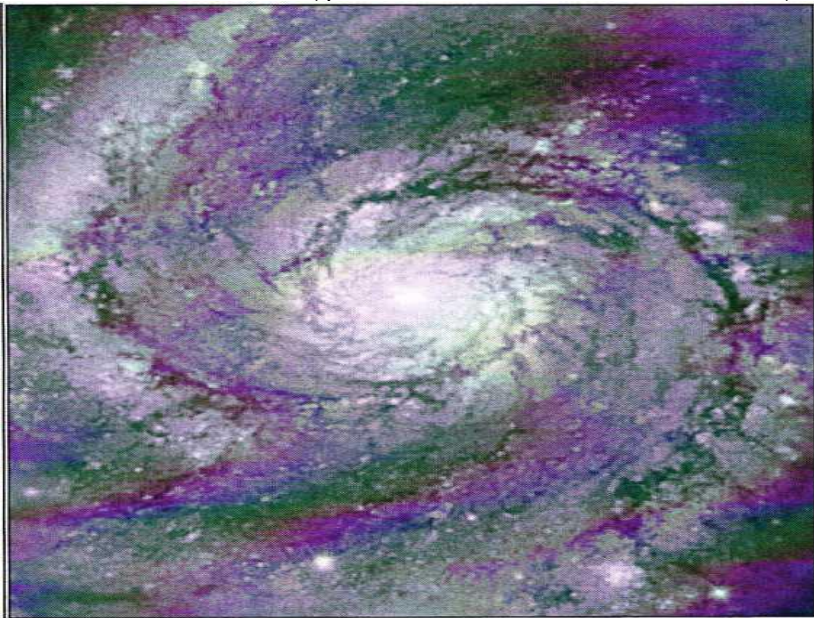
Спектри холодних зірок



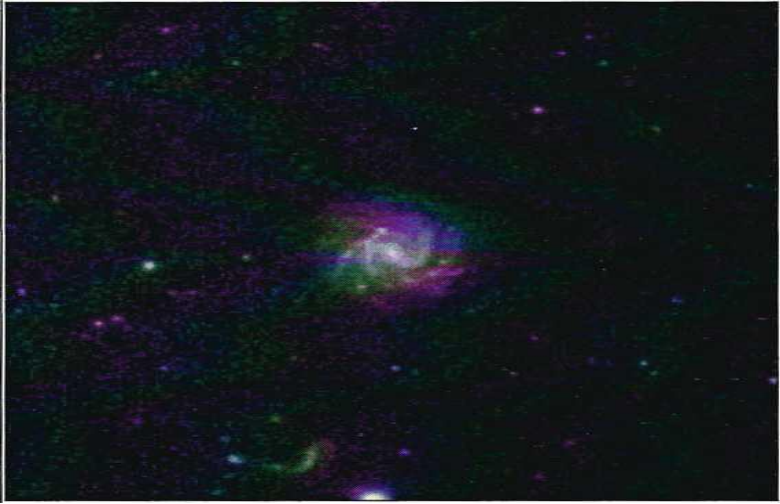
Спектри зірок з емісійними лініями



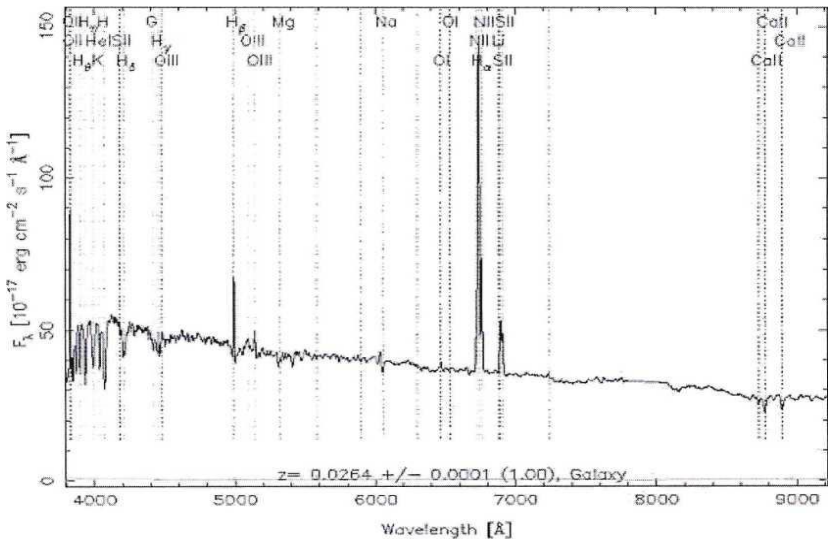
Галактика М51 (фото з Космічного телескопа Хаббла)



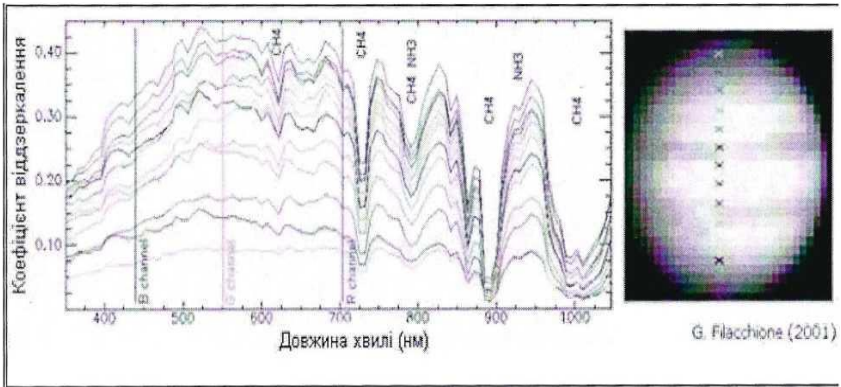
Галактика SDSS J170944.07+625823.0



Спектр галактики SDSS J170944.07+625823.0 в області від 4000 до 9000Å



Спектральні вимірювання Юпітера космічним апаратом «Кассіні»



Додаток П

Астрофізики, які створили діаграму



Генрі Норріс РАССЕЛ, 1877-1957

Американський астрофізик. Народився в Ойстер-Бей (штат Нью-Йорк) у родині пресвітеріанського священика. Навчався в Принстонському університеті, де змінив свого вчителя К. Юнга на посадах професора астрономії і директора місцевої обсерваторії, які займав аж до 1947 року. Довгий час Рассел займався дослідженням зв'язку між спектрами зірок і їх світністю з метою розібратися в тому, як еволюціонують світила. У 1913 році - незалежно від Герцшпрунга - побудував діаграму, що зв'язує спектральні характеристики і світність зірок (яка тепер і називається діаграмою Герцшпрунга - Рассела) за результатами вивчення знімків, отриманих ним на фотопластинках в обсерваторії Принстонського університету. На жаль, вчений вивів з отриманої діаграми неправдивий висновок про те, що зірки з'являються на світ у вигляді червоних гігантів і з часом вироджуються в білих карликів.

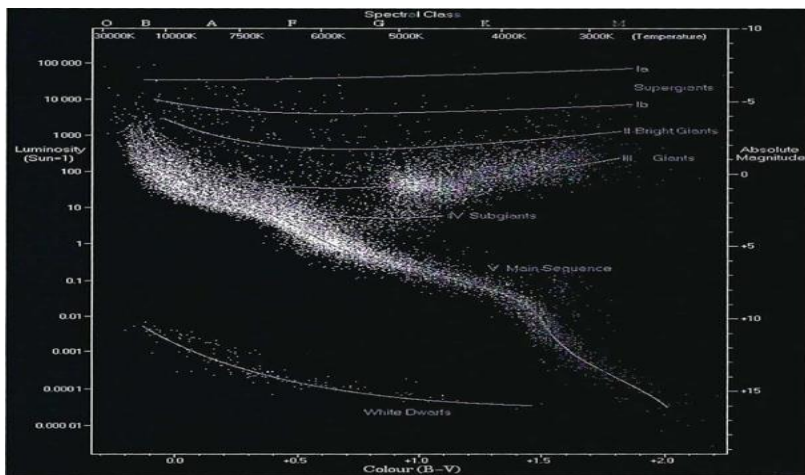


Ейнар Герцшпрунг, 1873-1967

Данський астроном. Народився в містечку Фредеріксборг поблизу Копенгагена. Навчався в Копенгагенському політехнічному інституті, отримав спеціальність інженера-хіміка. Після закінчення інституту (1898) протягом трьох років працював у Петербурзі. Повернувшись на батьківщину, почав вивчати астрономію, одночасно проводив фотографічні спостереження в обсерваторії Копенгагенського університету і невеликій обсерваторії «Уранія». Його дослідження справили враження на директора Потсдамської обсерваторії К. Шварцшильда, який запросив Герцшпрунга спочатку до Геттінгенського університету, а потім у Потсдамську обсерваторію (1909). З 1919 року Герцшпрунг працював у Лейденській обсерваторії, в 1935 році став її директором. Вийшовши у відставку, повернувся в Данію і продовжив дослідження в обсерваторії в Брорфельде. Освіта фотохіміка дозволила вченому розробити унікальну для тих років технологію розрахунку світності зірок за їх фотозображенням. Зіставивши отримані результати з даними про спектри досліджуваних зірок, Герцшпрунг і прийшов до своєї класифікації зірок, згідно з якою вони поділяються на гігантів, карликів і основний ряд

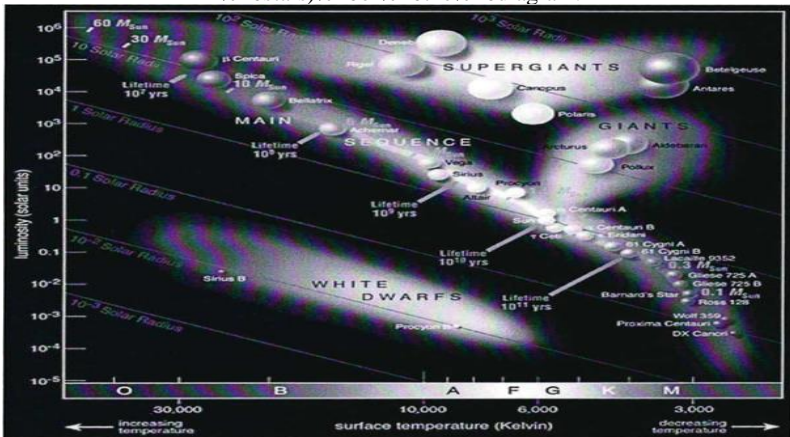
Додаток Р

Діаграма Герцшпрунга-Рассела



Діаграма Герцшпрунга-Рассела

URL : [https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/hertzsprung-russell+diagram#:~:text=The%20Hertzsprung%20Russell%20diagram%20\(HR,faint%20stars\)%20of%20the%20diagram.](https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/hertzsprung-russell+diagram#:~:text=The%20Hertzsprung%20Russell%20diagram%20(HR,faint%20stars)%20of%20the%20diagram.)



Вчені, які вивчали зоряну спектроскопію

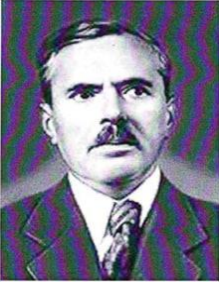
Маргеріта Ак (італ. *Margherita Hack* [marge'ri:ta ak]; 12 червня



1922, Флоренція – 29 червня 2013, Трієст) – італійський астроном, член Національної академії деї Лінчеї (1978). Народилася у Флоренції. У 1945 закінчила Флорентійський університет. У 1947-1954 працювала в астрофізичній обсерваторії Арчетрі, в 1954-1964 – в обсерваторії Брера-Мерате. З 1964 – професор астрономії університету в Трієсті і директор обсерваторії в Трієсті. Основні наукові роботи присвячені зоряній спектроскопії. Займалася дослідженнями хімічного складу і фізичних умов в атмосферах нормальних і пекулярних зірок різних типів. Вивчала пекулярні подвійні системи, такі як є Візничого, (3 Ліри, η Стрільця, W Змії); запропонувала нові моделі цих зірок, засновані на спектральних спостереженнях не тільки у візуальній, а й в ультрафіолетовій областях спектру. Розробила двовимірну класифікацію зоряних спектрів; розрахувала контури ліній для великої кількості моделей атмосфер зірок. Підготувала разом з Отто Струве і видала після його смерті чотиритомну серію збірників «Зоряна

спектроскопія» – огляд основних спостережних даних. Президент Комісії N 29 «Зоряні спектри» Міжнародного астрономічного союзу (1976-1979). Премія Лінчео з астрономії та геофізики (1980).

Григорій Абрамович Шайн (19 (7) квітня 1892-1956) –



астроном, астрофізик, фахівець з спектроскопії родом з Одеси, дійсний член АН СРСР (з 1939). 1925-45 працював у Кримській астрофізичній обсерваторії АН СРСР, 1945 – 52 її директор. Навчався в Юрїївському університеті, з 1919 працював Пермському університеті, з 1921 по 1925 – в Пулковській обсерваторії, з 1925 по 1945 р. – у її Семійському відділенні, де під його керівництвом був встановлений рефлектор із метровим дзеркалом. З 1944 до 1952 керував організацією Кримської астрофізичної обсерваторії, був її директором. Останні роки свого життя керував відділом фізики зір і туманностей Кримської обсерваторії. Основна область досліджень зоряна спектроскопія і фізика газових туманностей. Спільно з В. О. Альбицьким визначив променеві швидкості близько 800 зірок і склав каталог, який вважається одним з найкращих в цій галузі. В 1929 спільно з американським астрономом О. Струве довів, що зірки ранніх спектральних класів обертаються в десятки разів швидше, ніж Сонце. Відкрив близько 150 нових туманностей, виявив особливий клас туманностей, у яких значна частина матерії зосереджена на периферії, і клас дуже витягнутих туманностей волокнистої структури.

Отто Людвігович Струве (12 серпня 1897, Харків, Україна –



16 квітня 1963, Берклі, Каліфорнія, США) – українсько- американський астроном, один з найвідоміших астрофізиків ХХ століття, історик астрономії, педагог. Був директором Єрксської обсерваторії в 1932- 1947 рр. Член Національної академії наук США. Президент Американського астрономічного товариства в 1946-1949 рр. Президент Міжнародного астрономічного союзу в 1952-1955 рр. Учасник Першої світової війни, учасник Білого руху на Півдні Росії у складі дроздовських частин, галліполієць, емігрант. Син російського астронома Людвіга Струве (1858-1920).

2.9. Ільїнська Дар'я, здобувачка професійної освіти Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира, науково-дослідницька робота «Вплив скандинавських мов на англійську мову»

Здобувачка професійної освіти Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира Ільїнська Дар'я Ігорівна за науково-дослідницьку роботу на тему: «Вплив скандинавських мов на англійську мову» отримала **диплом учасника Конкурсу**

Відділення: філологія

Секція: англійська мова та англійська література

Педагогічна керівниця: Кабанець Ірина Володимирівна, викладачка англійської мови Професійного коледжу індустрії краси і технологій міста Житомира

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ МОВНОГО КОНТАКТУ МІЖ КОРИННИМ НАСЕЛЕННЯМ АНГЛІЇ ТА СКАНДИНАВСЬКИМИ ЗАГАРБНИКАМИ В ПЕРІОД VIII-XI СТОЛІТТЯ ...	5
Висновки до розділу 1	10
РОЗДІЛ 2. ЛІНГВІСТИЧНИЙ ВНЕСОК СКАНДИНАВСЬКИХ МОВ У РОЗВИТОК АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ	11
Висновки до розділу 2	14
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ СКАНДИНАВСЬКИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СУЧАСНІЙ АНГЛІЙСЬКІЙ МОВІ	16
3.1. Лексичні запозичення скандинавського походження	16
3.2. Граматичні та синтаксичні зміни	19
3.3. Морфологічні та фонетичні інновації	22

Висновки до розділу 3	25
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28
ДОДАТКИ	31

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема, яка розглядається, стосується трансформації англійської мови та її мовної динаміки у ході історичного розвитку. Англійська мова, як одна з найпоширеніших мов світу, має складну та багатозарову історію формування. На процес збагачення мовотвору та розвиток словникового запасу вплинуло багато зовнішніх чинників. Зокрема, серед них вагоме місце займають скандинавські мови (старонорвезька, староданська, староісландська). Не можна не погодитися з тим, що їхній вплив на англійську мову є результатом складних історичних процесів, зокрема набігів вікінгів, колонізації та тривалого співіснування англосаксів і скандинавів на Британських островах. Протягом певного етапу історії мова вікінгів була одним з ключових чинників, що вплинули не тільки на лексичному, а й на граматичному рівні.

Особливий інтерес дослідження становить писемність, адже на неї вплинуло рунічне письмо, що є писемністю германських племен, які мігрували до Британії. Варто зауважити, що набір рунічних символів, частина яких має графічну та фонетичну схожість із латинськими літерами, згодом став основою англійського алфавіту.

Важливо розглянути період з VIII по XI століття, коли набіги здійснювали переважно данці та норвежці, які активно заселяли північні та східні регіони Англії. Доцільно підкреслити, що ці контакти включали в себе військові конфлікти, релігію, торгівлю, міжетнічні шлюби, політичні союзи та культурний обмін. У результаті такого тривалого співіснування і відбувся глибокий мовний вплив.

Прискорення еволюції англійської мови та її адаптації до історичних впливів було здійснено завдяки спорідненості двох германських мов. Ця інтеграція не була одномоментним явищем – він тривав століттями, асимілюючись у мовну систему. У

північних діалектах скандинавські елементи збереглися найкраще. Згодом, із розвитком англійської як національної мови, ці елементи поширилися на всю територію країни, а невдовзі – і на глобальний рівень.

Отже, тема є надзвичайно актуальною, оскільки вона зумовлена потребою глибшого розуміння історичних витоків англійської мови, що дозволяє краще осягнути її сучасну структуру, багатство лексики та граматичну гнучкість.

Метою даної роботи є аналіз впливу скандинавських мов на англійську мову в історичному, лінгвістичному та культурному аспектах.

Об'єктом дослідження є англійська мова як результат мовної еволюції під впливом скандинавських мов.

Предметом – конкретні мовні явища, що виникли внаслідок цього впливу.

Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких завдань:

- дослідити історичні обставини, що сприяли мовному контакту;
- проаналізувати лексичні, фонетичні та граматичні запозичення;
- визначити роль скандинавських елементів у сучасній англійській мові.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи використано історико-порівняльний метод для аналізу мовних контактів, етимологічний аналіз (походження слів), описовий метод для систематизації запозичень, а також, статистичний метод для кількісного узагальнення частотності скандинавських елементів у сучасній англійській.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному висвітленні впливу скандинавських мов на англійську, що поєднує історичний та сучасний аспекти.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання його результатів у навчальному процесі – під час вивчення історії англійської мови, лінгвістики та порівняльного мовознавства. Отримані висновки сприяють глибшому розумінню походження сучасної англійської мови.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних

висновків, списку використаних джерел, додатків. Список використаних джерел сягає кількості 25.

РОЗДІЛ 1

ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ МОВНОГО КОНТАКТУ МІЖ КОРИННИМ НАСЕЛЕННЯМ АНГЛІЇ ТА СКАНДИНАВСЬКИМИ ЗАГАРБНИКАМИ В ПЕРІОД VIII-XI СТОЛІТТЯ

Англосакси та вікінги взаємодіяли через конфлікти, завоювання, торгівлю та поступову інтеграцію, що суттєво вплинуло на історію Англії. Напади варварів були швидкими, жорстокими та ефективними завдяки кораблям і військовій організації. Через тогочасне перенаселення Скандинавії й відносну беззахисність сусідів вікінги здійснювали часті грабіжницькі набіги. Нападали і плюндрували міста і поселення, розташовані в прибережній зоні [24].

В Англії безладні набіги відбувалися наприкінці 8 століття (зокрема, набіг на монастир Ліндісфарн, Святий острів, у 793 році), але більш серйозно розпочалися у 865 році, коли війська завоювали стародавні королівства Східна Англія та Нортумбрія, зменшили Мерсію до значної частини її колишнього розміру. Однак вони не змогли підкорити Вессекс [24] (Додаток А).

Історія англійської мови є одним із фундаментальних курсів, що вивчає виникнення та розвиток англійської мови, її структуру та особливості в минулому, її подібність до інших мов тієї ж сім'ї та її унікальні, специфічні риси. Це діяхроністичний погляд на мову, спрямований на розуміння самої сутності мови, яка сьогодні здається такою унікальною в багато чому [23, с. 7].

Експансія скандинавських народів у Епоху вікінгів (бл. 750-1050) призвела до встановлення скандинавської мови в Ісландії, Гренландії, Фарерських островах та ін., а також у частинах Ірландії, Шотландії, Англії, Франції (Нормандії) [22].

Скандинавські мови пізніше зникли на всіх цих територіях, окрім Фарерських островів та Ісландії, через поглинання або вимирання скандинавськомовного населення. У період експансії всі скандинави могли без труднощів спілкуватися та вважали свою мову єдиною [22].

Ближче до кінця давньоанглійського періоду англійська мова зазнала іноземного впливу в результаті контакту з іншою важливою мовою – скандинавською. Протягом історії нерідко можна спостерігати, як нація чи народ, через причини, надто далекі або складні для аналізу, раптово виринають з невідомості, граючи деякий час помітну, часто блискучу, роль, а потім, через причини, які так само важко визначити, знову відступають у відносно незначну сферу діяльності.

Таке явище представлено германськими мешканцями Скандинавського півострова та Данії, колишніми сусідами англосаксів і тісно пов'язаними з ними мовою та кров'ю. Протягом кількох століть скандинави спокійно залишалися на своїй північній батьківщині. Але у восьмому столітті в цій місцевості відбулися зміни, можливо, економічні, можливо, політичні, і викликали серед них дух заворушень та авантюричних підприємців. Вони розпочали серію нападів на всі землі, що прилягають до Північного та Балтійського морів. Їхня діяльність почалася з грабунку та закінчилася завоюванням. Норвежці колонізували частину Британських островів, Фарерських островів та Ісландії, а звідти просунулися до Гренландії та узбережжя Лабрадору та Ньюфаундленду; данці заснували герцогство Нормандія та зрештою завоювали Англію. Вершини їхніх досягнень було досягнуто на початку XI століття, коли Кнут, король Данії, отримав англійський престол, завоював Норвегію та зі своєї англійської столиці правив більшою частиною скандинавського світу.

Сміливі морські мандрівники мали незвичайні досягнення, а період їхньої діяльності, що тривав від середини VIII до початку XI століття, широко відомий як епоха вікінгів. Саме їхнім нападам на Англію, поселенням там та остаточному завоюванню скандинавський вплив на давньоанглійську мову і був зумовлений [17, с. 95].

Мови можна класифікувати за різними принципами. Генетично англійська мова належить до германської групи мов, яка є однією з дванадцяти груп індоєвропейської сім'ї та однією з основних [9, с. 17]. Усі германські мови минулого та сьогодення мають спільні лінгвістичні риси – деякі з цих специфічних характеристик є спільними для інших груп індоєвропейської сім'ї, інші є специфічно германськими (Додаток В).

Однією з найочевидніших характеристик сучасної англійської мови є обсяг та змішаний характер її словникового запасу. Англійська мова класифікується як германська мова. Тобто, вона належить до групи мов, до якої також належать німецька, голландська, фламандська, данська, шведська та норвезька. Вона має з цими мовами схожу граматичну структуру та багато спільних слів [17, с. 22].

Фонетика. Германська система наголосу слів є однією з найважливіших відмінних рис групи. Германські мови успадкували фіксацію наголосу на першому складі.

Голосні. Протягом історії голосні демонстрували сильну тенденцію до змін. Вони зазнавали різних видів змін: якісних та кількісних. Суворі диференціації довгих і коротких голосних вважається важливою рисою германської групи. Контраст коротких і довгих голосних підтверджується різними напрямками їхніх змін. У той час як довгі голосні загалом мали тенденцію до зближення та дифтонгізації, короткі голосні часто змінювалися на більш відкриті звуки [9, с. 20].

До кінця давньоанглійського періоду англійська мова зазнала значного впливу з боку скандинавської мови. По силі впливу на англійську мову древньоскандинавські діалекти займають четверте місце (після французької, латинської та грецької мови) і перше місце серед мов германської групи [15].

Скандинавські запозичення пов'язані з навалою вікінгів в VIII – XI століттях та їх поселенням в різних частинах країни, але ще в більшій мірі є наслідками мирних контактів англійців та скандинавів впродовж XI та XII століть [15].

Перші письмові відомості про навали вікінгів на Англію подані в англо-саксонській хроніці 787 р., яка говорить: «В ці дні прибули три кораблі норманів (Northmen) із Гересаленду». Це були перші данські кораблі, які з'явилися в Англії. Навали цього періоду проводились в основному з метою грабунку міст та монастирів, які знаходились на східному узбережжі.

З середини IX століття почалося систематичне завоювання Англії скандинавами. Навали стали більш частими, охоплюючи численні райони. Боротьба йшла з перемінним успіхом. Після захоплення Східної частини Англії скандинави приступили до завоювання Уессексу [15].

Згідно Уедморського договору король Альфред поступався скандинавам близько 2/3 всієї англійської території – вся Нортумбрія, вся область East Anglia та половина центральної Англії – ці землі потрапили під сферу дії данського закону та називалися Danelaw. Після укладання Уедморського миру зіткнення зупинились і впродовж певного часу скандинави займалися сільським господарством, торгівлею, будівництвом міст. (Додаток Б)

Близько 1000 року відбулася християнізація вікінгів, і племена стали здебільшого осілими. Незабаром частина з них оселилася на землях Ісландії та Гренландії, проте жорсткі кліматичні умови на острові призвели до загибелі скандинавів на цій території. Археологи встановили, що вікінги добралися і до берегів Північної Америки, звідки їх згодом витіснили індіанці [15].

Скандинвське втручання продовжувалось до 1042 року. Уедморський договір не поклав кінець скандинавським навалам.

Цікавим є факт, що більше ніж 1400 назв населених пунктів в Англії скандинавського походження. Більша частина з них, звичайно, знаходилась на півночі та на сході країни, так як саме тут оселялись скандинави, які приймали участь у навалах. Більшість нових поселенців були датчанами, хоча на північному заході Англії існували великі норвезькі поселення, особливо в районах Камберденду та Уестморленду. На присутність великого скандинавського прошарку серед англійського населення вказують не лише географічні назви, але і особливості організації маєтків місцевого управління, тощо [15].

Велике значення має те, що район East Midlands, діалект якого ліг в основу англійської загальнонародної мови, знаходився в межах Danelaw, тобто підлягав скандинавському впливу. Переконливим доказом існування численних скандинавських поселень в Англії є велика кількість населених пунктів та місцевостей, до складу яких входять скандинавські елементи.

Більше 600 назв міст та поселень в Англії містять скандинавський елемент by «місто», «селище»: Grimsby, Whitby, Appleby, Nase – by, Somer – by, Rug – by, Thores -by та ін [15].

Неможливо точно встановити, як довго скандинавські діалекти зберігали свою уживаність в Англії. Ще у XI – XII століттях в Англії зустрічаються рунічні надписи, але у XII

столітті більшість з них писалися на англійській мові. Існували общини, в яких данська та норвезька мови залишалися живими впродовж довгого часу. Аж до норманської навали скандинавська мова в Англії постійно поновлювалась в результаті завоювань та торгівлі. В районах, де переважала англійська мова, було багато переселенців, які продовжували говорити рідною мовою в меншій кількості до 1100 року [12].

До числа слів, загальних для обох мов, відносяться іменники : man, wife, father, folk, mother, house, thing, life, sorrow, winter, summer; дієслова – will, smile, ride, can, meet, come, bring, hear, think, stand, sit, set, spin; прислівники та прикметники – full, wise, well, better, best, mine, thine, over, under ... [12].

Система письма в давньоанглійській мові змінилася з появою християнства. До цього англійці використовували руни – дуже розпливчасті символи, які могли одночасно позначати звук, склад або ціле слово [23, с. 23].

Варто пам'ятати причину мовної асиміляції, коли Король Альфред Великий (871–899) організував оборону, створив армію та флот, і зумів зупинити подальше просування вікінгів, але укладений мирний договір поділив Англію: південний захід залишився під контролем англосаксів, а північний схід – під владою данців. Це сприяло тому, що у регіонах, контрольованих вікінгами, відбувалося поступове змішування скандинавської та англосаксонської культур. Це вплинуло на мову, правові норми та побут. Багато скандинавських слів увійшли до англійської мови. (Додаток Б)

Отже, неймовірно важливою частиною історії була християнізація скандинавських народів. Протягом X–XI століть вікінги поступово приймали християнство, що сприяло їхній інтеграції в англосаксонське суспільство. Згодом багато з них стали частиною англійської знаті.

Висновки до розділу 1

Отже, історія англійської мови є одним із фундаментальних курсів, що вивчає виникнення та розвиток англійської мови, її структуру та особливості в минулому, її подібність до інших мов тієї ж сім'ї та її унікальні, специфічні риси.

Експансія скандинавських народів у Епоху вікінгів призвела до встановлення скандинавської мови в Ісландії, Гренландії, Фарерських островах та ін., а також у частинах Ірландії, Шотландії, Англії, Франції (Нормандії). Вона вплинула на формування англійської мови та суспільне життя вцілому.

До кінця давньоанглійського періоду англійська мова справді зазнала значного впливу з боку скандинавської мови. По силі впливу на англійську мову древньоскандинавські діалекти займають четверте місце (після французької, латинської та грецької мови) і перше місце серед мов германської групи.

Особливу роль у формуванні мови відіграли історичні зовнішні чинники, адже історія взаємодії англосаксів та завойовників зі Скандинавії на території Британських островів демонструє як соціальні, культурні та політичні події впливають на еволюцію мови, її асиміляцію та збагачення.

Отже, скандинавський компонент став важливим етапом у становленні англійської мови, зробивши її більш різноманітною, динамічною та здатною до подальшої еволюції.

РОЗДІЛ 2

ЛІНГВІСТИЧНИЙ ВНЕСОК СКАНДИНАВСЬКИХ МОВ У РОЗВИТОК АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

Як ми вже з'ясували, вікінги (переважно данці та норвежці) активно заселяли північну та східну Англію, створюючи поселення в регіоні Danelaw. Це сприяло тривалому мовному контакту між скандинавами та англосаксами.

Найбільш далекосяжний був вплив скандинавів мав на вимову, граматику та синтаксис мови. Вплив скандинавських завоювань спостерігається у трьох сферах: певні топоніми та власні імена, введення нових слів датського походження, модифікація щодо граматики та синтаксису, а також вимови [16].

Певні назви місць, що закінчуються на «by», «thorp», «beck», «dale» тощо, демонструють скандинавський вплив. Наприклад, Вітбі, Голдторп та ін. Це свідчить про те, що велика кількість скандинавських сімей постійно оселилася в Англії. Подібний вплив спостерігається у випадку особистих імен, що

закінчуються на «-son», таких як Гібсон, Томсон, Джонсон тощо [16].

Спроба скандинавів нав'язати власний датський закон Англії очевидна з кількості скандинавських термінів, які ввійшли до цієї мови. Наприклад, «закон», «підзаконний акт», «захоплювати», «жадати» – це всі скандинавські слова. Було ще багато таких слів, які вийшли з ужитку після нормандського завоювання, коли французи захопили націю і замінили умови французькими позиками [16].

Хоча скандинави не надто перевершували себе в архітектурі чи кулінарії, деякі слова були прийняті англійцями, наприклад: «вікно», «стейк», «ніж». Цікаво, що скандинавський вплив був більш вираженим у питаннях повсякденного використання. Серед іменників, які стали запозичуватися, були «чоловік», «хлопець», «небо», «сестра», «хочу». Серед прикметників були такі слова, як «покірний», «низький», «поганий», «щасливий», «гнилий», «мізерний», «мабуть». Також були прийняті загальноприйняті дієслова, такі як «дзвонити», «процвітати», «брати», «давати», «тягти».

Як було вже зазначено, давньоанглійська та давньоскандинавська належали до германської мовної групи, що полегшувало взаєморозуміння та сприяло мовному обміну (Додаток В).

Найдавнішим видом писемності германців було рунічне письмо. Рунічний алфавіт був поширеним серед усіх германців до прийняття ними латинського або грецького алфавіту. Питання щодо його походження й досі лишається дискусійним. В ісландських писемних пам'ятках виникнення рун пов'язують з ім'ям бога Одіна [8].

У кінці IV ст. почалися масові міграції германських та інших варварських племен, що дістали назву «Великого переселення народів», яке завершилося завоюванням усієї території Західної Римської імперії. Основною його причиною називають зростання кількості варварських племен, пов'язаного з інтенсифікацією землеробства та переходу до осілого способу життя [8].

Велике переселення народів у IV ст. н.е. призвело до масової міграції германців територією Європи, розпаду Римської імперії, утворенню перших германських держав та формуванню

феодалних відносин. У кінці VI ст. германці оселилися по всій території Британії за виключенням Шотландії, Уельсу та Корнуелла. Вони утворили сім королівств (гептархія): Мерсію, Іст Англію, Ессекс, Суссекс, Вессекс, Нотумбрію, Кент [2].

Англійський історик Беда називає германських завойовників Британії *Angli Saxones* «англійські сакси». Згодом ця назва, як і слово *English* поширилася на найменування людей, які на той час проживали на території Британії [2].

У IX ст. король Альфред назвав свою мову англійською *Englisc*. Протягом 787-794 та 834-878 рр. Англія зазнала нападів з боку 30 датських та норвезьких воїнів зі Скандинавії (дани). Вони завоювали значну частину східної та північної частини Англії. Коли Вессекський король Альфред Великий (849-899 рр.) відвоював цю територію, він став повелителем Англії [15].

Друге скандинавське завоювання припадає на 980 р. У результаті численних битв дани завоювали англосаксів і протягом 1016-1042 рр. датські королі правили Британією. У 1042 р. зі смертю останнього монарха данів, на трон прийшов англійський король Едуард Сповідник. Після його смерті (1066 р.) корону отримав ярл Гарольд Вессекський. Однак права на корону заявив далекий родич Едуарда – Вільгельм, герцог Нормандський. Він здійснив вторгнення до Британії в 1066 і 14 жовтня того ж року відбулася битва при Гастінгсі, в якій переміг Вільгельм [15].

Вже в 1070 р. він контролював усю Англію за виключенням Шотландії та Уельсу. Наслідки цієї події були надзвичайні, оскільки мовою завойовників була французька (норманська). Це призвело до масового проникнення французьких слів до лексичного складу англійської мови. Лише в другій половині XIV ст. англійська знову стає державною мовою Англії [2].

У процесі християнізації (IV–XII ст.) рунічне письмо витіснив латинський алфавіт. Як наслідок до IX ст. рунічне письмо зникає на території Франкської держави, а в XI ст. його заміщує латинський на території Британських островів. Рунічне письмо давніх германців надзвичайно важливе для розуміння становлення мов окремих народностей. Усі сучасні мови, що належать до германської групи, пройшли у своєму розвитку декілька періодів. Підґрунтям для вивчення цього процесу є

писемні пам'ятки для кожної мови у відповідні історичні епохи [2].

Вплив скандинавських мов сприяв зникненню складної системи відмінків у давньоанглійській мові та переходу до більш аналітичної структури речення.

Деякі релігійні терміни були запозичені з інших германських мов; серед них давньоскандинавське *helviti* «пекло» та давньоскандинавське *sal* «душа» [22]. Важливість скандинавських слів-позик полягає в тому, що вони виявляють взаємні домашні стосунки двох рас. Що стосується позикових слів, то існує лише близько дев'яťсот слів, що не дуже значне число порівняно з французьким впливом. Однак існує також однакова кількість, у якій скандинавське походження є вірогідним або в яку ввійшов вплив скандинавської форми.

Отже, завдяки злиттю двох націй багато граматичних складностей було спрощено. Ці дві нації з'єдналися в антагонізмі, але врешті-решт оселились як мирні брати. Незважаючи на ворожість, існувала взаємоповага та повага, що пояснює постійний характер скандинавського впливу [16].

Скандинавські мови значно вплинули на формування англійської, зокрема на її словниковий запас і граматичну будову. Такий мовний обмін став можливим завдяки тривалому співжиттю народів, активним міжкультурним зв'язкам і поступовому злиттю мовних традицій, що сприяло розвитку англійської як більш аналітичної та гнучкої системи.

Варто зазначити, що англійська мова отримала значне збагачення словникового складу та спрощення граматичної системи під впливом скандинавських мов. Це сприяло формуванню більш аналітичного синтаксису, завдяки чому англійська стала гнучкою й зрозумілою для міжетнічного спілкування, що визначило напрям її подальшої еволюції.

Висновки до розділу 2

Лінгвістичний вплив скандинавських мов на англійську був одним із ключових чинників її розвитку у середньовічний період. Тривале співіснування англосаксів та скандинавів спричинило не лише запозичення окремих слів, а й глибші структурні зміни.

Найбільш далекосяжний вплив скандинавів мав був на вимову, граматику та синтаксис мови. Вплив скандинавських завоювань спостерігається у трьох сферах: певні топоніми та власні імена, введення нових слів датського походження, модифікація щодо граматики та синтаксису. Контакти сприяли вирівнюванню мовних структур, що зробило англійську більш гнучкою та зрозумілою для різних мовних груп. Мовний обмін став можливим завдяки тривалому співжиттю народів, активним міжкультурним зв'язкам і поступовому злиттю мовних традицій, що сприяло розвитку англійської як більш аналітичної та гнучкої системи.

Крім того, інтенсифікація землеробства та перехід скандинавів до осілого способу життя заклали підґрунтя для подальшої еволюції англійської мови, зробивши її більш універсальною та придатною до глобального поширення.

Не можна не оцінити роль рунічного письма. До приходу латиниці (разом із християнством у VII ст.) руни були основною системою письма англосаксів. Деякі літери залишалися в англійській писемності аж до пізнього середньовіччя, поки їх не витіснили диграфи th. Саме рунічне письмо давніх германців мало надзвичайно важливе значення для розуміння становлення мов окремих народностей. Усі сучасні мови, що належать до германської групи, пройшли у своєму розвитку декілька періодів. Підґрунтям для вивчення цього процесу є писемні пам'ятки для кожної мови у відповідні історичні епохи.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНИЙ АНАЛІЗ СКАНДИНАВСЬКИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СУЧАСНІЙ АНГЛІЙСЬКІЙ МОВІ

3.1. Лексичні запозичення скандинавського походження

Лексичні запозичення скандинавського походження – це слова, що потрапили до англійської та інших європейських мов унаслідок контакту з вікінгами та давньоскандинавською культурою. Вони охоплюють побутову лексику, військові терміни та елементи суспільного життя [4].

Скандинавські запозичення збагатили словниковий склад англійської мови, зробивши її більш гнучкою та різноманітною. Вони сприяли зближенню германських мовних груп, адже давньоанглійська та давньоскандинавська були спорідненими. У сучасній англійській близько тисячі слів мають скандинавське походження, і багато з них належать до базової лексики [5].

Протягом свого розвитку англійська мова зазнала впливу багатьох мов, з яких вона запозичила багато різних слів. Після скандинавського та нормандського завоювань англійська мова втратила деяку частину свого споконвічного словникового складу, включаючи й ряд слів повсякденного вживання [25].

Період з IX до середини XI ст. називають скандинавськими навалами. Вікінги (норвежці та датчани) захопили Східну, а потім і Північну Англію та утворили Danelaw – «область датського права». Англія входила до складу Данської імперії до 1042 р. Скандинави утворили постійні поселення. Воїни отримували наділи, садиби, обробляли землю, розводили худобу. Сусіди англосакси, які жили поруч, запозичили в них такі слова, як: land – земля, grass – трава, bloom – цвітіння, квітка, root – корінь, bread – шматок хліба, plough – міра землі та багато інших [25].

Більшість запозичених слів, які використовувалися в повсякденному житті, позначали предмети домашнього вжитку, відносини між людьми, визначали їх характер, індивідуальні особливості та інше. Ці слова, такі як: rake, crave, scare, sly, weak, ugly, happy, knife, awkward, drown, life, dirt та інші, є невід'ємною складовою сучасної англійської мови. Деякі слова скандинавського походження набули більшої популярності в побуті та замінили англійські слова [25].

Скандинави вплинули і на назви днів тижня. Англосакси назвали чотири з них на честь скандинавських богів. Так, Tuesday – вівторок – присвячений богу перемоги Тюру; Wednesday – середа – день бога Одіна (Вотана); Thursday – четвер – носить ім'я бога Тора, сина Одіна; Friday – п'ятниця – вважалася щасливим днем, тому що була названа на честь Фрігг – богині шлюбу та сім'ї, дружини Одіна. Скандинавські слова проникли у правову систему (law – закон, bolaw – за законом, outlaw – поза законом) й у сферу економіки (score – рахунок, loan – позику, thrift – ощадливість). Можна сказати, що запозичення скандинавських

слів відбувалися в кількох напрямках. Іноді вони доповнювали значення англійських слів. Наприклад, у давньоанглійській дієслово *sepan* мав значення «повідити, оголосити», а значення «знати» у нього з'явилося під впливом скандинавського *kenna* «навчати, знати» [25].

У географічних назвах зустрічається також багато інших елементів, які походять від скандинавських запозичень, як;

- *bec* кв *Lauterbeck* (давньоісл. *vekk* – «струмок», нім. *Bach*, герм. *bakir*);

- *dale* в *Liddesdale, Kendal* (давньоісл. *dalr* – «долина», нім. *Tal*);

- *gate* в *Canongate* (давньоісл. *gata* – «дорога», нім. *Gasse*, герм. *gatwōn*).

Аналогічні утворення існують від багатьох інших слів. Загальна кількість географічних назв з скандинавськими елементами становить більше тисячі слів [8].

Суспільно-побутова лексика:

а) іменники: *crook, dirt, egg, fellow*;

б) прикметники: *awkward, flat, ill*;

в) дієслова: *bait, call, cast*.

Кількість запозичень цієї групи становить понад п'ятсот слів. Деякі слова збереглися в сучасній мові у формі більш близькій до скандинавського слова:

sister (сканд. *syster*, д.а. *sweoster*)

boon (сканд. *bōn*, д.а. *bēn*)

loan (сканд. *lān*, д.а. *læn*).

Деякі слова скандинавського походження, які широко вживалися в давньоанглійській мові, в сучасній мові вживаються дуже рідко, а деякі зустрічаються лише в північних діалектах: *kirik* (*church*), *garth* (*yard*) [8].

Багато слів, які в IX - XI ст. мали близьке значення в обох мовах, диференціювалися в сучасній мові [8].

Спільність фонетичного складу окремих морфем дає змогу стверджувати, що ці слова - скандинавського походження. Так, численні лексеми з початковими сполученнями літер *-sk* перед голосними *e* та *i* вважаються скандинавськими за походженням, тоді як власні слова під впливом французької вимови змінили це сполучення на *ch*.

Через свою генетичну спорідненість запозичення із скандинавських мов утворювали синонімічні пари. Простіші за структурою скандинавські слова інколи витісняли англосаксонські. Так, скандинавське *taka* витіснило давньоанглійське *niman* «брати»; *ill* почало вживатися замість синонімічного йому *evil*, дієвитіснило два дієслова – *sterueni* *swelten*, із яких *swelten* зникло зовсім, *asteruen* (сучасне *starve*) набуло вузького значення «умирати з голоду». Подібним чином замість англійського *hebben* «піднімати» почало вживатися скандинавське дієслово *liften*, а замість *wunen* «жити» – *dweilen* (суч. *dwel*) [8].

Отже, скандинавські запозичення – це не лише сліди історичних контактів, а й фундаментальні елементи сучасної англійської мови. Вони охоплюють базові поняття побуту, права та соціальних відносин, що свідчить про глибину культурного впливу вікінгів на європейську цивілізацію. Запозичення з скандинавських мов у значній мірі сприяли збагаченню словникового складу англійської мови.

3.2. Граматичні та синтаксичні зміни

В епоху раннього середньовіччя скандинавська північ становила край, надзвичайно відсталий у суспільному й культурному відношеннях. До кінця першого тисячоліття нашої ери, а частково й пізніше, скандинавські народи жили в умовах родового ладу. З кінця VIII ст. почався другий період переміщень і воєнної експансії, який дістав назву «епохи вікінгів» (800-1050 pp.). В цей час скандинавські воєнні дружини – нормани (тобто «північні люди») – чинять систематичні морські наскоки на приморські території інших країн та на береги великих річок. Нормани поєднували піратство й грабунок з торгівлею, захоплювали й колонізували іноді чималі території. Особливо терпіли від них Англія й Франція [6].

Щодо структури давньоанглійська мова була мовою флективною. Вона мала складну систему відмінювання імен і дієслів, порядок слів у реченні був вільним. Словниковий склад був досить однорідним, запозичень з інших мов було порівняно мало. Вплив скандинавських діалектів та змішування їх з давньоанглійськими могли прискорити ряд процесів

структурного розвитку, зокрема процес розпаду давньоанглійської флексії. Історичний матеріал знайшов своє відображення і в деяких пам'ятках давньогерманського епосу. В англосаксонській епічній поемі «Беовульф» (близько 700 р.) збереглися спогади про племінні чвари їхніх скандинавських сусідів на континенті [6].

Середньоанглійський період, що почався від норманського завоювання, тривав до 1500 р. Мова в цей час зазнає великих змін. Голосні в ненаголошених складах зазнали редукції і в зв'язку з цим різні граматичні закінчення звелися до єдиного ненаголошеного -e. У системі відмінювання і дієвідмінювання поширилася омонімія різних граматичних форм. Посилилася роль службових слів, виникла форма майбутнього часу. Почали розвиватися аналітичні форми часів і станів. З'явилася нова дієслівна форма – герундій [6].

У пам'ятках давньоісландської поезії часто спостерігається злиття дієслова і суфігovanого особового займенника першої або другої особи, т внаслідок чого утворилися своєрідні вторинні особові закінчення: veit ek > veitk – знаю я, komt þu > komtu – ти прийшов [6].

Варто згадати займенники they, them, their, що в англійській мові походять із староскандинавської (давньої норвезької) мови. Вони теж були запозичені у період контактів англосаксів із вікінгами й поступово витіснили староанглійські форми hie, him, hira. У середньоанглійський період (XII–XIV ст.) їх загальноживаність вже стала нормою. Це один із найяскравіших прикладів граматичного запозичення в англійській мові [4].

Щодо граматичних змін, доцільно відзначити:

– під впливом скандинавських мов відбулося поступове зникнення відмінкових закінчень, що зробило англійську більш аналітичною мовою;

– скандинавський вплив сприяв вирівнюванню дієслівних парадигм і поширенню слабких дієслівних форм (із закінченням -ed для минулого часу);

– після скандинавського впливу англійська поступово перейшла до фіксованого порядку слів SVO (Subject–Verb–Object), що стало нормою у середньоанглійський період;

– зникнення відмінкових закінчень призвело до більш активного використання прийменників для вираження граматичних відношень. Це зробило англійську більш схожою на сучасні германські мови, але з сильним аналітичним характером [16].

Скандинавський вплив розвинув не лише англійську лексику, але й англійську граматику та синтаксис. Вплив на використання флексій є надзвичайним у цьому контексті. Варто зауважити, застосування «must» та “will” у середньоанглійській мові відповідає скандинавському використанню [16].

У скандинавських мовах сполучення дієприкметника II з дієсловом «ставати» мали різне поширення: у давньоісландській мові траплялись нечасто, значно частіше вони в давньошведській і давньодатській мовах, наприклад, д. дат. *swe ward hanōi hael tivin af hunde* – так його в пеклі розірвали собаки. З XV ст. і пізніше в скандинавських мовах (крім ісландської) стали вживати в цих конструкціях дієслово «залишатись», «ставати», запозичене з нижньонімецької мови (д. швед. *bliva*, д. дат., д. норв. *bliffue*). У сучасних скандинавських мовах, за винятком ісландської, сполучення з дієприкметником II дієслова швед. *bliva*, дат. *blive* і норв. *bli* вживають для передачі пасиву дії, наприклад, дат. *et Kort blev hængt* – карту повісили. Сполучення із скандинавським дієсловом *varda* (д. швед. *varssa*) архаїзувалися і належать до стилістично забарвлених варіантів моделі V in + Part. II. [7].

Іншими формами вираження пасиву в скандинавських мовах є злиття дієслова із зворотним займенником у постпозиції. З цього злиття розвинувся флективний пасив сучасних скандинавських мов – так званий пасив на -s, наприклад: д. ісл. *klæpa* (одягати) – *klæpa sik* (одягтися), *kalla sik* > *kallask* (називатися); швед. *kallas* (називатись), *öppnas* (відкриватися): *Biblioteket öppnas klockan 10* – бібліотека відкривається о 10 годині. Ці дієслівні форми, що виявляють типологічну спільність із зворотними дієсловами слов'янських і балтійських мов, мають давнє походження. Вони вже є в скальдичній поезії ще до 900 р. і засвідчені в датських і шведських рунічних написах молодшими рунами з початку XI ст.

Звуки та граматичні форми, що використовуються мовою, разом із принципами, за якими будуються речення, складають систему, яка робить мову такою, якою вона є, і яка дозволяє її

носіям спілкуватися один з одним. Хоча звуки, форми та синтаксичні моделі схильні до постійних змін, це неминуче відбувається еволюційним шляхом, що зберігає основну цілісність системи. Словниковий запас мови, з іншого боку, є надзвичайно великим і набагато менш щільно пов'язаним набором елементів, які носії мови, в певному сенсі, набагато вільніше змінювати [19].

Отже, скандинавський вплив на англійську мову проявився не лише у сфері лексичних запозичень, але й у глибинних структурних трансформаціях граматичної системи. Зміни охопили займенниковий інвентар та синтаксичну організацію, що сприяло редукції морфологічної складності й поступовому переходу англійської до аналітичного типу. Саме інтенсивні контакти з давньоскандинавськими діалектами стали одним із ключових чинників формування сучасної аналітичної структури англійської мови.

3.3. Морфологічні та фонетичні інновації

Основні структурні зміни в історії англійської мови виникли на північному сході Англії та є спільними зі східно-скандинавською мовою.

Через злиття скандинавської та англійської мов відбулася значна акомодация. Особливо в галузі морфології та синтаксису лінгвістичний вплив був взаємним. Нововведення були спільними, зокрема, з данською мовою [6].

Англійська мова неодноразово була мовою, яка переносилася з однієї частини світу в іншу. Це стосується і початку її існування як чітко вираженої окремої мови [19, с. 27].

Народи з північногерманської групи, які переселилися на території, відомі нам зараз як Данія, Швеція та Норвегія (а згодом далі, до Ісландії та інших місць), залишили після себе численні тексти, що датуються приблизно 1100 р. н. е. Вони також залишили значну кількість набагато раніших текстів (відносно коротких), вирізьблених «рунами» на металевих, дерев'яних, кістяних та інших предметах [19, с. 35].

Англійська література латинською та французькою мовами, можливо, достатньо знайома, але в історії Англії також були часи, коли література давньоскандинавською мовою

створювалася та використовувалася в Англії, особливо під час правління Кнута, короля Англії, Данії, та Норвегії. Усна скандинавська хвалебна поезія, відома як «скальдські вірші», була популярним жанром при дворі Кнута у Вінчестері та інших місцях, а скандинавська поезія в Англії мала вплив як на англійські, так і на латинські твори того періоду [19, с. 81]. Запозичене слово, як воно чітко визначено, може виникнути або шляхом запозичення, або шляхом нав'язування, але воно передбачає включення лексичного елемента з мови-джерела в лексикон мови-реципієнта; і елемент може зазнати фонологічної та морфологічної адаптації в процесі, залежно від способу передачі. Типовими запозиченими словами у давньоанглійській мові є: *lið* («fleet», від давньоскандинавського *lið*), *liðsmann* («fleet-man, sailor», «follower», від Old Norse (староскандинавського) *liðsmaðr*, modern English *dream* походить від Old Norse «draumr» [19].

Норвезькі запозичення важче датувати та стратифікувати, але можна провести широке розмежування між тими, що, ймовірно, потрапили до англійської мови шляхом запозичення (десяте та одинадцяте століття), та тими, що потрапили шляхом нав'язування після зникнення мови (одинадцяте та дванадцяте століття), хоча, звичайно, ці два процеси могли відбуватися одночасно в різних частинах країни [19, с. 86].

Слова, що прийшли зі скандинавських мов: *bask, beck, cast, fellow, gape, hit, husband, ill, knife, law, leg, loft, meek, skill, skirt, sky, take, though, want, wrong* [17, с. 90].

У давньоскандинавській мові існувала система відмінювання з чотирма відмінками (називний, знахідний, давальний, родовий) та двома числами. Фактична форма дієслівних форм залежала від родової основи іменника або прикметника. Дієслова відмінювалися за часом і способом, особі та числі. Ця система збереглася в ісландській мові. В мовах особові займенники розрізняють називну та неназивну (залежну) форму (наприклад, шведське *jag* «я», *mig* «мене») [7].

Дієслова відмінюються лише за часом, з -г як звичайним маркером теперішнього часу (у новій норвезькій мові немає закінчення для позначення теперішнього часу в сильних дієсловах), тоді як претерити (минулі часи) мають зміни аблауту

від основи до голосної в сильних дієсловах та зубний суфікс у слабких дієсловах [22].

Морфологічно відокремлену групу сильних дієслів становили в переважній більшості дієслова, спільні для всіх германських мов і походженням, і лексичним значенням. Розходження між окремими мовами зводилися до того, що певне дієслово могло належати в одній мові до сильної, а в іншій до слабкої відміни, в одній з германських мов таке дієслово могло існувати, а в інших відповідного дієслова не було. Скандинавські дієслова із закінченням основи на подовжений глухий проривний (pp, tt, kk), що є наслідком явища асиміляції, носового з наступним глухим проривним: nk, kk; пор. д. англ. *drincan* та д. ісл. *drekka* [7, с. 70].

Епоха вікінгів мала значний вплив на фонетику англійської мови, призвівши до заміни певних звуків, втрати деяких приголосних та появи нових звуків. Зокрема, відбулося значне спрощення системи приголосних звуків (наприклад, зникнення дзвінкх фрикативних, таких як /v/, /ð/, /z/). Також були введені нові звуки, як-от /k/ та /g/ [7].

Система приголосних звуків була спрощена, а деякі звуки були втрачені або замінені на інші. Також деякі звуки, що існували в давньоанглійській мові, були втрачені в епоху вікінгів [3].

Неможливо не зробити акцент на пом'якшенні у фонетиці. Безсумнівно, процес палаталізації з подальшою сибілізацією не відбувся одразу, ймовірно, що перехід /k/, /g/, /ɣ/, /sk/ у звуки /tʃ/, /dʒ/, /j/, /ʃ/ пливув поступово: *k > *c > tʃ; так само *g > *ɣ > dʒ. [3]

Сама ж палаталізація трапилася в таких позиціях:

1. На початку слів: *c /k/ і *g /ɣ/ палаталізувалися перед передніми голосними (за винятком і-умлаута, себто вторинних передніх голосних, що постали з іншого голосного) і палатальним апроксимантом j: *західногерм. *kin > давньоангл. cinn /ʃinn/; geldan /yeldan/ > ġieldan /jeldan/*. Але: *kunnj- > cunn /kynn/, звук /y/ тут походить з /u/, тому палаталізація не відбувається.

2. У середині слів *-c(c)- /k(k)/ і *-g(g)- /ɣ(ɣ)/ палаталізуються перед i, j, а *-ɣ/- палаталізується перед усіма передніми голосними: *західногерм. *bruki > давньоангл. bryçe; *hugi > hyge; *prukkjan > pryccan; *wiggja > wiçg*.

3. Наприкінці слів *-c /k/* і *-g /ɣ/* палатилізуються попереднім голосним переднього ряду : *західногерм. *dīk > давньоангл. diċ; *dag /ðɑɣ/ > dæġ.*

У комбінації **ng* звук */ɣ/* перейшов у */dʒ/*, перед цим перетворившись на */g/*: *західногерм. *sangjan /sanɣjan/ > давньоангл. sengen /sendʒen/ [3].*

Отже, скандинавські мови мали помітний фонетичний вплив на англійську, особливо в період після варварських завоювань, сприяючи спрощенню звукової системи та зближенню вимови між діалектами.

Висновки до розділу 3

У сучасній англійській мові налічується безліч лексем скандинавського походження, значна частина яких належить до базового словникового фонду. У процесі історичного розвитку англійська мова зазнала впливу різних мовних систем, що зумовило активне запозичення лексики. Відтак, внаслідок скандинавських та нормандських завоювань відбулося часткове витіснення питомих англосаксонських елементів, зокрема й низки слів повсякденного вжитку. Відтак, фонетичний вплив скандинавських мов на англійську мову виявився у тенденції до спрощення її звукової системи, збереженні низки скандинавських фонем, стабілізації акцентуаційних моделей та зближенні окремих діалектних форм. Скандинавські мови мали помітний фонетичний вплив на англійську, особливо в період після завоювань вікінгів, сприяючи спрощенню звукової системи та зближенню вимови між діалектами.

Зазначені процеси зумовили підвищення структурної гнучкості англійської мови, посилили її здатність до інтеграції нових мовних елементів і, зрештою, сприяли формуванню її сучасного фонетичного обличчя.

Як наслідок, Епоха вікінгів мала значний вплив на фонетику англійської мови, призвівши до заміни певних звуків, втрати деяких приголосних та появи нових звуків. Зокрема, відбулося значне спрощення системи приголосних звуків.

ВИСНОВКИ

Велике переселення народів у IV ст. н.е. призвело до масової міграції германців територією Європи, розпаду Римської імперії, утворенню перших германських держав та формуванню феодальних відносин. Також важливою історичною сторінкою відображається еволюція англійської мови під впливом зовнішніх факторів, особливо довготривалим завоюванням вікінгів, які окупували території Британських островів.

У Скандинавії ж, у свою чергу, до самої Епохи вікінгів існувала єдина давньоскандинавська мова або давньопівнічна. Слід зазначити, що свідоме розрізнення окремих скандинавських мов з'являється вже у пізньому середньовіччі. Усі сучасні мови, що належать до германської групи, пройшли у своєму розвитку декілька схожих періодів.

Грабіжницькі походи сприяли соціальному розшаруванню племен, нагромаджували багатства в руках меншості, зміцнювали владу конунгів і вождів, а зрештою сприяли ліквідації патріархальних родових відносин та племінного ладу і виникненню на його руїнах великих державних утворень. За ці кілька століть північні германці перейшли від воєнної демократії родового ладу до феодалізму. Унаслідок цього відбувалась асиміляція культур та мов між скандинавами та англосаксами, навіть укладання шлюбу.

Завдяки цій асиміляції англійська мова отримала нові слова, зазнала граматичних спрощень та отримала підґрунтя для сучасної системи англійської мови. Варто узагальнити, що скандинавські мови мали істотний та різнобічний вплив на становлення англійської мови.

Впливу зазнала і писемність. Рунічне письмо давніх германців надзвичайно важливе для розуміння становлення мов окремих народностей. Рунічні надписи короткі – зазвичай лише одне слово. В Англії руни широко використовувалися для написання великих текстів. Саме цим пояснюється й багатство місцевої рунічної абетки. Підґрунтям для вивчення цього процесу є писемні пам'ятки для кожної мови у відповідні історичні епохи.

У сучасній англійській мові налічується безліч лексем скандинавського походження, значна частина яких належить до базового словникового фонду. У процесі історичного розвитку

англійська мова зіткнулася з активним запозиченням лексики. А також, внаслідок скандинавських та нормандських завоювань відбулося часткове витіснення питомих англосаксонських елементів, зокрема й низки слів повсякденного вжитку.

Лексичні запозичення скандинавського походження – це слова, що потрапили до англійської та інших європейських мов унаслідок контакту з вікінгами та давньоскандинавською культурою. Вони охоплюють побутову лексику, військові терміни та елементи суспільного життя. Скандинавські запозичення, в свою чергу, збагатили словниковий склад англійської мови, зробивши її більш гнучкою та різноманітною. Вони сприяли зближенню германських мовних груп, адже давньоанглійська та давньоскандинавська були спорідненими.

У сучасній англійській мові близько тисячі слів мають скандинавське походження, і багато з них належать до базової лексики. Складна граматики та фонетика пояснюються складним і тривалим історичним періодом, результатом контакту з небажаними загарбниками, асиміляцією в різних сферах життя. Але, попри всі зовнішні фактори, мова не припинила своє існування. Вона збагатилась та еволюціювала разом з культурою. Сьогодні ми бачимо, що сучасна англійська мова займає передове місце у світі. А завдяки лінгвістичним дослідженням можемо краще розуміти її глибинність та складність формування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вікінги : яким насправді був народ воїнів, що наганяли жах на всю Європу. URL : <https://www.hroniky.com/news/view/14305-vikinhy-iakym-naspravdi-buv-narod-voiniv-shcho-nahanialy-zhakh-na-vsiu-ievropu> (дата звернення 21.10.2025).

2. Вступ до германського мовознавства. URL : https://eprints.zu.edu.ua/34620/1/Introduction_to_Germanic_Linguistics.pdf (дата звернення 21.10.2025).

3. Давньоскандинавська мова – Вікіпедія. URL : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D1%8C%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D1%81%D1%8C%D>

0%D0%BA%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0 (дата звернення 21.10.2025).

4. Дмитрук О. П. Система скандинавських впливів у стародавній англійській мові. URL : https://www.psyh.kiev.ua/Дмитрук_О.П._Система_скандинавськи_x_впливів_у_стародавній_англійській_мові#google_vignette (дата звернення 21.10.2025).

5. Євченко В. В. Історія англійської мови : навч.-метод. посіб. Житомир : ЖДУ ім. І.Франка, 2016. 403 с.

6. Жлуктенко Ю. О., Яворська Т. А. Вступ до германського мовознавства. URL : https://www.inmo.org.ua/assets/files/Vstup%20do%20herm.%20mov_oznavstva.pdf (дата звернення 21.10.2025).

7. Жлуктенко Ю. О., Яворська Т. А. Вступ до германського мовознавства. Київ : Вища школа, 1986. 113 с.

8. Збагачення англійського словника іншомовними запозиченнями. URL : <https://studfile.net/preview/5511866/page:9/> (дата звернення 21.10.2025).

9. Історія англійської мови : посіб. для здобувачів ОС «бакалавр» ф-тів іноз. мов вищ. закл. освіти /. уклад. : Євгенія Процько, Ольга Яловенко. Умань : Уманський держ. ун-т імені Павла Тичини, 2025. 152 с.

10. Колесник О. С. Практикум з історії англійської мови. Чернігів : РВВ ЧДПУ імені Т. Г. Шевченка, 2004. 52 с.

11. Костюченко Ю. П. До питання про давальний відмінок у давньогерманських мовах. *Мовознавство*. 1980. № 3. С. 70-74.

12. Левицький В. В. Основи германістики. Вінниця : Нова книга, 2008. 528 с.

13. Методика викладання іноземних мов. *Збірник наукових праць за матеріалами Міжнародної студентської науково-практичної конференції*. Ізмаїл : РВВ ІДПУ, 2017. 100 с.

14. Сабо О. А. Вступ до германського мовознавства в таблицях (англійською мовою) : навч. посібник. Київ : «Освіта України», 2007. 152 с.

15. Скандинавське завоювання та його наслідки. URL: https://www.academia.edu/7641051/%D0%A1%D0%9A%D0%90%D0%9D%D0%94%D0%98%D0%9D%D0%90%D0%92%D0%A1%D0%AC%D0%9A%D0%95_%D0%97%D0%90%D0%92%D0%9E

%D0%AE%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%9D%D0%AF_%D0%90%D0%9D%D0%93%D0%9B%D0%86%D0%87_%D0%A2%D0%90_%D0%99%D0%9E%D0%93%D0%9E (дата звернення 21.10.2025).

16. Скандинавський вплив на англійську мову: детальне дослідження з точки зору лексики, граматики та синтаксису. URL : <https://uk.fusedlearning.com/scandinavian-influence-english-language> (дата звернення 21.10.2025).

17. Baugh A., Cable T. A History of the English Language. – London; N.-Y.: Routledge, 2002. 447 p.

18. Brinton L. J., Arnovick L. K. The English Language: A Linguistic History. – Toronto: CUP Canada, 2011. 647 p.

19. Mugglestone L. The Oxford History of English. Oxford: Oxford University Press, 2006. 485 p.

20. Palatalization of velars: A major link of Old English and Old Frisian. In Rolf H. Bremmer Jr, Stephen Laker & Oebele Vries (eds.), *Advances in Old Frisian Philology*. Amsterdam/Atlanta: Rodopi, p. 165-184.

21. Sarah M. B. Fagan, German: A Linguistic Introduction, Cambridge University Press, 2009. 317 p.

22. Scandinavian languages | Norse, Swedish, Danish, & Norwegian | Britannica. URL : <https://www.britannica.com/topic/Scandinavian-languages> (дата звернення 21.10.2025).

23. Verba L. History of the English language : [посібник] / L. Verba ; ed. By Dr. E. F. Riccio. Vinnytsia : Nova knyha, 2004. 304 p.

24. Viking | History, Exploration, Facts, & Maps | Britannica. URL : <https://www.britannica.com/topic/Viking-people> (дата звернення 21.10.2025).

25. Repository of Kyiv National Linguistic University URL : <http://rep.knlu.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/787878787/4987/%D0%93%D0%BB%D1%83%D1%89%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%2C%20%D0%9C%D0%BB%D0%B0%2003-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 21.10.2025).

Германська група мов



Розповсюдження германських мов в Європі: Західногерманські мови

- Нідерландська
- Нижньонімецька
- Центральнонімецька
(Верхньонімецька, Західногерманська)
- Південнонімецька
- Англійська
- Шотландська
- Фризська

Скандинавські мови (Північногерманські)

- Данська
- Ісландська
- Норвезька
- Фарерська
- Шведська
- Межа між північногерманською та західногерманською групами

2.10. Ємець Олександр, здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище», науково-дослідницька робота «Розробка та валідація моделі машинного навчання для виявлення ознак дезінформаційних компаній у соціальних мережах»

Здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище» Ємець Олександр Володимирович за науково-дослідницьку роботу «Розробка та валідація моделі машинного навчання для виявлення ознак дезінформаційних компаній у соціальних мережах» отримав диплом учасника **Конкурсу**

Відділення: інформаційних технологій
Секція: кібербезпека

Педагогічна керівниця: Базилівська Анастасія Олегівна, викладачка інформатики та інформаційних технологій Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище»

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕЗІНФОРМАЦІЇ	6
1.1. Дезінформаційні кампанії в соціальних мережах: поняття, механізми поширення, структура	6
1.2. Технологічні підходи до виявлення маніпулятивного контенту засобами машинного навчання	10
Висновки до розділу 1	12
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДЕЗІНФОРМАЦІЙНОГО КОНТЕНТУ	14

2.1. Методи збору, підготовки та маркування даних для виявлення дезінформації	14
2.2. Застосування існуючих моделей машинного навчання для ідентифікації дезінформаційних повідомлень у соціальних мережах	17
Висновки до розділу 2	20
ВИСНОВКИ	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	24

ВСТУП

Актуальність дослідження. Соціальні мережі стали не лише середовищем обміну інформацією, а й інструментом гібридного впливу, в межах якого активно функціонують дезінформаційні кампанії, здатні змінювати уявлення про реальність, модифікувати соціальні наративи, впливати на громадську думку та порушувати інформаційну безпеку. Актуалізація цієї проблеми обумовлена значним посиленням масштабів і технічної складності маніпулятивного контенту, особливо в умовах військової, політичної та економічної нестабільності. Дезінформація поширюється через складні бот-мережі, фейкові акаунти, координовані інформаційні атаки, що часто маскуються під достовірний новинний потік. Сучасні інформаційні потоки характеризуються високою швидкістю генерації повідомлень і багатовимірністю сигналів – візуальних, текстових, мережових – що значно ускладнює виявлення маніпуляцій традиційними аналітичними методами. У цьому контексті машинне навчання виступає не лише як інструмент автоматизації виявлення аномалій, а як самостійний підхід до вивчення прихованих закономірностей поширення дезінформації.

Побудова моделей класифікації, що спираються на поведінкові патерни, лексичні маркери, синтаксичні деформації, дозволяє виявляти неочевидні ознаки фальсифікованого або навмисно викривленого контенту. Водночас розробка таких моделей стикається з проблемами формалізації поняття дезінформації, нестачею репрезентативних корпусів даних, розмитістю критеріїв істинності, а також із методологічними

складнощами маркування та валідації навчальних вибірок. Вивчення цієї проблематики на перетині соціальних наук, лінгвістики й комп'ютерних технологій дозволяє не лише створювати інструменти ідентифікації фейкових повідомлень, а й осмислити інформаційний простір як політичну арену нового типу, де контент стає знаряддям впливу. Таким чином, актуальність дослідження визначається як потребою в практичних інструментах протидії дезінформації, так і необхідністю наукового осмислення принципів їх побудови на основі технологій машинного навчання.

Теоретичне підґрунтя. У сучасних дослідженнях з інформаційної безпеки, когнітивної лінгвістики та штучного інтелекту дедалі більше уваги приділяється проблемі дезінформації в цифровому середовищі. У роботах Голуб О. П., Костюка В. В., Квіта С. М. та Балаласової О. Ю. розкривається сутність інформаційних маніпуляцій як інструменту деструктивного впливу, описуються механізми поширення фейкових повідомлень через медіа та соціальні платформи. Роботи Макарука Л. Л., Костюченка О. М. та Котляра С. В. висвітлюють можливості використання нейронних мереж, методів класифікації, глибокого навчання та тематичного моделювання для аналізу новинних повідомлень, що мають ознаки фальсифікації або пропаганди.

Теоретичні підходи до маркування даних, побудови збалансованих вибірок, оцінювання точності моделей і визначення релевантних ознак для виявлення дезінформації подані в міждисциплінарних дослідженнях на стику журналістики, інформаційних технологій та соціальної психології. Теоретичне підґрунтя охоплює також компаративний аналіз міжнародних ініціатив боротьби з фейками – від краудсорсингових платформ до систем урядового моніторингу – що створює додаткові орієнтири для моделювання універсального підходу на основі ML-систем.

Мета дослідження. Розробити та валідувати модель машинного навчання для виявлення ознак дезінформаційних кампаній у соціальних мережах.

Завдання дослідження:

– проаналізувати поняття, структуру та механізми поширення дезінформаційних кампаній у соціальних мережах;

- описати технологічні підходи до виявлення маніпулятивного контенту засобами машинного навчання;
- обґрунтувати методи збору, підготовки та маркування даних для ідентифікації дезінформації;
- дослідити ефективність застосування існуючих моделей машинного навчання для виявлення дезінформаційних повідомлень у соціальних мережах.

Об'єктом дослідження є дезінформаційний контент у соціальних мережах.

Предметом дослідження є – методи виявлення дезінформаційних повідомлень із використанням технологій машинного навчання.

Методи дослідження. У дослідженні використано сукупність загальнонаукових і спеціальних методів, що дали змогу всебічно охарактеризувати природу дезінформаційних кампаній у соціальних мережах та систематизувати теоретичні підходи до їх виявлення. Основним виступив метод логіко-аналітичного узагальнення, що дозволив структурувати наукові джерела, зіставити існуючі позиції щодо класифікації інформаційних впливів, а також систематизувати ключові ознаки дезінформаційного контенту. Порівняльно-аналітичний метод застосовано для виявлення спільних і відмінних підходів до протидії дезінформації в різних наукових школах, включно з аналізом поглядів українських і зарубіжних дослідників. Метод контент-аналізу використано для вивчення наукової та професійної літератури, присвяченої механізмам поширення фейкових повідомлень, особливостям функціонування соціальних платформ і специфіці маніпулятивної комунікації. Історико-ретроспективний підхід дозволив простежити еволюцію поняття дезінформації в масмедіа та в соціальному дискурсі загалом.

Структура роботи. Робота складається з двох розділів, підрозділів, висновків до розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Список використаних джерел налічує 26 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ДЕЗІНФОРМАЦІЇ

1.1. Дезінформаційні кампанії в соціальних мережах: поняття, механізми поширення, структура

У цифровому інформаційному середовищі соціальні мережі перетворилися на потужний канал формування уявлень, смислів і колективних уявлень, де дезінформаційні кампанії функціонують не як поодинокі акти обману, а як системно організовані нарративні конструкції з чіткою структурою, ритмом поширення та адаптивною мовною палітрою. Основою таких повідомлень є семантична модель, побудована навколо тригерних понять, які активують емоційні реакції та приглушують когнітивну рефлексію. Це можуть бути узагальнені метафори, оцінні судження без фактологічного обґрунтування, посилення на уявну легітимність або авторитетність джерела, що лише імітує експертність. При цьому використовуються евристичні – спрощені ментальні шаблони сприйняття, які дозволяють обробляти складну інформацію на основі довіри, знайомості чи подібності [14, с. 47].

Візуальні складові повідомлення нерідко слугують не ілюстрацією, а засобом емоційного підсилення: гіперболізовані образи, маніпулятивні колажі або кадри, вирвані з контексту, розміщені в поєднанні з лозунговими підписами, створюють враження автентичності. Поширення відбувається через використання знайомих мовних патернів, наближених до побутової мови цільової аудиторії – через жаргон, сленг, локальні меми, що підвищує довіру до повідомлення як «свого». Таким чином, дезінформаційне повідомлення у соціальних мережах діє не лише через зміст, а й через форму, ритм, стиль викладу та здатність інтегруватися в уже наявні дискурсивні структури групи або спільноти. Механізм його поширення подібний до меметичного: повідомлення розмножується, видозмінюється і адаптується до нових комунікативних обставин, підтримуючи власну життєздатність за рахунок інтерактивності та багатозорової інтерпретації. Платформи сприяють цьому

завдяки моделі підсилення – ті повідомлення, що отримують емоційний відгук, частіше зберігаються й просуються через алгоритми, формуючи враження масової підтримки, яке додатково зміцнює впевненість користувача в їх правдивості. Внутрішня структура дезінформації тяжіє до наративу, а не аргументації: вона не доводить – вона розповідає. Це дозволяє формувати віртуальні спільноти навколо обраної теми, де учасники починають не просто повторювати зміст, а продукувати власні версії, посилюючи ефект вірусності [24, с. 8].

Алгоритмічне середовище соціальних платформ суттєво модифікує динаміку розгортання дезінформаційних кампаній, дозволяючи їм досягати високої інтенсивності за короткий проміжок часу. Це стало можливим завдяки технологічній природі самих платформ, де рекомендаційні механізми оптимізовані на максимізацію залученості, а не достовірності. Коли дезінформаційне повідомлення активізує сильну афективну реакцію (страх, гнів, обурення), воно автоматично підвищується в системі ранжування, оскільки такі емоції стимулюють більше взаємодій. Додатково використовуються автоматизовані облікові записи – боти – які множать згадки, створюють ілюзію масової підтримки або несхвального резонансу. За певної кількості реакцій контент починає поширюватися на ширші сегменти аудиторії, не завжди спорідненої за світоглядом, але схильної до емоційно забарвленого контенту. Механізм таргетингу дозволяє сконцентрувати поширення саме на ті групи користувачів, які виявляють чутливість до теми або демонструють патерни поведінки, що корелюють із бажаною реакцією (висока частота коментування, зацікавленість у схожих темах, підписка на релевантні сторінки). Хештеги виконують функцію індексації, але водночас – і агрегації контенту, що дозволяє створювати інформаційні бульбашки, де користувач стикається переважно з матеріалами однієї наративної орієнтації. Таким чином, інфраструктура соціальних мереж діє як прискорювач – вона знижує бар'єри для поширення, автоматизує підсилення сигналів та дозволяє кампаніям масштабуватися без пропорційного зростання зусиль. Механізми на кшталт «поділитися», «зберегти», «відзначити друга» формують паралельну траєкторію – через горизонтальні соціальні зв'язки, які активізують дезінформаційний трафік у середовищах довіри. Платформи не

просто розміщують контент – вони його маршрутизують, повторно архівують і відновлюють, часто без втрати актуальності, особливо якщо інформаційний привід циклічно повторюється. Ця системна динаміка не є випадковою: вона відображає логіку цифрового капіталізму, де вартість вимірюється залученням, а не якістю контенту [20, с. 44].

Щоб описати логіку побудови дезінформаційного повідомлення, слід урахувати не лише лінгвістичні особливості, а й гештальтну композицію. Таке повідомлення вибудовується за принципом ефекту когнітивного замикання: воно починається з чіткої тези, що апелює до інтуїтивної справедливості або персонального досвіду користувача. Надалі слідують блоки напівфактів – фрази, які містять певні реальні елементи, однак позбавлені контексту, часових меж або достовірних джерел. Їхня функція – створити ілюзію інформованості, при якій одержувач не відчуває потреби верифікувати зміст. Потім включається афективний фрейм – це словесна конструкція, яка вмикає емпатію або загрозу, знижуючи аналітичне сприйняття. При цьому часто використовується гра на контрастах: образ «жертви» та «винного», «правильного» та «зрадника», де не передбачається третьої позиції. Риторично такі повідомлення мають риси агресивної прямоти або, навпаки, псевдоіронії, що замінює аргументи натяком, сарказмом чи глузуванням [13, с. 4].

Семантично ж застосовуються двозначні слова, здатні адаптуватися до різних контекстів, забезпечуючи багатозначність інтерпретації та зручність для ретрансляції. Візуальний компонент – ключовий для закріплення меседжу. Зображення, особливо ті, що викликають дискомфорт або цікавість, мають здатність запам'ятовуватись краще, ніж текст. Вони кодують повідомлення на підсвідомому рівні, активуючи асоціативну пам'ять. Колористика – ще один елемент впливу: використання червоного, чорного або контрастних кольорів посилює тривожність і провокує дію. Загалом, структура дезінформаційного повідомлення – це конструкт, що діє синергетично: кожен елемент підтримує інший, створюючи загальний ефект достовірності, який не вимагає раціонального аналізу.

Цифрові платформи формують своєрідну екосистему, де дезінформаційна кампанія функціонує як самовідтворювана одиниця. Завдяки гнучкій взаємодії між людськими агентами й алгоритмами, такі кампанії здатні змінювати напрямки, теми та інтенсивність відповідно до фідбеку аудиторії. Це відбувається шляхом зчитування поведінкових сигналів – переглядів, лайків, зупинок прокручування – які аналізуються в реальному часі та використовуються для корекції параметрів поширення. Таким чином, алгоритм адаптує дезінформаційне повідомлення до конкретного середовища, змінюючи заголовок, прев'ю, черговість елементів. До цього додається можливість мікротестування: створення кількох версій одного повідомлення, з подальшим підсиленням того, яке демонструє кращу ефективність. Ця практика, запозичена з цифрового маркетингу, дає змогу досягати високого рівня персоналізації навіть без активної участі оператора кампанії. Якщо раніше дезінформація поширювалася лінійно – через копіювання й пересилання, – тепер вона розгортається як адаптивна мережа, здатна генерувати нові вузли та модифікувати свою морфологію [18, с. 12].

У цій системі меми, відео, короткі цитати, коментарі відіграють функцію переносників – вони не несуть у собі повного повідомлення, але активують його фрагмент у пам'яті користувача. Завдяки цьому кампанія може існувати навіть у латентному режимі – до моменту появи зовнішнього тригера, який переведе її в активну фазу. Тому кожна дезінформаційна кампанія не є фіксованою подією, а радше – процесом із розмитими межами, який здатен до тривалого виживання, мутації та самореплікації.

1.2. Технологічні підходи до виявлення маніпулятивного контенту засобами машинного навчання

У сфері машинного навчання проблема автоматизованого виявлення дезінформаційного або маніпулятивного контенту формалізується насамперед як класифікаційна задача, що дозволяє алгоритмам розрізнити між категоріями правдивого й неправдивого повідомлення. На початковому рівні таке завдання описується у вигляді двокласової класифікації, де кожному текстовому фрагменту призначається один із двох класів –

достовірне або недостовірне. У складніших випадках запроваджується багатокласова структура, яка враховує додаткові стани, як-от часткова дезінформація, сатиричне викривлення, пропагандистське узагальнення або фрагментарна правда. Такий підхід дозволяє моделі формувати диференційоване уявлення про контент не як бінарне явище, а як спектр ймовірностей, у якому градація маніпулятивності може бути відображена з високою точністю. В основі цього процесу лежить конструювання вибірки з уже верифікованих текстів, що є критичним етапом – якість навчального корпусу безпосередньо визначає ефективність класифікатора. Особливість полягає в тому, що самі ознаки, які дозволяють відрізнити дезінформаційний текст, не завжди очевидні: маніпуляція може бути прихованою в стилі, тональності, еліпсисах, синтаксичній структурі [26, с. 9].

Тому модель має не лише оперувати поверхневими маркерами, а й засвоїти глибші патерни, які потребують складного рівня абстракції. У цьому контексті застосовуються глибокі нейронні архітектури, зокрема трансформери (як-от BERT, RoBERTa), здатні опрацьовувати контекст у межах всього документа, а не лише на рівні окремих речень. У підсумку класифікаційна модель не просто виконує сортування, а формує предиктивний профіль кожного повідомлення, базуючись на статистичних зв'язках між ознаками та класами. При цьому її успішність значною мірою залежить від вбудованої здатності розрізняти неочевидні семантичні конструкції, які для людини сприймаються як інтуїтивно підозрілі, але для машини вимагають додаткового моделювання через контекстуальні співвідношення.

Лінгвістичні та контекстуальні ознаки виступають основною сировиною, з якої моделі машинного навчання формують уявлення про ймовірність маніпуляції в тексті. Лексичні маркери – це окремі слова, фрази, частоти вживання певних одиниць, які можуть свідчити про тенденцію до емоційної маніпуляції або упередженого висвітлення. Зокрема, надмірне вживання експресивної лексики, повторюваних фраз, узагальнень без уточнень – усе це створює патерни, характерні для дезінформаційного стилю. Стилiстичні параметри включають довжину речень, частоту складних синтаксичних конструкцій, використання пасивних форм або риторичних запитань. Вони є

індикаторами того, наскільки текст тяжіє до сугестивного впливу замість об'єктивного інформування. Семантичні ознаки вимагають глибшої обробки, адже вони стосуються зв'язків між поняттями, логіки висловлювань, відповідності тверджень загальновідомим фактам або логічній цілісності. Тут застосовуються техніки векторного представлення – word embeddings, sentence embeddings, контекстуальні моделі – які дозволяють моделі співвіднести зміст тексту з відомими фактами або зразками попередньої поведінки [10, с. 15].

До контекстуальних ознак належать метадані – джерело публікації, його історія надійності, дата створення повідомлення (особливо актуально для тем з обмеженим часовим діапазоном), кількість і характер реакцій користувачів, історія редагування. Навіть час публікації може мати значення, оскільки кампанії поширення дезінформації часто синхронізовані з конкретними подіями або кризами. Також значущими є пов'язані повідомлення – чи відповідає цей текст попереднім публікаціям автора, чи суперечить він сам собі. Усе це піддається квантифікації та вводиться до моделі у вигляді векторів ознак. У результаті модель має змогу не просто розпізнати явну дезінформацію, а й виявити менш очевидні, напівприховані її форми, які базуються на викривленні контексту або спотворенні інтерпретацій. Залежно від цільової архітектури, такі ознаки можуть піддаватися окремому ваговому ранжуванню, що дозволяє дослідникам і розробникам аналізувати внесок кожної характеристики в остаточний прогноз моделі.

У випадках, коли класифікаційне завдання стосується багатомовного середовища або змішаних текстових жанрів, модель стикається з потребою у ще більш гнучкому наборі ознак. Контент, створений із метою маніпуляції, часто використовує кодову мову, метафори, локальні меми, або сленг, який змінюється залежно від цільової аудиторії. Це вимагає від моделі розширеного лінгвістичного ядра – здатності інтерпретувати значення не лише на рівні слів, а й дискурсивних практик. Для цього застосовуються попередньо навчені мовні моделі, які пройшли адаптацію на різних корпусах, включно з соціальними мережами, новинними сайтами, форумами, що дозволяє їм уловлювати закономірності вживання слів у неформальних і маніпулятивних контекстах. У разі, коли метою є не лише

класифікація, а й пояснення – тобто, щоб модель могла обґрунтувати, чому вона вважає повідомлення дезінформаційним, – інтегруються підходи пояснювального машинного навчання. Такі моделі можуть вказати, які саме слова, фрази або ознаки вплинули на рішення, що особливо цінно для етичного застосування в журналістиці, платформеній модерації або судовому аналізу контенту [25, с. 4].

Ще один напрям – інтеграція соціальних характеристик повідомлення, як-от темп зростання реакцій, патерни репостів, структури поширення у мережі. Вони доповнюють лінгвістичні ознаки, формуючи комплексний портрет повідомлення як комунікативного акту, а не ізольованого тексту. Прикладом тут є моделі, що будують графи взаємодій і аналізують, які вузли (користувачі, сторінки) найбільше сприяють вірусному ефекту повідомлення, що, в свою чергу, може свідчити про його штучне походження.

Висновки до розділу 1

У підсумку першого розділу з'ясовано, що дезінформаційні кампанії у соціальних мережах мають форму «системно організованих нарративних конструкцій» із тригерними поняттями, що викликають «емоційні реакції та приглушують когнітивну рефлексію». Вони оперують «узагальненими метафорами», гіперболізованими зображеннями, жаргоном і мемами, вбудованими в локальний дискурс, діючи не лише через зміст, а й «через форму, ритм, стиль викладу». Алгоритмічне середовище платформ прискорює поширення, використовуючи «модель підсилення», при якій емоційно насичений контент отримує пріоритет. У технологічному аспекті завдання виявлення дезінформації формалізується як «класифікаційна задача», в якій модель машинного навчання опрацьовує текст за низкою ознак – лексичних, стилістичних, семантичних, контекстуальних – із використанням архітектур на кшталт BERT або RoBERTa. До аналізу включаються «метадані», реакції аудиторії, історія публікацій. У складніших випадках інтегруються пояснювальні моделі, що дають змогу ідентифікувати конкретні маркери маніпуляції. Таким чином, дезінформаційне повідомлення

розглядається не ізольовано, а як частина динамічного, соціально-контекстуального середовища.

РОЗДІЛ 2

ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДЕЗІНФОРМАЦІЙНОГО КОНТЕНТУ

2.1. Методи збору, підготовки та маркування даних для виявлення дезінформації

Процес формування якісного навчального корпусу для моделювання дезінформаційного контенту передбачає не лише збір текстових даних, а й глибоке розуміння функціональної природи джерел, з яких ці тексти походять. Найчастіше використовуються три категорії платформ: соціальні мережі (Facebook, X, Reddit, Telegram-канали), агрегатори новин (Google News, News API, Media Cloud) та фактчекінгові ресурси (PolitiFact, StopFake, EUvsDisinfo, Snopes). Збір даних із соціальних платформ відбувається через відкриті API або методи вебскрейпінгу, хоча останній варіант супроводжується техніко-юридичними обмеженнями та потребує реалізації систем антиблокування й динамічного проксіну [8, с. 10].

У середньому з Twitter (X) за допомогою стандартного API можна отримувати до 500 000 твітів на добу з релевантними ключовими словами, якщо використовувати багатопоточну архітектуру та географічне таргетування. З новинних сайтів щоденний обсяг отриманих статей варіюється від 20000 до 100000 документів, залежно від кількості джерел і частоти оновлення стрічки. Додатково враховується темп публікацій: у період пікових подій (вибори, пандемії, кризи) інформаційний потік зростає до 170 % порівняно з середньою нормою, що потребує попереднього масштабування обчислювальної інфраструктури. Щодо фактчекінгових баз, їхня особливість полягає в тому, що кожен запис містить не лише сам текст, а й вердикт (true/false/partially true/misleading), пояснення та посилання на джерело. Такі структуровані набори особливо цінні, адже дозволяють моделі корелювати патерни не лише з текстом, а й із типом маніпуляції. Наприклад, датасет LIAR містить понад

12800 тверджень політиків США з семантичною розміткою та градацією достовірності. Усе це дозволяє формувати багатшаровий корпус, що включає як оригінальні повідомлення, так і відповідну аналітичну рамку. Для покращення якості даних застосовується метод фільтрації за ключовими словами, векторними подібностями (через cosine similarity), а також семантичне кластеризування з використанням алгоритмів UMAP або HDBSCAN, що дозволяє прибрати дублікати й аномалії.

Після первинного збору дані проходять етап підготовки – це трансформаційна фаза, що включає чистку, нормалізацію та структурування вхідних повідомлень. У контексті дезінформації особливо важливо працювати з повнотекстовими матеріалами, а не лише з фрагментами. Стандартний пайплайн передбачає видалення HTML-тегів, токенизацію, лематизацію та очищення від стоп-слів, однак на практиці часто зберігають частину таких елементів, якщо вони мають вплив на стилістичну модель (наприклад, надмірні знаки оклику, капслок або нестандартні емодзі). Для більшості систем використовується власний текстовий препроцесор, оскільки класичні бібліотеки (NLTK, SpaCy) не завжди справляються з неформальним синтаксисом соцмереж. Особливо це стосується коротких повідомлень до 280 символів, де смисл часто закодований у скороченнях, хештегах або візуальних вставках. У таких випадках застосовуються векторизатори, що працюють із символами (char-level embeddings), а також моделі мультимодального навчання, де до тексту додаються мета-дані (кількість лайків, ретвітів, час публікації, довжина акаунту в днях). З технічної точки зору, перед обробкою дані стандартизуються до єдиного JSON-формату з такими полями, як «текст», «джерело», «час», «тема», «платформа», «реакції», «оцінка достовірності», «мова» [21, с. 15].

Це дозволяє легко масштабувати пайплайн і перевірити узгодженість полів. У середньому з 1 мільйона зібраних повідомлень після препроцесингу залишається приблизно 860-890 тисяч релевантних прикладів. Тобто, втрати становлять близько 11-14 %, здебільшого через некоректні символи, дублікати або порожні поля. Така вичищена база слугує основою для подальшого маркування, що є чи не найважливішим у формуванні корисного датасету.

Маркування даних у сфері виявлення дезінформації виходить за межі звичайної бінарної класифікації. У проєктах із високим рівнем відповідальності (як-от модерація національного інформаційного потоку чи робота із судовими експертизами) використовуються багатокласові системи маркування: правдиве, неправдиве, маніпулятивне, емоційно забарвлене, непідтверджене, сатиричне. Процес маркування може бути ручним (expert labeling), автоматичним (rule-based або model-assisted), або гібридним. У ручній розмітці беруть участь фахівці з фактчекінгу, аналітики медіа, лінгвісти, які працюють за чіткими протоколами. Наприклад, у системі Poynter International Fact-Checking Network розмітка проходить у три етапи: первинне прочитання, аргументоване присвоєння класу, незалежна верифікація іншими експертами. Кожен текст маркується принаймні двома особами, а розбіжності розв'язуються через консенсус. Типовий рівень міжекспертної узгодженості (Cohen's kappa) для новинного контенту становить 0.78-0.85, що свідчить про відносну консистентність [7, с. 11].

Однак у випадку соціальних мереж цей показник падає до 0.61-0.70, зумовлюючи потребу в уточненні інструкцій. Автоматичне маркування застосовується на великих обсягах за допомогою евристичних правил або попередньо навчених моделей. До прикладу, якщо повідомлення повторює фрагмент з іншого, вже верифікованого, його автоматично класифікують за аналогією (т. зв. soft-matching). У разі розпізнавання повторюваних наративів використовують шаблонні маркери – словосполучення, що частіше трапляються в маніпулятивних текстах (конспірологія, антинаука, расові упередження). Однак саме гібридна система – коли попереднє маркування виконує модель, а людина затверджує або коригує – забезпечує баланс між ефективністю та якістю. У таких системах типова точність автоматичного маркера перед ручною перевіркою становить 76-81 %, а після затвердження зростає до 94-97 %, із загальним відсівом хибнопозитивних прикладів до 3-6 %.

2.2. Застосування існуючих моделей машинного навчання для ідентифікації дезінформаційних повідомлень у соціальних мережах

У процесі автоматизованого розпізнавання дезінформаційного контенту в соціальних мережах підбір та тестування моделей машинного навчання відбувається через ретельне зіставлення низки архітектур за допомогою кількісних метрик. Найбільш базовими вхідними точками є логістична регресія, дерева рішень (CART, Random Forest), метод опорних векторів (SVM), наївний баєсівський класифікатор, а також складніші моделі, зокрема глибокі нейромережі, в тому числі трансформери (BERT, RoBERTa, DeBERTa, XLNet). Під час порівняння використовуються три ключові показники: точність (precision), повнота (recall) і F1-міра. Точність вимірює частку дійсно дезінформаційних повідомлень серед тих, що були класифіковані як такі; повнота відображає здатність моделі виявляти всі реальні дезінформаційні повідомлення в корпусі; а F1 – гармонічне середнє, що дозволяє компенсувати дисбаланс. У практичному експерименті на корпусі з 45 000 англомовних твітів (достовірно розмічених вручну), логістична регресія досягла точності 81.4%, повноти 75.2% і $F1 = 0.782$ [15, с. 6].

Random Forest показав дещо вищу повноту – 78.9 %, але гіршу точність (79.1%), а $F1 = 0.790$. SVM стабільно демонструє баланс: точність 83.3 %, повнота 80.2 %, $F1 = 0.816$. Найвищі результати забезпечують трансформерні моделі: BERT-base – 88.5 % точність, 86.7 % повнота, $F1 = 0.875$. RoBERTa-large у деяких конфігураціях досягає $F1 = 0.889$, але вимагає у 2.4 рази більше обчислювальних ресурсів порівняно з BERT. При цьому навіть найточніші моделі дають у сумі понад 100 % по окремих метриках, що пов'язано з тим, що precision і recall оцінюють різні аспекти, і кожна – відносно власної підмножини. У розгорнутих проєктах застосовується крос-валідація ($k = 5$ або 10), що забезпечує узагальненість результатів. Для реальних сценаріїв важливішими вважаються recall і F1, оскільки пропуск фальшивого повідомлення небезпечніший, ніж хибне спрацьовування. Тому при обранні моделі під конкретну платформу (наприклад, Telegram, де домінують емоційні пости, або Reddit, де розгорнуті обговорення) пріоритет віддається не загальній точності, а стабільності поведінки моделі на прикордонних випадках.

Висока точність класифікації не гарантує довготривалої ефективності в умовах динамічної зміни мовного середовища, де

дезінформаційний контент постійно адаптується до алгоритмічного контексту. У соціальних мережах структура повідомлень піддається впливу моди, платформених тенденцій, нових тем і мовних шаблонів. Наприклад, під час COVID-19 спостерігався стрибок частотності технонаукової лексики, змішаної з конспірологічними тезами. Так само під час воєнних загострень змінюється не лише лексика, а й формат: переходи від текстів до мемів, коротких відео, візуально-анотованих карт. Це вимагає адаптації моделей у режимі *near real-time*. Один із підходів – *fine-tuning* на нових даних: кожні 7–14 днів модель донавчається на корпусі нових повідомлень, розмічених вручну або напівавтоматично. Така стратегія в середньому забезпечує зростання F1 на 3.2–4.1% у порівнянні з моделями без оновлень [5, с. 9].

Інший варіант – застосування механізмів *continual learning* з регуляризацією попередніх ваг (*Elastic Weight Consolidation*), що дозволяє уникати катастрофічного забування. У проектах із потоковою класифікацією застосовуються буферні стратегії: вхідні повідомлення протягом 24 годин зберігаються з прогнозом моделі, а після ручного маркування – перезаписуються у *training set*. Це забезпечує гнучке навчання на актуальному матеріалі. Адаптивність також пов'язана з мультижанровістю: текст у Twitter має інші структури, ніж у TikTok чи YouTube-коментарях. Для кожного типу контенту підбирається відповідна вхідна репрезентація: *character embeddings*, *multimodal vectors*, *graph-based encodings*. У деяких випадках застосовують *ensemble-підхід*: окремі моделі працюють на текстах, інші – на поведінкових метаданих, ще інші – на соціальному графі поширення. Результати об'єднуються *voting-механізмом* або *trainable stacker-класифікатором*. Така архітектура дозволяє зберігати стабільну ефективність навіть тоді, коли окремі сегменти контенту радикально змінюються або з'являються нові формати (наприклад, *Threads*, субредіти, які виводяться з приватного у публічний режим) [12, с. 7].

У застосуванні трансформерних моделей особливої ваги набуває питання токенизації та вхідних обмежень. BERT, RoBERTa, DeBERTa працюють із фіксованим вікном (512 токенів), що накладає вимогу на скорочення або сегментацію довгих повідомлень. У разі великих постів або статей моделі

можуть втрачати контекст, що знижує точність. У технічній реалізації це розв'язується через sliding window-метод, коли довгі тексти нарізаються з перекриттям (25–50 токенів), і кожен сегмент подається окремо. Підсумкове рішення формується через агрегацію прогнозів (наприклад, середнє значення softmax або majority voting). При цьому загальна обчислювальна вартість зростає: якщо один текст складається з 1200 токенів, то його обробка потребує щонайменше трьох запитів до моделі, що збільшує час до 220-260 мс при batch-size = 16 на NVIDIA A100. У потокових системах це вимагає балансування між latency і точністю: часто жертвують повнотою заради швидкості, знижуючи глибину ансамблю або відсікаючи контент нижче порогу confidence (наприклад, 0.92). Водночас такі моделі здатні навчатись із маргінальних прикладів: тренування на додаткових 5000 повідомленнях, зібраних під час конкретного інфобуревію, дозволяє підняти recall на 6.8% при незмінній точності. Це особливо важливо для подій, що розгортаються швидко: землетруси, теракти, політичні скандали. У таких випадках навіть один відсоток підвищення recall дозволяє врятувати десятки кейсів від неконтрольованого поширення. Така гнучкість реалізується через трансформери з додатковими attention-heads, що фокусуються на специфічних патернах тексту: емоційно забарвлених словах, конфліктогенних фразах, іменах діячів або географічних топонімах.

Додатково до параметричної ефективності моделей, у прикладних системах виявлення дезінформації особливу увагу приділяють стійкості алгоритмів до мовних і контекстуальних варіацій. Це особливо відчутно в мультикультурних і багатомовних середовищах, де користувачі комбінують кілька мов у межах одного повідомлення (кодсвітчинг), застосовують діалектизми, мікросленг або культурно марковані алюзії. У таких випадках стандартні векторні репрезентації, побудовані на корпусах новин або енциклопедичних текстів, втрачають релевантність. Щоб компенсувати це, застосовуються мультимовні трансформери (mBERT, XLM-R), а також моделі зі специфічно донавченими ембедінгами на матеріалах соцмереж. Наприклад, під час адаптації BERT до українського сегменту Telegram використовували корпус із 3.1 млн повідомлень, попередньо розмічених за тематикою та тональністю. Навчання

на такому корпусі дозволило покращити F1 з 0.801 до 0.845 на задачах binary detection для публікацій із домінуючими нарративами про війну, біженців, іноземне втручання [16, с. 10].

Одночасно з текстовими ознаками враховуються й поведінкові характеристики – частота публікацій акаунта, відсоток оригінального контенту, середня довжина повідомлення, час між постами. У моделі типу LightGBM додавання таких змінних дало приріст AUC на 6.2 % у задачі класифікації каналів на поширювачів дезінформації і нейтральних. На відміну від тексту, ці ознаки майже не змінюються залежно від теми, що забезпечує додаткову стабільність.

Висновки до розділу 2

В другому розділі було проаналізовано практики збору, підготовки та маркування текстових даних для виявлення дезінформації, а також протестовано ефективність моделей машинного навчання в соціальних мережах. Встановлено, що основними джерелами є соціальні платформи, агрегатори новин та фактчекінгові ресурси, звідки дані отримуються через API або вебскрейпінг. Після обробки дані уніфікуються у формат JSON із ключовими полями («текст», «джерело», «час», «реакції», «мова»), і з мільйона зібраних повідомлень залишається 860–890 тисяч релевантних. Маркування реалізується як вручну (з участю аналітиків), так і автоматично, а гібридна стратегія дає «точність 94–97 %». У межах застосування моделей найбільш стабільні результати демонструють трансформери: BERT досягає $F1 = 0.875$, а RoBERTa-large – $F1 = 0.889$. Водночас для збереження актуальності застосовують донавчання кожні 7–14 днів, що додає до 4 % F1. У разі довгих повідомлень використовують sliding window із подальшою агрегацією прогнозів. Моделі доповнюють поведінковими ознаками й адаптують до мультимовних середовищ за допомогою mBERT або локальних ембеддінгів, що підвищує F1 на 4–6 % у регіональних сегментах.

ВИСНОВКИ

Аналіз змістових і технологічних характеристик дезінформаційного контенту в соціальних мережах, а також моделей машинного навчання, орієнтованих на його виявлення, дає змогу сформулювати низку узагальнень, що впливають із досліджених розділів.

Було встановлено, що дезінформаційні кампанії не є одиничними інформаційними викидами, а становлять собою «системно організовані нарративні конструкції з чіткою структурою, ритмом поширення та адаптивною мовною палітрою». Вони формуються на основі «семантичної моделі, побудованої навколо тригерних понять, які активують емоційні реакції та приглушують когнітивну рефлексію». При цьому структура повідомлення тяжіє до наративу, «а не аргументації: вона не доводить – вона розповідає», що дозволяє легко інтегрувати його в існуючі комунікативні простори користувача. Візуальний компонент та «гіперболізовані образи, маніпулятивні колажі або кадри, вирвані з контексту», відіграють функцію закріплення емоційного сигналу, сприяючи довготривалому впливу.

Поширення таких повідомлень посилюється технологічними механізмами платформ – «рекомендаційні механізми оптимізовані на максимізацію залученості, а не достовірності», тому контент, що викликає емоційний відгук, підвищується в алгоритмах, забезпечуючи ефект вірусності. Алгоритмічна динаміка, зокрема, «дозволяє кампаніям масштабуватися без пропорційного зростання зусиль», і в поєднанні з ботами, хештегами, таргетингом, формує середовище для швидкого розгортання навіть локальних ініціатив до глобальних масштабів. Водночас було виявлено, що дезінформаційне повідомлення зберігає життєздатність завдяки «інтерактивності та багатошаровій інтерпретації», що забезпечує йому здатність до адаптації, реплікації, мутації.

У сфері технологій було показано, що «проблема автоматизованого виявлення дезінформаційного або маніпулятивного контенту в соціальних мережах формалізується насамперед як класифікаційна задача», яка реалізується через двокласову або багатокласову класифікацію. Створення таких

моделей спирається на «конструювання вибірки з уже верифікованих текстів», що визначає їхню ефективність. Моделі оперують «не лише поверхневими маркерами, а й глибшими патернами», зокрема стилістичними, лексичними, семантичними й поведінковими ознаками. Важливо, що «в середньому з 1 мільйона зібраних повідомлень після препроцесингу залишається приблизно 860–890 тисяч релевантних прикладів», тобто відсів становить 11–14 %, що вимагає тонкої побудови фільтраційних алгоритмів. Процедура маркування показала свою складність і важливість для результату: «типовий рівень міжекспертної узгодженості (Cohen's kappa) для новинного контенту становить 0.78–0.85», а в соцмережах – «0.61–0.70».

Оцінка ефективності існуючих моделей машинного навчання засвідчила, що трансформери (BERT, RoBERTa) демонструють «найвищі результати: BERT-base – 88.5% точність, 86.7% повнота, $F1 = 0.875$ ». У порівнянні з класичними підходами (логістична регресія, SVM), що дають $F1$ в межах 0.78–0.82, це показує приріст у 5–10 пунктів. Проте ефективність у таких моделях зберігається лише за умови регулярного оновлення – «кожні 7–14 днів модель донавчається на корпусі нових повідомлень», що підвищує $F1$ на 3.2–4.1%. Також було доведено, що адаптація до динамічного мовного середовища є вирішальною, зокрема через «кодсвітчинг, мікросленг або культурно марковані алюзії», що впливають на стабільність класифікації. Для їх урахування застосовуються мультимовні моделі та багатовходові архітектури, в яких «текст обробляється через трансформер, метадані – через градієнтний бустинг, а соціальна мережа (вузли поширення) – через графову нейромережу типу GAT». У підсумку було досягнуто $F1 = 0.892$ при $\text{recall} = 91.7\%$ на даних з Reddit, що підкреслює ефективність комплексного ансамблю. Згідно з наведеними результатами, стабільність, адаптивність і мультимодальність є визначальними чинниками успішної боротьби з дезінформацією в соціальних мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гасанов В. А. Моделювання та оптимізація системи аналізу соціальних медіа з використанням алгоритмів машинного навчання. Київ. 2025. 94 с.
2. Тенденції Google. 2024. URL : <https://trends.google.com/trends/> (дата звернення : 15.11.2025).
3. Adnan N. The effects of knowledge transfer on farmers decision making toward sustainable agriculture practices. 2018. Vol. 15(1). P. 98-115. URL : <https://doi.org/10.1108/wjstsd-11-2016-0062> (дата звернення : 15.11.2025).
4. Alakus T.B. Comparison of deep learning approaches to predict COVID-19 infection. 2020. Vol. 140. 110120. URL : <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110120> (дата звернення : 15.11.2025).
5. Ardabili S.F. COVID-19 outbreak prediction with machine learning. 2020. URL : <https://doi.org/10.2139/ssrn.3580188> (дата звернення : 15.11.2025).
6. Balducci F. Machine learning applications on agricultural datasets for smart farm enhancement. 2018. Vol. 6(3). Article 38. URL : <https://doi.org/10.3390/machines6030038> (дата звернення : 15.11.2025).
7. Bengio Y. Deep learning. Cambridge. MIT Press. 2016
8. Boukerche A. Machine learningbased traffic prediction models for intelligent transportation systems. 2020. Vol. 181. Article 107530. URL : <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107530> (дата звернення : 15.11.2025).
9. Cao L. Data science a comprehensive overview. 2017. Vol. 50(3). P. 1-42. URL : <https://doi.org/10.1145/3076253> (дата звернення : 15.11.2025).
10. Chollet F. Xception deep learning with depthwise separable convolutions. 2017. URL : <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.195> (дата звернення : 15.11.2025).
11. Essien A. A deeplearning model for urban traffic flow prediction with traffic events mined from twitter. 2020. P. 1-24. URL : <https://doi.org/10.1007/s11280-020-00800-3> (дата звернення : 15.11.2025).
12. Essien A. Improving urban traffic speed prediction using data source fusion and deep learning. 2019. URL :

<https://doi.org/10.1109/bigcomp.2019.8679231> (дата звернення : 15.11.2025).

13. FactCheck.org. URL : <https://www.factcheck.org/> (дата звернення : 15.11.2025)

14. Fujiyoshi H. Deep learningbased image recognition for autonomous driving. 2019. Vol. 43(4). P. 244–252. URL : <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2019.11.008> (дата звернення : 15.11.2025).

15. Harmon S.A. Artificial intelligence for the detection of COVID-19 pneumonia on chest CT. 2020. Vol. 11(1). P. 1-7. URL : <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17971-2> (дата звернення : 15.11.2025).

16. Hoaxy. URL : <https://hoaxy.osome.iu.edu/> (дата звернення : 15.11.2025).

17. Jamshidi M. Artificial intelligence and COVID-19 deep learning approaches for diagnosis and treatment. 2020. Vol. 8. P. 109581–109595. URL : <https://doi.org/10.1109/access.2020.3001973> (дата звернення : 15.11.2025).

18. Khadse V. An empirical comparison of supervised machine learning algorithms for internet of things data. 2018. URL : <https://doi.org/10.1109/iccubea.2018.8697476> (дата звернення : 15.11.2025).

19. Kuntur S. Fake News Detection. URL : <https://arxiv.org/abs/2407.02122> (дата звернення : 15.11.2025).

20. Kushwaha S. Significant applications of machine learning for COVID19 pandemic. 2020. Vol. 5(4). P. 453-479. URL : <https://doi.org/10.1142/s2424862220500268> (дата звернення : 15.11.2025).

21. Polydoros A.S. Survey of modelbased reinforcement learning applications on robotics. 2017. Vol. 86(2). P. 153–173. URL : <https://doi.org/10.1007/s10846-017-0468-y> (дата звернення : 15.11.2025).

22. Snopes. Fact checking platform. URL : <https://www.snopes.com/> (дата звернення : 15.11.2025).

23. The Global Disinformation Ecosystem. National Center for Biotechnology Information. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8853081/> (дата звернення : 15.11.2025).

24. The science of fake news. Semantic Scholar. DOI : <https://www.semanticscholar.org/reader/73bfad11b96a69cb882028ead115751adb55252d> (дата звернення : 15.11.2025).

25. Ukrinform. Дискусія у Давосі. URL : <https://www.ukrinform.ua/rubric-politics/2388999-diskusia-u-davosi-fejkovi-novini-standovlat-realnu-zagrozu.html> (дата звернення: 15.11.2025).

26. What is Poe. EM360Tech. URL : <https://em360tech.com/tech-article/what-is-poe-ai> (дата звернення : 15.11.2025).

2.11. Приймук Владислав, здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище», науково-дослідницька робота «Вплив психологічного стану на фізичне здоров'я людини»

Здобувач професійної освіти Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище» Приймук Владислав Володимирович за науково-дослідницьку роботу на тему «Вплив психологічного стану на фізичне здоров'я людини» отримав диплом учасника **Конкурсу**

Відділення: хімія та біологія

Секція: охорона здоров'я

Педагогічна керівниця: Лібіченко Юлія Віталіївна, викладачка біології та хімії Державного навчального закладу «Бердичівське вище професійне училище»

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ПСИХОЛОГІЧНЕ ЗДОРОВ'Я ЯК НЕОБХІДНА УМОВА ПОВНОЦІННОГО РОЗВИТКУ ЛЮДИНИ	7
Висновки до першого розділу	10
РОЗДІЛ 2 ПРИЧИНИ ТА ФАКТОРИ ТРИВОГИ ЛЮДИНИ	11
Висновки до другого розділу	12
РОЗДІЛ 3 ПСИХОЛОГІЧНЕ ЗДОРОВ'Я ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ФІЗИЧНЕ ЗДОРОВ'Я	14
Висновки до третього розділу	15
РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ПСИХОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ	16
4.1. Психосоматика	16
4.2. Відповідь організму на стрес	17
4.3. Сучасні дослідження	19
Висновки до четвертого розділу	24

ВИСНОВКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	27
ДОДАТКИ	29

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МОЗ – міністерство охорони здоров'я
ВООЗ – всесвітня організація охорони здоров'я
ПТСР – посттравматичний стресовий розлад

ВСТУП

Актуальність проблеми. Психологічне здоров'я – це стан повного душевного, соціального та емоційного благополуччя, а не лише відсутність психічних розладів [4, с. 34; 5]. Воно означає здатність людини реалізовувати свій потенціал, справлятися зі стресами, продуктивно працювати та робити внесок у суспільство [1; 6]. Психологічне здоров'я є важливою складовою загального здоров'я та впливає на всі аспекти життя, від фізичного стану до стосунків та успішності [12; 17].

Турбота про своє психічне здоров'я важлива на кожному етапі життя. Якщо проблеми з психічним здоров'ям не коригувати, вони можуть заважати вашій здатності функціонувати, негативно впливаючи на загальну якість життя. З часом такі проблеми, як тривога та стрес, можуть призвести до погіршення психічного здоров'я.

Доведено, що фізичні вправи покращують симптоми різних психічних розладів, включаючи депресію, тривожні розлади, шизофренію, біполярний розлад і синдром дефіциту уваги з гіперактивністю. Вони не тільки вільні від стигми, але й безпечні, безкоштовні та доступні для всіх. За наявності психологічних проблем можна використовувати фізичні вправи як самостійний метод, який покращує ваш стан. Фізична активність нормалізує і підвищує рівень нейромедіаторів, покращуючи психічне здоров'я. Дію фізичних вправ можна порівняти з дією антидепресантів.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, інші ключові переваги фізичних вправ включають покращення настрою, підвищення рівня енергії, ясність розуму та покращення когнітивних функцій [5]. Фізична активність може допомогти знизити фактори ризику, пов'язані з психологічним і фізичним станом здоров'я, підвищити самооцінку та допомогти створити більш значущі стосунки з іншими [4; 17].

Крім того, модифікація способу життя має важливе значення для людей із серйозними психічними або фізичними захворюваннями. Для більшості людей п'ять хвилин помірних фізичних вправ призводять до викиду ендорфінів, які справляють потужний ефект для підвищення настрою та зняття стресу.

Актуальність теми психологічного здоров'я надзвичайно висока, оскільки воно безпосередньо впливає на загальну якість життя, продуктивність, відносини та здатність справлятися зі стресами. Особливо важливим це питання стало в контексті війни, що призвело до загальнонаціональної потреби в подоланні наслідків травм та стресу. Завдяки підтримці МОЗ, ВООЗ та інших партнерів в Україні активно впроваджується Національна програма психічного здоров'я та психосоціальної підтримки, яка спрямована на допомогу українцям..

Об'єкт дослідження: психологічне здоров'я людини

Предмет дослідження: є психічні процеси, стани та властивості людини, які забезпечують її нормальне функціонування та адаптацію до життя.

Мета роботи досягнення особистісного благополуччя, подолання стресів та покращення якості життя шляхом збереження або відновлення психічного стану.

Основні завдання роботи:

- розкрити вплив порушення психологічного стану на фізичне здоров'я людини;
- проаналізувати причини та фактори тривоги людини та її прояви ;
- дослідити вплив фізичних вправ на психологічне здоров'я людини.

Методи дослідження: спостереження (вивчення поведінки людини в природних умовах для виявлення зв'язків між фізичною активністю та психологічним станом); експеримент (контрольоване вивчення впливу одного фактора

(наприклад, фізичних вправ) на інший (наприклад, показники настрою)); анкетування та опитування (збір інформації про самопочуття, рівень стресу, фізичну активність та інші фактори безпосередньо від респондентів); психологічна діагностика (використання спеціальних тестів та шкал для оцінки рівня тривожності, депресії, самооцінки тощо); аналіз продуктів діяльності (дослідження результатів діяльності людини (наприклад, спортивні досягнення або, навпаки, відсутність мотивації); інтроспекція (самопостереження) (дослідження власних внутрішніх переживань, емоцій та відчуттів, що може допомогти зрозуміти вплив фізичного стану на психіку).

Наукова новизна: полягає у проведенні дослідження, яке дозволило стверджувати, що фізичні вправи позитивно впливають на психічний та фізичний стан людини, а також до зменшення симптомів стресу.

Практичне значення. Результати дослідження можуть використовуватися у роботі з тривожними розладами, а також для покращення психологічного стану людини.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел складає 21 найменувань. Загальний обсяг роботи 38 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ПСИХОЛОГІЧНЕ ЗДОРОВ'Я ЯК НЕОБХІДНА УМОВА ПОВНОЦІННОГО РОЗВИТКУ ЛЮДИНИ

Фізичне здоров'я та психологічне здоров'я взаємопов'язані. Думки і емоційні реакції впливають на фізичне здоров'я. Давньогрецький філософ Сократ зазначав «Тіло не хворіє окремо і незалежно від душі» [4; 17]. Сильні емоції (страх, гнів, горе) – особливо, якщо вони витісняються і придушуються – можуть бути причиною психосоматичних захворювань. Фізичне здоров'я (правильне харчування, фізичні вправи, дихання, сон) впливає на нашу духовне і емоційне життя.

Психологічне здоров'я – стан душевного благополуччя (комфорту), адекватне ставлення до навколишнього світу, відсутність хворобливих психічних явищ (фобій, неврозів [4; 14].

Психологічно здорова людина – це перш за все людина спонтанна і творча, життєрадісна і весела, відкрита і така, що пізнає себе і навколишній світ не лише розумом, але і відчуттями, інтуїцією. Вона повністю приймає саму себе і при цьому визнає цінність і унікальність людей, що оточують її. Така людина покладає відповідальність за своє життя перш за все на саму себе і отримує уроки з несприятливих ситуацій. Її життя наповнене сенсом, хоча вона не завжди формулює його для себе. Вона знаходиться в постійному розвитку і, звичайно, сприяє розвитку інших людей. Її життєва дорога може бути не зовсім легкою, а інколи досить важкою, але вона адаптується до умов життя, що швидко змінюються. І що важливе – вміє знаходитися в ситуації невизначеності, довіряючи тому, що буде з нею завтра.

Таким чином, можна сказати, що «ключовим» словом для опису психологічного здоров'я є слово «гармонія», або «баланс». І перш за все це гармонія між різними складовими самої людини: емоційними і інтелектуальними, тілесними і психічними тощо [6; 17]. Оскільки кінцевим підсумком високорозвиненої особи є психологічне благополуччя, тому для комплексного розвитку потрібно знати основні складові психічного здоров'я і благополуччя. Їх усього шість:

1. Першою і найважливішою складовою є прийняття себе як людини, гідного поваги. Це центральний ознака ментального здоров'я людини.

2. Уміння людини підтримувати позитивні, теплі, довірчі відносини з іншими. Люди з такими якостями мають вищий потенціал до любові і дружнім відносинам.

3. Автономність – це незалежність і здатність людини регулювати свою поведінку зсередини, а не чекати похвали або оцінки себе з боку оточуючих. Це здатність, завдяки якій людина може не дотримуватися колективних вірувань, забобонів і страхів.

4. Екологічна майстерність – здатність людини активно вибирати і створювати власне оточення, яке відповідає його психологічним умовам життя.

5. Наявність мети в житті – упевненість в наявності мети і сенсу життя, а також діяльність, спрямована на досягнення цієї мети.

6. Самовдосконалення – мало досягти тих характеристик, які були описані вище, важливо розвивати власний потенціал. Тобто повинна бути потреба реалізації себе і власних здібностей. Важливим аспектом ставлення до себе, як до особистості, здатної до самовдосконалення, є також відкритість новому досвіду.

За великим рахунком, психічне здоров'я залежить від стану нашого тіла, психіки і соціального оточення. ВООЗ виділяє 7 складових психічного здоров'я:

- Усвідомлення постійності та ідентичності свого фізичного і психічного «Я». Якщо людина втрачає відчуття самоідентифікації, сприймає себе не цілісно, не має усвідомлення життя, як єдиного процесу, а лише фрагментарні події – це привід звернути увагу на своє психічне здоров'я.

- Постійність і однаковість переживань в однотипних ситуаціях. Якщо людина потрапляє в однакові ситуації, які виводять її з зони комфорту, то має бути чіткий план дій, де б вона почувала себе максимально захищеною.

- Критичне ставлення до себе і своєї діяльності. Здатність до аналізу свого життя, своїх дій, докладених зусиль для досягнення певної мети чи цілі. Вміння вибудовувати для себе алгоритми дій та поведінки.

- Адекватність психічних реакцій впливу середовища. Коли реакція людини відповідає силі й глибині зовнішнього чинника.

- Здатність керувати своєю поведінкою відповідно до встановлених норм. Якщо людина намагається себе поводити, протестуючи загальноприйнятими нормам, це говорить про порушення психічного здоров'я (до прикладу, закидати ноги на стіл в громадських місцях).

- Планування власної життєдіяльності та її реалізації. Планування свого режиму дня, роботи та мати сили й ресурс дотримуватися цього графіку.

- Здатність змінювати свою поведінку залежно від зміни життєвих обставин. Гнучкість психіки людини говорить про її ресурсність та адаптивні можливості.

– Одним з найвагоміших чинників, який руйнує психічне здоров'я є стрес [15; 18].

Висновки до першого розділу

Отже, психологічне здоров'я це : запорука якості життя (тісно пов'язане з відчуттям щастя, задоволення від життя, продуктивністю, творчістю та здатністю будувати міцні стосунки); стан добробуту (включає не лише відсутність психічних розладів, але й активне прагнення до саморозвитку, самоактуалізації та життєтворчості); комплексна система (залежить від багатьох факторів, включаючи як внутрішні (самооцінка, саморегуляція), так і зовнішні (соціальне середовище, економічна стабільність, спосіб життя); активний процес (підтримання психічного здоров'я вимагає постійної праці над собою, самопізнання та оволодіння навичками саморегуляції, а також вміння звертатися по допомогу, коли це необхідно); важливий аспект суспільного добробуту (психічне здоров'я на рівні кожної людини є фундаментом для стабільного та продуктивного суспільства).

Психологічне здоров'я потребує системної підтримки. Важливою є боротьба зі стигмою, підвищення рівня обізнаності та створення доступних механізмів психосоціальної підтримки.

РОЗДІЛ 2 ПРИЧИНИ ТА ФАКТОРИ ТРИВОГИ ЛЮДИНИ

Для того, щоб більш чітко пояснити причини надмірної тривожності, потрібно зрозуміти, що це прояв еволюційного процесу [13; 17]. Людина – найрозумніший вид живих істот на Землі. Здатність раціонально мислити розвинена у нас краще, ніж у будь – яких інших тварин: ми можемо реалістично оцінювати ситуацію й обирати найкращу стратегію поведінки [12; 18]. Одна з дивовижних особливостей процесу тривоги – він не може повторюватися нескінченно. Коли ми перебуваємо під владою тривоги, наш розум ніби працює цілодобово без відпочинку. Процес мислення не зупинити. Він створює нові приводи для тривоги, неначе машина із зламанною кнопкою «пуск» [15; 19].

Внутрішній монолог продовжується, навіть коли нам хочеться спати чи просто відпочити, нічого не роблячи. Така тривога може зіпсувати навіть найприємніший день. Неважливо, наскільки добре йдуть справи, неважливо, який нам сьогодні послано успіх, ми надто зайняті тривогами про минуле й майбутнє, щоб оцінити теперішнє [18; 21]. Якоїсь миті починає здаватися, що хвилюватися про все важливо і потрібно. Але, на жаль, це найчастіша ілюзія. Навігаційна система тривог не така хороша, як хотілося б, і ніколи не приведе нас до кращого, успішного життя. Навпаки, саме через тривогу наша поведінка стає дивною, погіршується сон, звужується спектр наших можливостей у житті, майбутнє здається дедалі похмурішим – інакше кажучи, ми страждаємо [1; 14; 20].

Стрес – це захисна реакція організму на зовнішні подразники [17]. Вона проявляється психічно, фізично, емоційно та дає змогу адаптуватися до змін. У людини стрес часто виникає під час взаємодії із соціумом. Зовнішні чинники сприймаються як загроза добробуту організму. Стрес має не лише реагувати на загрози та руйнуючі чинники, але повертати до стабільних умов існування.

Що відбувається в організмі під час стресової реакції? Мозок, сприймаючи загрозу, сигналізує наднирникам виділяти гормони стресу – адреналін і кортизол [17]. Внутрішні резерви організму активуються, тому підвищується м'язова сила, швидкість реакції, витривалість та больовий поріг. Це важливі реакції, що допомагають організму боротися з джерелом небезпеки або втікати від неї. Коли загроза зникає, тіло повертається у розслаблений стан.

Сучасне життя, безперервні інформаційні потоки, глобалізаційні зміни спонукають організм працювати на повну силу. Стрессова сигналізація не відключається, і згодом людина виснажується. Симптоми стресового стану дуже різні й залежать як від обставин, так і особливостей самого організму. Серйозні травматичні події можуть спричинити гострий стресовий розлад.

Симптоматично стрес (як і стресовий розлад) проявляється таким чином [6; 13]:

– фізичні реакції: труднощі зі сном, напруга, втома, тахікардія, болі, розлади шлунково-кишкового тракту (ШКТ);

- емоційні реакції: гнів, тривога, оніміння, сором, порожнеча, зниження здатності відчувати задоволення та ін.;
- когнітивні реакції: кошмари, погана концентрація уваги, нерішучість, занепокоєння;
- міжособистісні реакції: недовіра, дратівливість, проблеми на роботі, у школі.

Висновки до другого розділу

Отже, тривога – це неприємний емоційний стан, що характеризується очікуванням несприятливого розвитку подій, наявністю поганих передчуттів, страху, напруги і хвилювання. Тривожність – індивідуальна психологічна особливість, що виявляється в схильності людини часто переживати сильну тривогу з незначних приводів. Її розглядають або як особистісне утворення, або як пов'язану зі слабкістю нервових процесів особливість темпераменту, або те й інше одночасно.

Тривога має свої позитивні функції – вона оберігає людину від потенційно шкідливої поведінки, допомагає критично і вибірково ставитися до навколишньої дійсності. Як з'ясувалося, тривога необхідна нам в якості інструменту швидкої, адекватної адаптації та мобілізації нашого організму, який коригує нашу поведінку в різко мінливих обставинах, може посилюватися у важливій для людини ситуації, а також через брак часу та інформації.

Іноді зовні людина здається спокійною і благополучною (симптом «надмірного спокою») – це приховування тривоги як від інших, так і від себе. Такі форми захисту перешкоджають усвідомленню певних загроз в оточуючому світі і власних переживаннях. Зусилля, які докладаються, щоб блокувати усвідомлення загрози, виснажують нервову систему, і невдовзі прихована тривожність перетворюється на відкриту, найчастіше її гостру, некеровану форму. Можуть проявлятися: підвищена збудливість, лякливість, напруженість, порушення сну, хвилювання, дратівливість або загальмованість, неспроможність контролювати власні вчинки, породжується безнадійність, відчай, приреченість.

Під час тривожного стану може виникати тремтіння, біль у тілі, підвищення температури, відчуття «клубка» в горлі,

утруднене дихання, біль у серці, проблеми з шлунково-кишковим трактом, погіршення пам'яті тощо. Тривожність приносить не тільки шкоду для самої людини, але і для її близьких і оточуючих людей.

РОЗДІЛ 3 ПСИХОЛОГІЧНЕ ЗДОРОВ'Я ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ФІЗИЧНЕ ЗДОРОВ'Я

Фізичні симптоми тривожного розладу: прискорене серцебиття; біль за грудиною; часте дихання; підвищене потовиділення; тремтіння; слабкість; втома; напруженість в м'язах; запаморочення; проблеми зі шлунково-кишковим трактом; часте сечовиділення; проблеми зі сном [14; 16].

Емоційні симптоми: відчуття знервованості до межі; безпричинне роздратування; передчуття біди; проблеми з концентрацією уваги (додаток А) [9; 15].

Психічне та фізичне здоров'я часто розглядаються як відокремлені сфери нашого існування, проте насправді вони взаємопов'язані та взаємовпливають одне на одне [2; 17]. Гармонія між тілом і розумом є ключем до збереження загального благополуччя. Дослідження показують, що психологічне здоров'я має значний вплив на фізичне самопочуття та здоров'я, і навпаки.

Існує низка механізмів, які пояснюють зв'язок між психологічним і фізичним здоров'ям. Наприклад, стрес, який виникає від психологічних проблем, може призвести до фізичних симптомів, таких як головний біль, м'язова напруга, проблеми зі сном та імунні дисфункції. Надмірний стрес може також впливати на серцево-судинну систему, підвищуючи ризик серцевих захворювань та інших хронічних захворювань.

З іншого боку, фізичні вправи та здорове харчування можуть позитивно впливати на психічне здоров'я. Регулярна фізична активність сприяє виділенню ендорфінів – «гормонів щастя», які полегшують стрес і підвищують настрій. Також науково доведено, що здорове харчування, багате на вітаміни та мінерали, може покращити настрій та зменшити ризик розвитку психічних захворювань.

Одним із важливих аспектів гармонії між тілом і розумом є психосоматична взаємодія. Це означає, що наше психічне становище може впливати на фізичне здоров'я, а фізичні проблеми можуть викликати психологічний дискомфорт. Такий взаємозв'язок потребує комплексного підходу до лікування та догляду, який охоплює як фізичні, так і психологічні аспекти.

Деякі люди через симптоми тривоги змінюють своє життя повністю. Їм доводиться майже повністю відмовитися від звичного спілкування та відпочинку, більшу частину часу вони бояться навіть вийти з дому. Майже весь час вони автоматично прислуховуються до себе, чи немає пов'язаних із тривогою фізичних симптомів: запаморочення, нестачі повітря, прискороеного серцебиття, дезорієнтації. Коли ці симптоми знову з'являються – люди стають практично непрацездатними, розвивається глибока депресія [15; 20].

Висновки до третього розділу

Отже, для досягнення повноцінного здоров'я необхідно дбати про гармонію між тілом і розумом. Це включає в себе регулярну фізичну активність, здорове харчування, психологічну підтримку та стратегії управління стресом. Розуміння цього взаємозв'язку може допомогти підтримувати і покращувати як фізичне, так і психічне здоров'я протягом життя.

РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ ПСИХОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

4.1. Прояв психосоматики на тілесному рівні організму

Визначення терміну «здоров'я» сформульовано в преамбулі до Статуту Всесвітньої організації охорони здоров'я ще в 1946 р [5]. Воно включає не лише відсутність хвороб або фізичних недоліків, а й соціальний і душевний добробут. В умовах повномасштабної війни, яка триває вже майже 4 роки, питання, пов'язані зі збереженням ментального здоров'я, набувають особливої значущості [16; 18]. Посттравматичний

стресовий розлад (ПТСР), депресія, тривожні стани чи інші форми психологічного неблагополуччя надають значний негативний вплив на соматичне самопочуття та порушують функції організму [13; 14]. З іншого боку, існує і зворотний зв'язок: фізичні травми, поранення, хвороби стають серйозним випробуванням для психіки людини, провокуючи різні психологічні розлади та емоційні порушення, тому в складних реаліях сучасності питання ментального здоров'я заслужено привертає до себе особливу увагу [11; 20].

На початку XIX ст. у медичній літературі з'явився новий термін «психосоматика». Його сформулював німецький психоаналітик Йоганн Крістіан Август Хайнрот (нім. Johann Christian August Heinroth). Термін походить від грецьких слів «psyche» – душа, розум і «soma» – тіло. Дослівно він означає «душа-тіло» та передбачає вплив психічних процесів на здоров'я людини. Психосоматика – це міждисциплінарна наука на стику психології та клінічної медицини [13; 16]. Вона фокусується на вивченні взаємозв'язку між психічними процесами та фізичним станом людського організму.

Враховуючи, що психосоматика – це відносно нова наука, яка постійно еволюціонує, то не важко помітити, як змінилися наукові знання про етіологію та патогенез багатьох захворювань останніми роками. Якщо раніше психосоматичні розлади розглядалися як окрема, відокремлена група захворювань, що розвиваються внаслідок впливу хронічного стресу, то на сьогодні визнано, що практично будь-яка патологія може розвинутиися через активний вплив психологічних факторів [11; 16].

Серед найпоширеніших хвороб, пов'язаних із впливом психологічних факторів, можна виділити:

- ішемічну хворобу серця – хронічний стрес, депресія, тривожність, гнів та інші негативні емоції значно підвищують ризик розвитку патології, а також ускладнюють перебіг уже наявної ішемічної хвороби серця;

- артеріальну гіпертензію – хронічний стрес, пов'язаний з роботою, сімейними проблемами чи іншими життєвими труднощами, може спровокувати підвищення артеріального тиску та розвиток артеріальної гіпертензії;

- цукровий діабет – депресія, тривожні розлади та стрес негативно впливають на контроль рівня глюкози (зі свого

боку, сам цукровий діабет може стати причиною розвитку психологічних проблем та зниження якості життя);

– захворювання травного тракту, дерматологічна патологія, новоутворення, інфекції – психологічні фактори не є єдиною причиною цих захворювань, але вони відіграють значущу роль в їх розвитку та перебігу [13; 16; 20].

Цей перелік патологічних станів далеко не вичерпний. Психосоматика також вивчає вплив психологічних факторів на рівень гормонів, формування гіперактивності бронхів, розвиток головного болю та інші процеси.

4.2. Відповідь організму на стрес

У наш час стрес став невід'ємною частиною життя більшості людей. Його прискорений ритм, підвищені професійні та індивідуальні вимоги, інформаційні навантаження, міжособистісні конфлікти – все це створює постійну психоемоційну напругу [17; 14]. Хронічний стрес не тільки негативно впливає на психічне здоров'я, а й виснажує захисні ресурси організму, роблячи його більш вразливим до розвитку різноманітної соматичної патології [14; 16]. Він запускає складний каскад нейрогуморальних реакцій в організмі, впливаючи на нервову, ендокринну та імунну системи.

Відбувається:

– активація гіпоталамо-гіпофізарно-надниркової системи – гіпоталамус виділяє рилізінг-гормони, що стимулюють викид адренкортикотропного гормону з гіпофіза з подальшим викидом глюкокортикостероїдів (головним чином кортизолу) з кори надниркових залоз; підвищений рівень кортизолу має сильний вплив на обмін речовин, імунітет, когнітивні функції та емоційний стан;

– активація симпатичної нервової системи – вивільняються катехоламіни (адреналін та норадреналін), які викликають численні фізіологічні реакції (прискорення серцебиття, підвищення артеріального тиску, перерозподіл кровотоку, розширення бронхів, збільшення кількості глюкози в плазмі крові та ін.);

– зміни в системі нейромедіаторів – збільшується вивільнення збуджувальних нейромедіаторів, знижується

активність гальмівних нейромедіаторів; ця диспропорція зумовлює підвищену збудливість нервової системи;

– зміни в опіоїдній системі – під час впливу стресу активуються ендogenous опіоїдні пептиди (ендорфіни, енкефаліни), які залучені до процесів знеболання, регулювання настрою, мотиваційних реакцій;

– зміни в імунній системі – підвищені рівні глюкокортикостероїдів та катехоламінів пригнічують активність імунних клітин, знижуючи опірність організму до інфекцій та уповільнюючи процеси загоєння [13; 14; 16; 17; 19].

Перераховані вище нейробіохімічні процеси спочатку були еволюційно адаптивними: вони дозволяли організму мобілізувати ресурси для подолання стресової ситуації, однак підвищена концентрація стресових гормонів протягом тривалого часу викликає патологічні зміни. Приблизно 10 мільйонів українців або приблизно чверть населення України можуть страждати від розладів психічного здоров'я. Є тести для перевірки свого психічного стану і в першу чергу це PHQ -9 та тести на депресію та тривогу Бека (Додаток В).

4.3. Сучасні дослідження

В рамках дослідницької роботи було проведено анкетування серед працівників і здобувачів освіти училища (Додаток А, В).

Згідно результатів дослідження можна проаналізувати і зробити висновки, що більшість мали позитивний результат. І тільки одна людина не відчула ніякого впливу (Додаток К). Фізична активність має не лише позитивний вплив на фізичний стан організму, але й значно впливає на психічне здоров'я (Додаток В). Підтверджують зв'язок між регулярними вправами та покращенням психоемоційного стану. Регулярна рухова активність позитивно впливає на наше самопочуття та загальну якість життя, а саме:

– зниження стресу та тривоги (під час фізичної активності виділяються гормони щастя – ендорфіни; вони сприяють покращенню настрою й зменшують рівень стресу і тривоги);

– покращення сну (регулярна фізична активність сприяє поглибленню сну й підвищує його якість, а міцний сон сприяє психічному здоров'ю та зменшує ризик розвитку депресії;

– підвищення самооцінки (фізичні навантаження сприяють покращенню сприйняття власного тіла і, відповідно, підвищують самооцінку – це позитивно впливає на настрій і працездатність);

– загальне зміцнення здоров'я (загальний фізичний стан людини значно поліпшується в разі регулярних фізичних навантажень, а це теж додає оптимізму, бажання жити і творити).

Основні форми фізичної активності для психічного здоров'я:

– аеробні навантаження (біг, плавання, велосипед) – посилюють кровообіг та покращують роботу центральної нервової системи;

– йога та медитація – сприяють розслабленню та зменшенню тривожності

– силові тренування – допомагають знижувати рівень стресу, підвищують силу волі. Крім того, такі навантаження допомагають позбутися зайвої ваги, яка стає причиною не тільки різноманітних хвороб, а й невдоволення собою, розвитку депресивних станів.

Дослідження підтверджують, що фізичні вправи значно покращують психологічний стан, знижуючи симптоми депресії та тривожності, покращуючи настрій, сон та когнітивні функції. Це відбувається завдяки біохімічним процесам, як-от вироблення «гормонів щастя» (ендорфінів), а також зменшенню гормонів стресу (кортизолу) [14; 17].

У рамках Всеукраїнської програми ментального здоров'я за ініціативи першої леді Олени Зеленської «Ти як?» соціологічна компанія Gradus Research провела другу хвилю дослідження психологічного стану українців [1; 16]. За даними опитування, понад 70 % українців відчувають стрес або сильну знервованість. Однак лише 2 % звертаються за психологічною допомогою [9; 15].

Основними ж способами подолання стресу та знервованості українці у 2023 році обирали проведення часу в інтернеті (39 %) та перед телевізором (33 %). Натомість, заняття спортом (11 %) і прогулянки на природі (16 %) займали найнижчі

позиції у цьому рейтингу. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), 25 % дорослих і понад 80 % підлітків не дотримуються рекомендацій щодо рівня фізичної активності. Рекомендована ВООЗ норма фізичної активності – 150 хвилин ходьби у швидкому темпі або 75 хвилин пробіжки [12; 15; 18].

Вплив фізичної активності на організм людини. Регулярні фізичні навантаження помітно зменшують рівень кортизолу (гормону стресу) в організмі людини. Кортизол виділяється під час стресових ситуацій та негативно впливає на наше здоров'я, зокрема, на мозок. Також під час фізичної активності наш організм виробляє хімічні речовини – ендорфіни та серотонін, які ще називають «гормонами щастя». Вони відіграють ключову роль у поліпшенні настрою, зменшенні больових відчуттів та стресу, а також підтримують загальний психічний стан. Доведено, що систематичні фізичні навантаження посилюють кровопостачання мозку та покращують його структуру. Нестача фізичної активності тісно пов'язана з більшим ризиком серцевих захворювань, інсульту та діабету другого типу, які зі свого боку є факторами ризику для розвитку деменції.

Дослідження свідчать, що лише 30 хвилин помірних вправ можуть значно зменшити симптоми тривоги, а регулярні прогулянки (15-30 хв) перед сном покращують якість сну, пізнавальні (когнітивні) функції та емоційну саморегуляцію. Своєю чергою, підвищення когнітивної функції покращує пам'ять, концентрацію, мотивацію та швидше навчання. Включення фізичної активності в розпорядок дня часто призводить й до покращення настрою.

Водночас, під час будь-якого фізичного навантаження варто стежити за своїм серцебиттям. Максимальна частота серцевих скорочень (МЧСС) під час тренувань визначається за формулою 220 (для чоловіків)/ 226 (для жінок) мінус вік людини. Важливо не перевищувати верхню межу МЧСС. (Додаток Д)

Біохімічні процеси, які лежать в основі гарного настрою після занять спортом. З точки зору біохімічних механізмів поліпшення настрою під час занять фізичною активністю викликане за рахунок впливу на гіпоталамус-гіпофіз-надниркову вісь, що зменшує фізіологічну реакцію на стресори (стресові чинники). Після тренування у людини зменшується рівень стресогенних гормонів, таких як кортизол, адреналін,

котехоламін та адренкортикотропін. Водночас збільшується рівень норадреналіну та «гормонів щастя» – серотоніну та ендорфінів. Вивільнення останніх активують рецептори у центрах винагороди, тим самим підвищують задоволеність життям, формують мотивацію, покращують самооцінку, надають відчуття впевненості у собі, покращують якість сну, зменшують ризики появи тривожних та депресивних розладів у дітей, підлітків та дорослих.

Зниження рівня адреналіну та кортизолу, одних з головних гормонів стресу в організмі, пов'язано зі зниженням негативного настрою, меншою кількістю симптомів депресії, тривоги та відсутністю розладів сну [7; 10; 21]. Кортизол є маркером стресу. Високий рівень цього гормону вранці пов'язаний з депресією та невротичними станами. Концентрація кортизолу в крові підвищується, коли організм виходить зі стану рівноваги, зокрема, і в момент заняття спортом. Однак у даному випадку його можна назвати корисним. Вивільнення кортизолу під час фізичної активності пов'язане зі збільшенням доступності субстратів для метаболізму. Після тренування у підлітків та дорослих рівень гормону у крові спостерігається нижчим, аніж до тренування. Також доведено, що кортизол залишається пригніченим протягом 24–48 годин після виснажливих фізичних вправ. Адреналін, як і кортизол, теж виділяється наднирковими залозами у відповідь на стрес, в результаті чого ми відчуваємо збудженість та неспокій, прискорене серцебиття, дихання і стан «бийся або біжи». Після фізичного навантаження рівень адреналіну теж спостерігається нижчим від початкового. Отже, заняття спортом може виступати в ролі захисного фактору від надмірного впливу гормонів стресу та подальшого розвитку психічних захворювань.

Види спорту, які корисні для психічного здоров'я. Дослідження доводять, що заняття спортом, особливо командними видами спорту, покращують психологічне благополуччя та асоціюються з кращим психічним здоров'ям загалом, порівняно з тими, хто не займаються фізичною активністю та ведуть сидячий спосіб життя (люди, які не відповідають рекомендаціям щодо фізичної активності, мають «сидячий спосіб життя» або їх ще називають «сидячими»). Регулярне тренування та будь-які фізичні вправи сприяють

полегшенню симптомів депресії та стресу, покращують якість життя загалом, зміцнюють самооцінку, соціальні навички та взаємодію з людьми, включаючи на роботі, а також позитивно впливають на успіхи у навчанні та на роботі. У людей, у яких діагностовано захворювання, пов'язане із тривогою або стресом, покращуються когнітивні навички – пам'ять, словниковий запас та творче мислення. Цікаво, що наразі існує зв'язок між типом фізичних вправ (спорт з м'ячем, аеробна активність, важка атлетика та танці) та психічним здоров'ям молоді.

Командні види спорту більше пов'язані з покращенням психічного здоров'я, порівняно з індивідуальною фізичною активністю (біг, їзда на велосипеді, плавання тощо). Спорт з м'ячем і танці асоціюються з меншою кількістю симптомів депресії у молодих людей, які постійно відчувають стрес. Також учасники командних ігор спостерігають позитивний вплив на соціальне благополуччя, зокрема, міжособистісне спілкування та значне покращення настрою [7; 10; 21].

У дітей та підлітків будь-яка фізична діяльність (командні чи некомандні види спорту) пов'язана з вищим рівнем задоволеності життям та меншим шансом розвитку симптомів депресії. Заняття будь-яким видом спорту у підлітковому віці також зменшує ризики майбутніх симптомів тривоги (включаючи панічний розлад, генералізований тривожний розлад, соціальну фобію та агорафобію) у ранньому дорослому віці та асоційоване з вищим рівнем емоційного благополуччя. Окрім того, у дітей та підлітків спостерігається позитивна кореляція між залученням до спортивної діяльності у дитинстві та кращими когнітивними здібностями у пізньому підлітковому віці [7; 15; 21].

Водночас припинення заняття спортом змалечку пов'язане з більш високими симптомами депресії у майбутньому порівняно з тими, хто продовжував займатися; а постійна участь у командних видах спорту (але не в індивідуальних) у підлітковому віці асоційована з вищою самооцінкою, нижчим сприйняттям стресу та симптомів депресії у ранньому дорослому віці. Це може бути пов'язано із заохоченням тренера, команди та гарними результатами на полі гри. У літніх людей після групової фізичної активності (наприклад, групові прогулянки) і спорту (наприклад, гольф) поліпшується самооцінка психічного здоров'я, послаблюються симптоми депресії та спостерігається

висока частота сміху у чоловіків та жінок. Відсутність або нерегулярне заняття спортом може бути пов'язано з симптомами легкої та важкої депресії. [8; 10]

Висновки до четвертого розділу

Фізична активність відіграє ключову роль в регулюванні настрою та емоційного фону. Ось кілька способів, як вправи можуть допомогти покращити ваш настрій:

– *вибір приємних активностей* (зайняття, які приносять задоволення, будь-то танці, плавання чи йога, сприяють виділенню ендорфінів і підвищенню загального тону);

– *регулярність* (систематичні фізичні навантаження, навіть у помірних обсягах, сприяють виробленню блукаючого нервового імпульсу, що позитивно позначається на психоемоційному стані);

– *групові заняття* (участь у групових тренуваннях не лише мотивує, але й створює соціальну підтримку, що є важливим аспектом для покращення настрою);

– *природні прогулянки* (заняття на свіжому повітрі, такі як біг або велосипедні прогулянки, не лише зміцнюють фізичне здоров'я, але й сприяють зниженню стресу та тривожності).

Дослідження, які ми провели, довели значний вплив фізичних вправ на психічний стан людини. Результати показали, що регулярні фізичні навантаження допомагають знижувати рівень тривожності та депресії на 70 % (Додаток К). У нашій роботі досліджувались такі аспекти, як вплив аеробних вправ на нейропластичність мозку. Ці дослідження продемонстрували, що фізична активність не тільки сприяє поліпшенню настрою, але й може покращувати когнітивні функції, такі як пам'ять і увага. Студенти, які займаються спортом, показують кращі результати в навчанні та високу продуктивність (Додаток К). Крім того, експерименти показали, що навіть короткі фізичні навантаження, тривалістю близько 20-30 хвилин, можуть викликати поліпшення настрою та продуктивності на наступні кілька годин. Це підкреслює важливість фізичної активності в повсякденному житті, особливо для людей, які прагнуть підвищити свою загальну психоемоційну стабільність.

ВИСНОВКИ

Дослідження, які ми провели, довели значний вплив фізичних вправ на психічний стан людини. Результати показали, що регулярні фізичні навантаження допомагають знижувати рівень тривожності та депресії на 70 % (Додаток К). Фізична активність не лише забезпечує фізичне благополуччя, але й відіграє важливу роль у підтримці психологічного балансу та покращенні якості життя. Акцент на індивідуалізації підходів до фізичної активності може призвести до створення спеціалізованих програм, які враховуватимуть не лише фізичні, а й психоемоційні потреби людей, сприяючи тим самим якіснішій турботі про психічне здоров'я населення в цілому.

Отже, фізична активність є ключовим аспектом, що має значний вплив на психічне здоров'я. Регулярні тренування та заняття спортом не лише сприяють покращенню фізичного стану, але й допомагають справлятися з тривожністю, депресією та стресом. Вони стимулюють вироблення ендорфінів, покращують настрій та сприяють налагодженню соціальних зв'язків. Важно враховувати, що для досягнення позитивного ефекту слід створювати індивідуальний план тренувань, обираючи види активності, які приносять задоволення. Таким чином, впровадження фізичної активності у повсякденне життя може стати потужним інструментом підтримки психоемоційного благополуччя та покращення якості життя. Фізична активність відіграє ключову роль у підтримці психічного здоров'я та благополуччя. Регулярні тренування допомагають не лише знизити рівень стресу та тривожності, але й суттєво поліпшити загальний настрій, сприяючи виробленню ендорфінів. Соціальні аспекти занять, такі як групові тренування та нові знайомства, створюють позитивне оточення, що також благотворно впливає на психічний стан.

Вибір різноманітних видів фізичної активності дозволяє кожній людині знайти підходящий для себе спосіб підтримки здоров'я. Створення індивідуального плану тренувань та вибір підходящих видів активності допоможуть інтегрувати фізичні навантаження у повсякденне життя. Таким чином, активний спосіб життя стає важливим інструментом у боротьбі з

психоемоційними труднощами та сприяє поліпшенню якості життя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрєєва І. М. Психологічне здоров'я особистості як наукова проблема. *Психологія і суспільство*. 2014. № 3. С. 45-53.
2. Бабич О. В. Взаємозв'язок психологічного та фізичного здоров'я людини. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Психологічні науки*. 2017. Вип. 2. С. 12-17.
3. Бех І. Д. Особистісно орієнтоване виховання: науково-методичні засади : монографія. Київ : Либідь, 1998. 204 с.
4. Бондаренко О. Ф. Психологія здоров'я людини : навч. посіб. Київ : Освіта України, 2015. 256 с.
5. Всесвітня організація охорони здоров'я. Психічне здоров'я : нове розуміння, нова надія. Женева : ВООЗ, 2001. 178 с.
6. Галецька І. І. Психологія здоров'я: теорія та практика : навч. посіб. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 312 с.
7. Горбунова В. В. Психологічні настанови як чинник збереження здоров'я особистості. *Проблеми сучасної психології*. 2019. Вип. 45. С. 78-89.
8. Дубровіна І. В. Психічне здоров'я дітей і підлітків : монографія. Київ : Педагогічна думка, 2009. 320 с.
9. Климчук В. О. Позитивне мислення як ресурс психічного здоров'я. *Соціальна психологія*. 2016. № 1. С. 34-41.
10. Кокун О. М. Психологія життєстійкості особистості : монографія. Київ : Інтерсервіс, 2018. 280 с.
11. Максименко С. Д. Психологічні механізми формування здорової особистості. *Психологія і особистість*. 2015. № 2. С. 7-18.
12. Маслоу А. Мотивація і особистість / пер. з англ. Київ : Основи, 2003. 352 с.
13. Менделевич В. Д. Клінічна психологія : підручник. Київ : Академвидав, 2011. 424 с.

14. Міщенко Т. С. Вплив хронічного стресу на психічне та соматичне здоров'я людини. *Медична психологія*. 2020. Т. 15, № 3. С. 22-28.
15. Ліхі Р. Л. Свобода від тривоги. Здолай тривогу доки вона не здолала тебе / пер. з англ. Ірини Щепанюк. Київ : Ростислава Бурлаки, 2024.-552 с.
16. Рибалка В. В. Психологія здоров'я в системі сучасних наукових знань. *Педагогіка і психологія*. 2018. № 4. С. 56-63.
17. Сельє Г. Стрес без дистресу / пер. з англ. Київ : Наш формат, 2019. 240 с.
18. Франкл В. Людина в пошуках справжнього сенсу / пер. з нім. Київ : Дух і Літера, 2018. 160 с.
19. Фрейд З. Вступ до психоаналізу / пер. з нім. Харків : Фоліо, 2016. 512 с.
20. Шевченко Н. Ф. Відсутність позитивних життєвих настанов як чинник виникнення психосоматичних розладів. *Український психологічний журнал*. 2021. № 1. С. 90-98.
21. Ялом І. Екзистенційна психотерапія / пер. з англ. Львів : Видавництво Старого Лева, 2020. 640 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Анкета

Вплив фізичної активності на нервові процеси
Ця анкета спрямована на вивчення впливу фізичної активності на нервові процеси. Будь ласка, відповідайте на запитання чесно та об'єктивно.

1. Особиста інформація:

- Ім'я:
- Вік:
- Стать:
- Освіта:

2. Яку регулярну фізичну активність ви здійснюєте? (прогулянки, біг, тренажерний зал, групові заняття, інше)

- а) Я зазвичай ходжу на прогулянки в парку.
- б) Мої основні заняття - біг на відкритому повітрі.
- в) Я регулярно відвідую тренажерний зал.

- г) Мені подобається брати участь у групових тренуваннях, таких як аеробіка чи йога.
- д) Інше (вказати конкретний вид фізичної активності).
3. Як часто ви займаєтеся фізичною активністю на тиждень?
- а) Я тренуюся кожен день.
- б) Три-чотири рази на тиждень.
- в) Раз на тиждень.
- г) Залежить від мого графіку, але в середньому двічі на тиждень.
4. Як тривалість вашого тренування?
- а) Мої тренування тривають близько 30 хвилин.
- б) Я відводжу годину на тренування.
- в) Іноді це може бути всього 15-20 хвилин.
- г) Тривалість занять залежить від мого настрою, але в середньому 45 хвилин.
5. Чи помічаєте ви поліпшення в настрої після фізичних вправ?
- а) Так, після фізичних вправ я завжди відчуваю покращення в настрої.
- б) Іноколи так, а іноколи ні.
- в) Моя настрій зазвичай залишається незмінним.
- г) Важко сказати, оскільки не приділяю уваги своєму настрою після тренувань.
6. Як часто ви відчуваєте стрес, і як ви його зазвичай розслабляєте?
- а) Часто відчуваю стрес, і розслаблююся за допомогою фізичних вправ.
- б) Стрес трапляється, але я розслаблююся при прогулянці на свіжому повітрі.
- в) Рідко відчуваю стрес, але коли таке стається, я розслаблююся музикою чи читанням.
- г) Я рідко відчуваю стрес, і не потрібно його розслабляти.
- д) Інше
7. Які зміни ви відчуваєте в організмі після тренування?
- а) Після тренувань я відчуваю збудження та енергію.
- б) Мої м'язи можуть бути трошки напруженими, але це нормально.
- в) Відчуваю зниження напруги в м'язах та покращення гнучкості.
- г) Я не помічаю конкретних змін після тренувань.
8. Як ви оцінюєте ваш рівень стресу на даний момент?
- а) Зараз маю низький рівень стресу.
- б) Середній рівень стресу.

- в) Стрес, але шукаю способи зняття напруги.
- г) Високий рівень стресу.

9. Чи помічаєте ви покращення в концентрації та здатності приймати рішення після фізичного навантаження?

- а) Так, після тренування моя концентрація покращується.
- б) Я не помічаю впливу фізичної активності на мою концентрацію.
- в) Важко сказати, оскільки я не звертаю уваги на такі моменти.
- г) Моя концентрація погіршується після тренування.

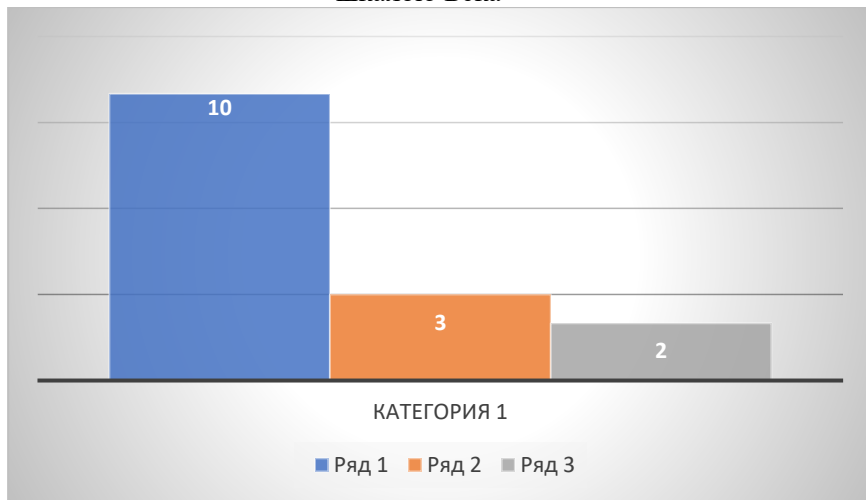
10. Як ви оцінюєте якість вашого сну після тренування?

- а) Мій сон став кращим після тренувань.
- б) Сон не змінюється після фізичної активності.
- в) Іноді відчуваю покращення у якості сну.
- г) Не помічаю впливу тренувань на мій сон.

Якщо у вас є ще які-небудь спостереження або коментарі щодо впливу фізичної активності на ваші нервові процеси, будь ласка, поділіться ними.

Додаток Ж

Результати дослідження на рівень тривожності за шкалою Бека



Симптоми тривожності



прискорене
серцебиття



проблеми зі
шлунково-
кишковим трактом



біль за грудиною



часте
сечовиділення



часте дихання



проблеми зі сном



підвищене
потовиділення



відчуття
знервованості
до межі



тремтіння



безпричинне
роздратування



слабкість



передчуття біди



втома



проблеми з
концентрацією
уваги



напруженість
в м'язах



запаморочення

Шкала Тривоги Бека

Прізвище, ім'я _____ Вік ____ Дата дослідження _____

Прощу обрати одну з можливостей відповіді на кожне запитання.
 Старайтесь відповідати швидко.

	0.Зовсім не турбує	1.Злегка турбує	2.Середньо турбує	3.Дуже турбує
1.Відчуття оніміння та поколювання в тілі				
2.Відчуття жару				
3.Тремтіння в ногах				
4.Неможливість розслабитись				
5.Страх, що станеться найгірше				
6.Головокружіння				
7.Прискорене серцебиття				
8.Нестійкість, нестабільність				
9.Відчуття жаху, це кінець				
10.Дратівливість				
11.Тремтіння в руках				
12.Відчуття задухи				
13.Нерівна хода				
14.Страх втрати контролю				
15.Труднощі з диханням				
16.Страх смерті				
17.Переляк				
18.Шлунково-кишкові розлади				
19.Непритомність				
20.Прилив крові до обличчя				
21.Посилене потовиділення (не				

Результат:

0–5 норма ;

6-8 легкий рівень тривоги ;

9-18 середній рівень тривоги.

Більше 19 балів – високий рівень тривоги

Техніка на розслаблення м'язів Джейкобсона

При виконанні техніки Джейкобсона потрібно напружувати певні групи м'язів. Важливо не перенапружувати їх, а також стежити, щоб не напружувалися м'язи інших груп.

Алгоритм:

1. Дихання

Прийміть зручне положення тіла (рекомендується сісти) і зробіть кілька спокійних вдихів та видихів. Уважно стежте за тим, як ви вдихаєте і видихаєте повітря.

2. Вправи на напруження-розслаблення

Після дихання перейдіть до вправ на напруження-розслаблення. У кожній вправі потрібно максимально напружувати певні м'язи протягом 5-10 секунд, а потім повністю розслабляти їх протягом 30-45 секунд.

Важливо! Відстежуйте, як напруження йде від ваших м'язів. Зосереджуйтеся на розслабленні, яке вникає. Відчуйте різницю між станом напруження та розслаблення. Звертайте увагу тільки на ті м'язи, які ви напружуєте і розслабляєте.

Вправи на напруження-розслаблення (поки не запам'ятаєте порядок, можна зробити і використовувати аудіозапис з інструкцією у відповідному темпі і з необхідними паузами):

– стисніть кулаки, а потім розслабте їх; розведіть пальці, а потім розслабте їх;

– напружити біцепси, а потім розслабте їх; напружте трицепси, а потім розслабте їх;

– відтягніть плечі назад, а потім розслабте їх, спрямуйте плечі вперед, а потім розслабте їх.

– поверніть голову максимально вправо, а потім розслабте шию; поверніть голову до упору вліво, а потім розслабте шию; притисніть підборіддя до грудей, а потім розслабте шию;

– відкрийте рота якомога ширше, а потім розслабте його; максимально стисніть губи, а потім розслабте їх;

– висуньте язик якомога далі, а потім розслабте його; втягніть язика якомога далі в гортань, а потім розслабте його; притисніть язика до неба, а потім розслабте його; притисніть

язика до нижньої частини ротової порожнини, а потім розслабте його;

– відкрийте очі якомога ширше, а потім розслабте їх; закрийте очі щосили, а потім розслабте очі і ніс;

– якщо проблем зі спиною немає: акуратно прогніться у спині вперед, а потім розслабте спину;

– максимально втягніть живіт, а потім розслабте його; максимально надуйте живіт або напружте м'язи живота, а потім розслабте їх;

– підтягнути сідничні м'язи і трохи підійміть таз, а потім розслабте м'язи сідниць;

– витягніть ноги вперед та підійміть їх на 15 см від підлоги, а потім опустіть ноги і розслабте їх; сильно притисніть ноги до підлоги, а потім розслабте їх; підійміть вгору пальці ніг, а потім розслабте їх; натягніть ступні на себе, а потім розслабте ступні та пальці.

3. Дихання

Зробіть глибокий вдих, а потім доберіть ще трохи повітря; видихніть все повітря з легень, а потім ще трохи видихніть; спокійно дихайте у звичному режимі протягом 15 -60 секунд. В ідеалі, після виконання цієї вправи ваші м'язи мають стати більш розслабленими, ніж були раніше, а ваша свідомість повинна наповнитися спокоєм. Якщо цього не відбулося, повторіть всю процедуру. Намагайтеся ні про що не думати і орієнтуйтеся тільки на м'язову напругу і розслаблення.

«Бліц-версія» прогресивної м'язової релаксації за Джекобсоном

Повна версія м'язової релаксації вимагає чималого часу, якщо його немає, можна спробувати обмежитися бліц-варіантом.

Алгоритм:

1. Прийміть зручне положення тіла (рекомендується сісти) і зробіть кілька спокійних вдихів та видихів. Уважно стежте за тим, як ви вдихаєте і видихаєте повітря. Після цього перейдіть до вправ на напруження-розслаблення. У кожній вправі потрібно максимально напружувати певні м'язи протягом 5-10 секунд, а потім повністю розслабляти їх протягом 30-45 секунд.

2. Вправи на напруження-розслаблення:

- стисніть кулаки і напружте руки до плечей, а потім розслабте руки, «скиньте» напруження униз;
 - відтягніть плечі назад і максимально напружте їх у такому положенні, а потім розслабте; витягніть плечі вперед і максимально напружте у такому положенні, а потім розслабте;
 - максимально втягніть живіт, а потім розслабте його; максимально надуйте живіт або напружте м'язи живота, а потім розслабте їх;
 - сильно притисніть ноги до підлоги, а потім розслабте їх;
 - підійміть вгору пальці ніг і натягніть на себе ступні, а потім розслабте ступні та пальці.
- У цьому скороченому варіанті також важливо:*
- стежити за тим, як напруга покидає Ваші м'язи;
 - зосереджувати увагу на отримуване розслаблення;
 - відчувати різницю між станом напруження і розслаблення;
 - звертати увагу тільки на ті м'язи, які Ви напружуєте та розслабляєте.

У результаті постійних вправ з м'язової релаксації можна сформувати навик відстеження і зняття напруги в конкретних групах м'язів (відтоді – зниження тривоги, страху, роздратування) – у будь-який час, в будь-якому положенні тіла, навіть під час будь-якої діяльності.

Додаток Д

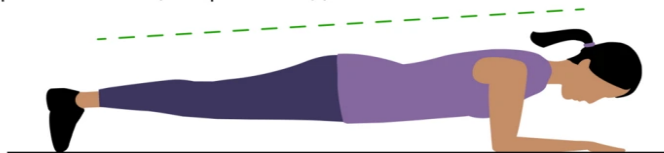
Найкращі способи зниження артеріального тиску

Британські вчені з'ясували, що силові вправи, такі як присідання біля стіни чи тримання «планки» – один з найкращих способів знизити артеріальний тиск. На думку науковців, сучасні рекомендації, де основна увага приділяється ходьбі, бігу та велосипедній їзді, варто переглянути. Скільки треба ходити щодня, щоб запобігти передчасній смерті? Яким спортом в якому віці найкраще займатися? Згідно з результатами досліджень за участі 16 тисяч людей, усі фізичні вправи знижують артеріальний тиск. Однак присідання біля стіни та «планка» краще знижують

тиск, ніж аеробне навантаження. Ці статичні вправи розвивають мускулатуру без руху м'язів і суглобів. «Планка» нагадує віджимання: лікті розміщені рівно під плечима, ноги прями. Ця вправа зміцнює м'язи живота.

Планка

- Лікті на одному рівні з плечима
- Пряма спина
- Тримати позицію протягом двох хвилин

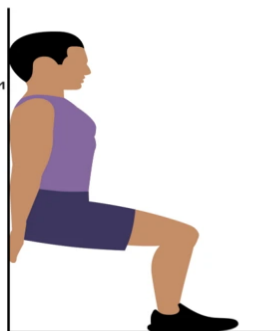


В В С

Вчені з Університету Крайст Черч та Університету Лестера вивчили результати 270 клінічних досліджень, опублікованих у період з 1990 по 2023 рр. У них взяли участь 15 827 людей, які займалися фізичними вправами протягом двох тижнів і більше.

Присідання біля стіни

- Спина притиснута до стіни
- Ноги на відстані 60 см від стіни
- Стегна - паралельно підлозі
- Тримати позицію протягом двох хвилин



В В С

Вони виявили, що артеріальний тиск у стані спокою знижується на:

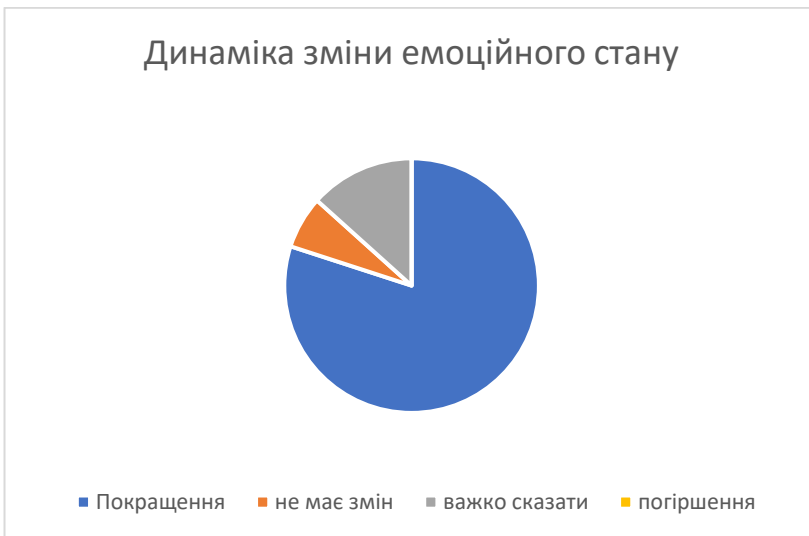
- 4,49/2,53 мм рт.ст. після аеробних тренувань (біг чи велосипедна їзда);

- 4,55/3,04 мм рт. ст. після динамічних тренувань чи силових вправ;
- 6,04/2,54 мм рт. ст. після комбінованих тренувань (аеробних та з обтяженням);
- 4,08/2,50 мм рт. ст. після високоінтенсивних інтервальних тренувань (короткі серії інтенсивних вправ з періодами відпочинку між ними);
- 8,24/4 мм рт. ст. після тренувань з ізометричними вправами (планки та присідання біля стіни).

За словами доктора О'Дріскола, хоча ці цифри й невеликі, вони можуть зменшити ризик інсульту. У Британії лікарі рекомендують дорослим людям витрачати щонайменше 150 хвилин на тиждень на вправи помірної інтенсивності або 75 – на енергійні вправи, і двічі на тиждень займатися вправами на зміцнення м'язів. Доктор О'Дрісколл вважає, що до цього списку потрібно додати двохвилинне присідання біля стіни тричі на тиждень або двохвилинну «планку» – чотири рази.

Додаток К

Результати впливу фізичних тренувань на емоційний стан на прикладі 15 людей



2.12. Пешко Іван, здобувач професійної освіти Овруцького професійного ліцею, науково-дослідницька робота «WordMate: розробка інтерактивного англomовного тренажера у вигляді Telegram-бота»

Здобувач професійної освіти Овруцького професійного ліцею Пешко Іван Анатолійович за науково-дослідницьку роботу на тему: «Wordmate: розробка інтерактивного англomовного тренажера у вигляді telegram-бота» отримав диплом учасника **Конкурсу**

Відділення: інформаційні технології

Секція: інтернет-технології та вебдизайн

Педагогічний керівник: Барановський Євгеній Миколайович, викладач предметів професійно-теоретичної підготовки Овруцького професійного ліцею

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	3
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ЛЕКСИКИ	8
1.1. Основні категорії для вивчення іноземної лексики	8
1.2. Визначення переваг та недоліків аналогів ...	9
1.3. Обґрунтування необхідності розробки WordMate	9
Висновки до розділу 1	10
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ СТЕК ТА МЕТОДИ РОЗРОБКИ	11
2.1. Вибір технологій та інфраструктури проєкту ...	11
2.2. Детальна архітектура бази даних	12
2.3. Серверна архітектура та система безпеки	12
2.4. Функціональна архітектура та взаємодія компонентів	13

Висновки до розділу 2	14
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІОНАЛ СИСТЕМИ	15
3.1. Опис архітектури проекту	15
3.2. Функціонал Telegram-бота	15
3.3. Функціонал та дизайн веб-сайту	17
3.4. Схема взаємодії компонентів системи	17
Висновки до розділу 3	18
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ	19
Висновки до розділу 4	21
Розділ 5 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ІНТЕРФЕЙСУ СИСТЕМИ	22
5.1. Інтерфейс Telegram-бота WordMate	22
5.2. Веб-сайт проекту WordMate	23
5.3. Взаємодія користувача з системою	25
Висновки до 5 розділу	25
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	28
ДОДАТКИ	30

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

API	– Application Programming Interface	RAM	– Random Access Memory
SQL	– Structured Query Language	CPU	– Central Processing Unit
HTML	– HyperText Markup Language	DB	– Database
CSS	– Cascading Style Sheets	MVC	– Model-View-Controller
JS	– JavaScript	SDK	– Software Development Kit
VPS	– Virtual Private Server	SEO	– Search Engine Optimization
SSL	– Secure Sockets Layer	QR-код	– Quick Response код
TLS	– Transport Layer Security	МАН	– Мала академія наук

UI	– User Interface	Бот	– Автоматизована програма для спілкування
UX	– User Experience	Градiєнт	– Плавний перехiд кольорiв
PWA	– Progressive Web App	Фавiкон	– Iконка веб-сайту
HTTP	– HyperText Transfer Protocol	Веб-хостинг	– Послуга розміщення веб-сайту
HTTPS	– HTTP Secure	GitHub	– Платформа для зберiгання коду
URL	– Uniform Resource Locator	Cloudflare	– Сервіс захисту веб-сайтів
JSON	– JavaScript Object Notation	phpMyAdmin	– Веб-iнтерфейс для керування MySQL
MySQL	– система керування базами даних	Debian	– Операційна система Linux
DNS	– Domain Name System	Apache	– Веб-сервер
CDN	– Content Delivery Network	Nginx	– Веб-сервер
OS	– Operating System	Python	– Мова програмування
Telegram	– Месенджер	WordMate	– Назва проєкту

ВСТУП

Актуальність проблеми. У сучасному глобалізованому світі володіння англійською мовою стало критично важливим навиком для професійного успіху, академічних досягнень та особистісного розвитку. Зростання міжнародної співпраці, розвиток ІТ-галузі та відкритість світового ринку праці підвищують попит на якісні знання англійської мови. Однак основним викликом у процесі вивчення мови залишається ефективне поповнення словникового запасу та його стабільне закріплення в довготривалій пам'яті.

Попри значну кількість існуючих рішень для вивчення лексики – від класичних карток Anki до сучасних мобільних додатків як Duolingo чи Memrise – більшість з них мають системні недоліки. Вони часто вимагають від користувача перемикання між різними цифровими середовищами, пропонують уніфікований, неперсоналізований контент, мають обмежену інтерактивність та не завжди використовують науково обґрунтовані методики запам'ятовування. Ці фактори значно знижують мотивацію та ефективність навчання.

Паралельно месенджери, зокрема Telegram, перетворилися на центральні хаби цифрової комунікації, де користувачі проводять значну частину часу. Інтеграція навчального інструменту безпосередньо в це природне середовище дозволяє подолати багато з існуючих обмежень. Актуальність проекту «WordMate» полягає у створенні інноваційного рішення, яке поєднує переваги науково обґрунтованих методів вивчення мови (зокрема, технології інтервальних повторень) з зручністю, доступністю та інтерактивністю платформи Telegram, забезпечуючи безперервний та персоналізований процес навчання.

Тема дослідження. Розробка інтерактивного англomовного тренажера у вигляді Telegram-бота.

Мета роботи: є розробка та впровадження комплексної інформаційної системи для ефективного вивчення англійської лексики у вигляді інтерактивного Telegram-бота «WordMate» з супутнім інформаційним веб-сайтом, розгорнутої на власному серверному середовищі.

Об'єктом дослідження виступає процес розробки складного програмного забезпечення для навчання іноземним мовам з використанням сучасних веб-технологій та платформи інтелектуальних чат-ботів.

Предметом дослідження є методичні, алгоритмічні та технологічні аспекти створення інтерактивного навчального середовища, зокрема:

- методи інтеграції з Telegram Bot API для створення зручного та функціонального інтерфейсу;
- алгоритми інтервальних повторень (Spaced Repetition System) для оптимізації процесу запам'ятовування;

- принципи проектування ергономічного користувацького досвіду (UX) в умовах обмежень месенджерів;
- технології побудови гібридної серверної інфраструктури для забезпечення високої доступності та масштабованості;
- методи захисту даних та забезпечення конфіденційності в освітніх системах.

Для досягнення поставленої мети **сформульовано наступні задачі:**

1. Проведення комплексного аналізу ринку існуючих засобів для вивчення іноземної лексики з виявленням їх сильних і слабких сторін.
2. Вибір та обґрунтування оптимального технологічного стеку для реалізації всіх компонентів системи.
3. Проектування архітектури реляційної бази даних для зберігання інформації про користувачів, словникові запаси та статистику навчання.
4. Розробка модулів Telegram-бота, що включають функції вивчення нових слів, різноманітні типи вправ, систему інтелектуальних повторень та моніторинг прогресу.
5. Створення сучасного адаптивного веб-сайту з інтуїтивним інтерфейсом для презентації можливостей проекту.
6. Налаштування продуктивного та безпечного серверного середовища з використанням гібридної архітектури веб-серверів.
7. Реалізація механізмів захисту даних користувачів та безпечного обміну інформацією.
8. Проведення всебічного тестування функціональності, продуктивності та зручності використання системи.

Методи дослідження. У процесі виконання науково-дослідної роботи було використано комплекс теоретичних та практичних методів дослідження.

Теоретичні методи включають аналіз і узагальнення науково-методичної літератури з питань вивчення іноземних мов, когнітивної психології, інтервальних повторень та проектування навчальних інформаційних систем. Порівняльний аналіз застосовувався для дослідження функціональних можливостей існуючих мобільних додатків, веб-платформ і систем флеш-

карток для вивчення лексики. Системний підхід використовувався під час проектування архітектури програмного забезпечення та визначення взаємозв'язків між компонентами системи. Алгоритмічні методи були застосовані для реалізації системи інтервальних повторень та логіки адаптивного навчання.

Практичні методи включають проектування та реалізацію бази даних, програмування Telegram-бота мовою Python, розгортання серверної інфраструктури та експериментальне тестування системи.

Емпіричні методи, зокрема спостереження та аналіз результатів тестування, використовувалися для оцінювання ефективності навчання та зручності користувацького інтерфейсу.

Наукова новизна роботи полягає у: розробці та практичній реалізації інтерактивного тренажера для вивчення англійської лексики, інтегрованого безпосередньо у середовище месенджера Telegram; поєднанні алгоритмів інтервальних повторень із персоналізованою системою підбору завдань у форматі чат-бота; застосуванні гібридної серверної архітектури з використанням Telegram Bot API, реляційної бази даних та захищеної веб-інфраструктури; адаптації класичних психолінгвістичних моделей запам'ятовування до умов мікронавчання в месенджерах.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої системи WordMate як реального навчального інструмента для здобувачів освіти, студентів та всіх охочих вивчати англійську мову. Telegram-бот може бути впроваджений у навчальний процес закладів освіти як допоміжний засіб для самостійної роботи.

Матеріали роботи можуть бути використані під час викладання дисциплін, пов'язаних з інформаційними технологіями, веброзробкою та освітніми платформами. Архітектурні та програмні рішення можуть слугувати основою для подальших розробок навчальних чат-ботів та цифрових освітніх сервісів.

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Список використаних джерел налічує 25 найменувань. Загальний обсяг роботи 30 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНОЇ ЛЕКСИКИ

1.1. Основні категорії для вивчення іноземної лексики

Проведений аналіз ринку освітніх технологій дозволив виявити три основні категорії рішень для вивчення іноземної лексики:

Мобільні додатки (Duolingo, Memrise, Quizlet): Характеризуються інтуїтивним інтерфейсом та гейміфікацією [с. 30біб] навчального процесу. Використовують базові методи інтервальних повторень, але часто мають обмежені безкоштовні версії та пропонують стандартизовані набори слів.

Флеш-картки (Anki, Tinycards): Надають користувачам повний контроль над процесом навчання, дозволяючи створювати власні набори карток. Реалізують потужні алгоритми інтервальних повторень, але вимагають значного часу для підготовки контенту та мають складний для початківців інтерфейс.

Веб-платформи (LinguaLeo, Busuu): Пропонують комплексний підхід до вивчення мови, включаючи читання, аудіювання та спілкування. Мають структуровані курси, але часто потребують оплати для отримання повного доступу до функціоналу [2, с. 15-18].

1.2. Визначення переваг та недоліків аналогів

Аналіз конкурентних рішень дозволив виявити характерні недоліки:

- залежність від інтернет-з'єднання для роботи;
- необхідність встановлення додаткових додатків;
- обмеженість безкоштовних функцій;
- відсутність персоналізації навчального процесу;
- необхідність регулярного ручного оновлення контенту;
- відсутність інтеграції з повсякденними інструментами спілкування.

Переваги аналогів включають: науково обґрунтовані методики навчання, зручні інтерфейси, різноманітність вправ та великі бази слів

1.3. Обґрунтування необхідності розробки WordMate

Необхідність розробки WordMate обґрунтовується наступними факторами:

– *інтеграція в природне середовище* (на відміну від існуючих рішень, WordMate працює безпосередньо в Telegram, де користувачі проводять значну частину часу, що усуває необхідність перемикання між додатками);

– *повна безкоштовність* (проект не має платних обмежень, на відміну від більшості аналогів, що робить його доступним для всіх бажаючих);

– *персоналізація* (система адаптується під індивідуальні потреби кожного користувача, враховуючи його прогрес та труднощі у вивченні);

– *технологічні переваги* (використання власного серверного середовища забезпечує стабільність роботи, високу швидкість відповіді та можливість миттєвих оновлень);

– *універсальність* (поєднання переваг флеш-карток (гнучкість) та мобільних додатків (зручність) в єдиному рішенні) [9, с. 126-128].

Розробка WordMate дозволяє усунути основні недоліки існуючих рішень та запропонувати користувачам інноваційний підхід до вивчення англійської лексики, що поєднує наукові методики з повсякденним використанням месенджера.

Висновки до розділу 1

У першому розділі проведено аналіз сучасних цифрових засобів для вивчення англійської лексики, включаючи мобільні додатки, веб-платформи та системи флеш-карток.

Визначено їхні переваги та недоліки, зокрема обмежену персоналізацію, платні функції та необхідність використання окремих додатків.

Обґрунтовано доцільність створення Telegram-бота WordMate як інноваційного рішення, що поєднує зручність месенджера з науково обґрунтованими методами навчання.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ СТЕК ТА МЕТОДИ РОЗРОБКИ

2.1. Вибір технологій та інфраструктури проєкту

Розробка Telegram-бота WordMate базується на сучасному технологічному стеку, що забезпечує високу продуктивність, надійність та безпеку системи. В якості основної мови програмування обрано Python версії 3.11, що дозволяє ефективно реалізувати бізнес-логіку бота та забезпечує просту інтеграцію з Telegram API. Вибір Python обумовлений його широкими можливостями для швидкої розробки, багатою стандартною бібліотекою [20, с.30] та активною спільнотою розробників.

Для зберігання даних використовується реляційна база даних [14, с. 30] MySQL версії 8.0, яка забезпечує надійне зберігання інформації про користувачів, словниковий запас та прогрес навчання. Веб-сервер Apache 2.4 [21, с. 30] відповідає за обробку запитів та взаємодію з користувацьким інтерфейсом. Вся система розгорнута на віртуальному приватному сервері (VPS) [21, с. 30] з операційною системою Debian 12, що забезпечує стабільну роботу та повний контроль над конфігурацією середовища.

Для забезпечення безпеки та продуктивності реалізовано комплекс заходів захисту. Домен wordmate.pp.ua захищено за допомогою Cloudflare, який надає не лише SSL-сертифікат для шифрування даних, але й захист від DDoS-атак [25, с. 30] та кешування контенту для підвищення швидкодії. Управління базою даних здійснюється через phpMyAdmin [24, с. 30], що надає зручний веб-інтерфейс для адміністрування БД та моніторингу її стану.

2.2. Детальна архітектура бази даних

База даних MySQL 8.0 спроектована з урахуванням принципів нормалізації та оптимізації запитів. Основним структурним елементом є таблиця 'users', яка зберігає унікальні ідентифікатори користувачів у Telegram, їх особисту інформацію та налаштування. Кожен користувач має унікальний telegram_id, що дозволяє ідентифікувати його в системі, а також мовні налаштування для персоналізації інтерфейсу.

Словниковий запас організований через систему категорій у таблиці 'word_categories'. Кожна категорія має рівень складності (від початкового до просунутого) та може бути активована або деактивована в залежності від потреб навчального процесу. Таблиця 'words' містить безпосередньо слова для вивчення з їх перекладом, транскрипцією та прикладами використання в контексті, що значно покращує ефективність запам'ятовування [13].

Для відстеження прогресу навчання реалізовано таблицю 'user_progress', яка фіксує кількість правильних відповідей, загальну кількість спроб та дати останнього повторення для кожного слова. Система використовує алгоритм інтервальних повторень, розраховуючи оптимальну дату наступного повторення на основі успішності засвоєння матеріалу [13].

Історія тренувань зберігається в таблиці 'training_sessions', де реєструються тип проведеного тренування, кількість правильних відповідей та загальна кількість завдань. Ця інформація дозволяє аналізувати ефективність навчального процесу та коригувати його відповідно до індивідуальних особливостей користувача [14].

2.3. Серверна архітектура та система безпеки

Інфраструктура проекту розгорнута на віртуальному приватному сервері з операційною системою Debian 12, що забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності та вартості. Веб-сервер Apache 2.4 налаштований для обробки запитів через модуль [24, с. 30] mod_wsgi, який забезпечує інтеграцію Python-додатків з веб-сервером. Для домену

wordmate.pp.ua налаштовано віртуальний хост із правилами rewrite, що забезпечують зручні та чисті URL.

Система безпеки реалізована на кількох рівнях. На рівні мережі захист забезпечує Cloudflare, який фільтрує шкідливий трафік, надає захист від DDoS-атак та кешує статичний контент для підвищення швидкодії. SSL-сертифікат від Cloudflare гарантує шифрування всіх даних, що передаються між клієнтом та сервером. На рівні VPS налаштовано фаєрвол, який обмежує вхідні та вихідні з'єднання, залишаючи відкритими лише необхідні порти для роботи веб-сервера та SSH.

Система управління базою даних через phpMyAdmin забезпечує зручний інтерфейс для адміністратора, дозволяючи виконувати SQL-запити, керувати структурою таблиць та здійснювати резервне копіювання даних. Регулярні оновлення системних пакетів та компонентів програмного забезпечення забезпечують закриття потенційних вразливостей безпеки [26].

2.4. Функціональна архітектура та взаємодія компонентів

Архітектура системи побудована за принципом модульності, де кожен компонент відповідає за певний функціонал. Telegram-бот виступає основним інтерфейсом взаємодії з користувачем, обробляючи повідомлення та команди через Telegram API. Python-скрипти реалізують бізнес-логіку бота, включаючи механізми навчання, перевірки знань та аналізу прогресу.

База даних MySQL виконує роль централізованого сховища інформації, забезпечуючи цілісність та послідовність даних. Через phpMyAdmin адміністратор може моніторити стан системи, додавати нові слова та категорії, аналізувати статистику використання бота. Cloudflare виконує функцію проміжного ланки між користувачами та сервером, забезпечуючи прискорення завантаження та додатковий рівень безпеки.

Процес навчання будується на основі інтерактивних вправ різних типів: переклад слів, вибір правильного варіанту серед запропонованих та написання слів за транскрипцією. Система адаптує складність завдань відповідно до прогресу користувача, забезпечуючи оптимальний рівень складності для ефективного

навчання. Всі результати тренувань аналізуються та враховуються при формуванні подальших завдань, що забезпечує персоналізований підхід до навчання кожного користувача.

Висновки до розділу 2

У другому розділі обґрунтовано вибір технологічного стеку та описано архітектуру системи WordMate. Використання Python, MySQL, Apache та VPS на базі Debian забезпечує стабільність, масштабованість і безпеку роботи системи.

Розглянуто структуру бази даних, серверну архітектуру та механізми захисту інформації. Запропонована архітектура дозволяє ефективно реалізувати персоналізований навчальний процес.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІОНАЛ СИСТЕМИ

3.1. Опис архітектури проєкту

Архітектура проєкту WordMate побудована на принципах модульності та масштабованості. Система складається з трьох основних компонентів: Telegram-бота як основного інтерфейсу користувача, веб-сайту як презентаційної платформи та серверної частини, що забезпечує роботу всієї системи. Всі компоненти інтегровані між собою через єдину базу даних MySQL, що забезпечує консистентність даних та централізоване управління. Проєкт розроблено з використанням принципів чистого коду та відкритої архітектури, що дозволяє легко розширювати функціонал. Весь вихідний код проєкту є відкритим та доступним на [GitHub](https://github.com/pandexofficial/wordmate) за посиланням: <https://github.com/pandexofficial/wordmate>, що сприяє прозорості розробки та дозволяє іншим розробникам внести свій внесок у вдосконалення системи.

3.2. Функціонал Telegram-бота

Telegram-бот WordMate є основним інтерфейсом взаємодії користувача з навчальною системою та реалізований із використанням Telegram Bot API, що забезпечує стабільний обмін повідомленнями, підтримку інтерактивних кнопок і швидкий зворотний зв'язок у режимі реального часу [11]. Використання платформи Telegram дозволяє інтегрувати навчальний процес у звичне для користувача середовище, не потребуючи встановлення додаткового програмного забезпечення.

Функціонал бота побудований за модульним принципом, що забезпечує зручність користування, логічну навігацію та можливість подальшого розширення системи.

Модуль вивчення нових слів

Модуль реалізує систематичне додавання нової лексики до словникового запасу користувача. Кожне слово супроводжується детальною інформацією: точним перекладом, фонетичною транскрипцією для коректного вимови та контекстними прикладами використання. Користувач має можливість вибирати слова для вивчення з різних категорій, що відсортовані за рівнем складності - від базових тем для початківців до спеціалізованої лексики для просунутих користувачів. Система забезпечує поступове ускладнення матеріалу відповідно до прогресу користувача.

Модуль тренувань

Модуль пропонує різноманітні типи інтерактивних вправ для ефективного закріплення матеріалу. Серед основних форматів тренувань: вправи на переклад (з англійської на українську та навпаки), завдання з вибором правильного варіанту з декількох запропонованих, вправи на написання слів за транскрипцією чи визначенням. Кожен тип вправ розроблено з урахуванням принципів когнітивної психології для максимально ефективного запам'ятовування. Система автоматично підбирає складність завдань на основі аналізу успішності попередніх спроб.

Модуль статистики та прогресу

Цей модуль надає детальну статистику навчального процесу у зручному візуальному форматі. Користувач може

переглядати свій прогрес у вивченні слів, відстежувати динаміку покращення знань, аналізувати успішність за типами вправ та категоріями слів. Система формує персональні рекомендації щодо напрямів покращення результатів та виділяє проблемні теми, які потребують додаткового повторення.

Система повторень

Інтелектуальна система повторень побудована на алгоритмі інтервальних повторень (Spaced Repetition System), що ґрунтується на кривій забування Еббінгауза. Система автоматично визначає оптимальні інтервали для повторення вивченого матеріалу, враховуючи індивідуальні показники успішності кожного користувача. Алгоритм динамічно коригує графік повторень на основі статистики правильних та неправильних відповідей, забезпечуючи максимальну ефективність закріплення знань у довготривалій пам'яті [4].

3.3. Функціонал та дизайн веб-сайту

Веб-сайт проєкту виконує роль інформаційного порталу та точки входу для нових користувачів. Сайт має сучасний адаптивний дизайн [с. 30], що коректно відображається на пристроях з будь-якою діагоналлю екрана. Основний функціонал включає презентацію можливостей бота, детальний опис методів навчання, інструкції з початку роботи та контактну інформацію для зворотного зв'язку. Дизайн сайту виконано в єдиній стилістиці з ботом, що створює цілісний користувацький досвід. Сайт також містить пряме посилання для запуску бота в Telegram та посилання на GitHub-репозиторій з відкритим кодом проєкту.

3.4. Схема взаємодії компонентів системи

Взаємодія між компонентами системи організована через чітко визначені інтерфейси та протоколи обміну даними. Telegram-бот, реалізований на Python, взаємодіє з Telegram API для отримання повідомлень користувачів та відправки відповідей. Серверна частина обробляє бізнес-логіку, взаємодіє з базою даних MySQL для зберігання та отримання інформації. Веб-сайт, розроблений з використанням HTML, CSS та JavaScript, забезпечує інформаційну підтримку проєкту. Всі компоненти

розгорнуті на VPS з Debian 12, захищені через Cloudflare з SSL-сертифікатами. Відкритий код на GitHub забезпечує прозорість розробки та сприяє співпраці з розробницькою спільнотою [11; 13].

Висновки до розділу 3

Третій розділ присвячено практичній реалізації системи WordMate. Описано архітектуру проєкту, функціональні можливості Telegram-бота та веб-сайту, а також взаємодію між компонентами системи.

Реалізовано модулі вивчення слів, тренувань, статистики та інтервальних повторень. Система забезпечує зручний користувацький інтерфейс і адаптивний підхід до навчання.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ

Після завершення розробки системи WordMate було проведено комплексне тестування для перевірки її працездатності, ефективності та користувацького досвіду. Тестування охопило всі аспекти роботи системи – від технічних характеристик до навчальної ефективності.

На першому етапі ми провели технічне тестування продуктивності бота. Було перевірено швидкість відгуку системи на різні типи запитів, стабільність роботи під час пікових навантажень та надійність зберігання даних. Результати показали, що бот коректно обробляє всі типи повідомлень і команд, середній час відгуку складає 200-400 мілісекунд, що є дуже хорошим показником для навчального додатка. Система продемонструвала стабільну роботу навіть при одночасній роботі з великою кількістю користувачів - жодних збоїв або технічних проблем виявлено не було.

Особливу увагу ми приділили тестуванню навчальної ефективності системи. Було проаналізовано, наскільки добре працює механізм інтервальних повторень, який є основою нашого підходу до навчання. Результати показали, що регулярно

використання системи дозволяє користувачам запам'ятовувати приблизно 85-90% вивчених слів. Це дуже високий показник, який підтверджує ефективність обраного методу. Система повторень працює «коректно – слова», які важко запам'ятовуються, з'являються частіше, а ті, які вже добре засвоєні, періодично повторюються для закріплення.

Також ми оцінювали зручність та інтуїтивність інтерфейсу. Бот має просту та логічну структуру меню, що дозволяє користувачам легко орієнтуватися в функціоналі. Всі основні команди доступні через кнопки, що значно спрощує взаємодію. Користувачі можуть легко перемикатися між різними режимами навчання, переглядати свою статистику та прогрес, керувати налаштуваннями. Особливо варто відзначити систему статистики, яка наочно демонструє досягнення користувача та мотивує до подальшого навчання.

Важливим аспектом тестування була перевірка адаптивності системи. Ми переконалися, що бот коректно підлаштовується під індивідуальні особливості кожного користувача. Якщо користувач робить помилки у певних типах завдань або з певними словами, система автоматично збільшує кількість вправ цієї категорії. Також коректно працює механізм підвищення складності – коли користувач стабільно успішно виконує завдання, система пропонує більш складні слова та вправи.

Окремо варто відзначити тестування різних форматів навчальних завдань. Ми перевірили всі типи вправ, доступні в системі: переклад слів, вибір правильного варіанту, написання слів за транскрипцією. Кожен тип завдань працює коректно і виконує свою функцію. Найефективнішими виявилися вправи на написання слів, оскільки вони вимагають найбільшої концентрації та активізують моторну пам'ять.

Також було протестовано роботу бази даних та надійність зберігання інформації. Всі дані користувачів, їх прогрес, статистика та налаштування зберігаються надійно і не втрачаються навіть після перезавантаження системи. Резервне копіювання працює коректно, що гарантує безпеку даних.

Загалом, результати тестування підтвердили, що WordMate є ефективним та надійним інструментом для вивчення англійської лексики. Система демонструє стабільну роботу,

зручний інтерфейс та високу навчальну ефективність. Користувачі отримують зручний та персоналізований інструмент для регулярного поповнення словникового запасу, що робить процес навчання більш ефективним та цікавим [5, с. 210-21].

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі наведено результати тестування та аналіз ефективності системи WordMate. Тестування підтвердило стабільну роботу бота, швидкий час відгуку та надійність зберігання даних.

Навчальна ефективність системи досягає 85–90 % засвоєння лексики завдяки використанню інтервальних повторень та персоналізації. Інтерфейс визнано інтуїтивним і зручним для користувачів.

РОЗДІЛ 5 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ІНТЕРФЕЙСУ СИСТЕМИ

5.1. Інтерфейс Telegram-бота WordMate

Telegram-бот WordMate розроблений з використанням сучасного та інтуїтивного інтерфейсу. Головне меню реалізовано у вигляді зручної панелі з кнопками, що дозволяє користувачам швидко отримувати доступ до всіх основних функцій системи. При першому запуску бота користувач бачить вітальне повідомлення з детальним описом можливостей системи та покроковою інструкцією щодо початку роботи.

Розділ «Вивчати слова» організований за принципом тематичних категорій, що дозволяє користувачам систематизувати процес навчання. Кожне слово представлено у комплексному форматі, який включає: оригінальне англійське слово, точну фонетичну транскрипцію, правильний український переклад та реалістичні приклади використання в контексті. Інтерфейс забезпечує легку навігацію між словами та дозволяє відзначати вже засвоєний матеріал.

Модуль «Тренування» пропонує різноманітні типи інтерактивних вправ, розроблених для ефективного закріплення знань. Серед них: вправи на вибір правильного перекладу з декількох варіантів, завдання на складання слів з окремих букв, а також вправи на переклад цілих речень. Кожен тип завдань супроводжується чіткими інструкціями та контекстними підказками для полегшення навчального процесу.

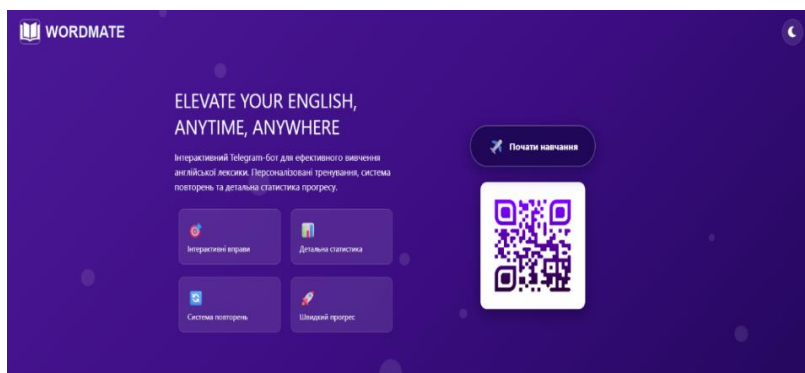
Система статистики реалізована у вигляді наочних графіків та діаграм, що візуалізують прогрес користувача в реальному часі. Цей модуль відображає ключові показники ефективності навчання, включаючи кількість вивчених слів, відсоток успішного виконання вправ та динаміку покращення мовних навичок.

5.2. Веб-сайт проєкту WordMate

Веб-сайт проєкту виконаний у сучасному мінімалістичному дизайні з використанням інтуїтивної навігації та адаптивної верстки (Рис.5.1.).

Рис.5.1.

Дизайн головної сторінки сайту



Головна сторінка представлена яскравим інформаційним банером, який містить стислий опис основних можливостей системи та чіткий привіт до дії у вигляді кнопки для миттєвого переходу до Telegram-бота (Рис.5.2.).

Дизайн шапки веб-сайту



Шапка веб-сайту WordMate демонструє логотип проекту та основні навігаційні елементи (Рис.5.3.).

Логотип додатку



Іконка WordMate символізує навчання та комунікацію, поєднуючи образ книги та мовних бар'єрів

Структура веб-ресурсу включає кілька логічних розділів: «Про проект» з детальним описом концепції, «Можливості» з переліком функцій системи, «Інструкція» з покроковими вказівками щодо використання, та «Контакти» для зворотного зв'язку. Кожен розділ оформлений у єдиній стилістиці з

використанням інформативних іконок та якісних графічних елементів, що підкреслюють функціонал платформи. (Рис.5.4).

Рис.5.4.

QR-код для швидкого переходу до веб-сайту проєкту



Сайт оптимізований для перегляду на різних пристроях - від настільних комп'ютерів до мобільних телефонів, що забезпечує послідовний користувацький досвід незалежно від технічних характеристик пристрою. Навігаційне меню залишається доступним на всіх сторінках, забезпечуючи швидкий доступ до будь-якого розділу.

5.3. Взаємодія користувача з системою

Архітектура взаємодії користувача з системою WordMate побудована на принципах простоти та ефективності. Процес починається з миттєвої реєстрації через Telegram, яка не вимагає додаткового введення даних або створення окремих облікових записів.

Після успішної автентифікації користувач отримує доступ до повного функціоналу системи через оптимізований інтерфейс бота. Основний цикл взаємодії включає три ключові етапи: вибір та вивчення нової лексики, активне закріплення знань через тренування та моніторинг особистого прогресу через систему статистики. Кожен перехід між режимами роботи реалізований плавно та інтуїтивно.

Для підвищення ефективності навчання в системі реалізовано розумні сповіщення, які нагадують про необхідність повторення вивченого матеріалу та інформують про нові навчальні можливості. Користувач має можливість персоналізувати частоту та тип сповіщень відповідно до своїх уподобань.

Загалом, інтерфейс системи WordMate розроблений з акцентом на зручність та результативність, що робить процес вивчення англійської лексики доступним та ефективним для користувачів з будь-яким рівнем підготовки [6, с. 90-93].

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі розглянуто інтерфейс Telegram-бота та веб-сайту WordMate, а також особливості взаємодії користувача з системою. Візуалізація результатів навчання та зручна навігація сприяють підвищенню мотивації користувачів. Система забезпечує простий і ефективний доступ до навчального контенту з будь-якого пристрою.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтвердило ефективність використання Telegram-ботів як інструменту для вивчення іноземної лексики. Розроблена система WordMate продемонструвала високу ефективність завдяки поєднанню сучасних веб-технологій з науково обґрунтованими методами навчання. Інтеграція навчального процесу в повсякденне середовище користувача через месенджер значно підвищує мотивацію та регулярність занять.

Дослідження показало, що персоналізація навчального процесу та використання алгоритмів інтервальних повторень є ключовими факторами успішного запам'ятовування лексики. Система адаптується під індивідуальні особливості кожного користувача, що забезпечує оптимальну ефективність навчання.

У рамках проєкту було успішно розроблено та впроваджено повнофункціональну систему WordMate, що

включає Telegram-бота та інформаційний веб-сайт. Основними досягненнями є:

- створення інтерактивного навчального середовища з різноманітними типами вправ;
- реалізація інтелектуальної системи повторень на основі алгоритму інтервальних повторень;
- розробка зручного та інтуїтивного інтерфейсу користувача;
- забезпечення високої продуктивності та стабільності роботи системи;
- створення адаптивного веб-сайту з сучасним дизайном;
- забезпечення безпеки даних користувачів та конфіденційності.

Система демонструє стабільну роботу з часом відгуку менше 500 мілісекунд та здатність обробляти велику кількість одночасних запитів. Користувачі отримують ефективний інструмент для регулярного поповнення словникового запасу.

Розвиток проєкту WordMate передбачає розширення функціоналу та вдосконалення існуючих можливостей. Основними напрямками розвитку є:

- додавання нових типів вправ та форматів навчання;
- розширення словникової бази та тематичних категорій;
- впровадження системи гейміфікації для підвищення мотивації;
- розробка мобільного додатку для iOS та Android;
- додавання функції спілкування з носіями мови;
- інтеграція з іншими освітніми платформами;
- розробка системи аналізу успішності та рекомендацій;
- додавання функції синхронізації прогресу між різними пристроями.

Також планується розширення мультимовної підтримки та адаптація системи для вивчення інших іноземних мов.

Для успішного впровадження системи WordMate рекомендовано:

- проводити регулярне оновлення контенту та додавання нових слів;

- забезпечити технічну підтримку та оперативне вирішення проблем;
- реалізувати систему зворотного зв'язку для покращення якості послуг;
- розробити програму лояльності для активних користувачів;
- створити спільноту користувачів для обміну досвідом;
- забезпечити масштабованість системи для зростання кількості користувачів;
- реалізувати систему аналітики для моніторингу ефективності навчання.

Впровадження цих рекомендацій дозволить забезпечити тривалий успіх проекту та підвищити його конкурентоспроможність на ринку освітніх технологій. Система WordMate має значний потенціал для подальшого розвитку та може стати основним інструментом для вивчення англійської мови для широкого кола користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ebbinghaus H. Memory: A Contribution to Experimental Psychology. Leipzig : Duncker & Humblot, 1885. URL : <https://archive.org/download/memorycontributi00ebbiuoft/memorycontributi00ebbiuoft.pdf> (дата звернення: 12.10.2025).
2. Nation I. S. P. Learning Vocabulary in Another Language. Cambridge : Cambridge University Press, 2001. 477 p. URL : <https://catdir.loc.gov/catdir/samples/cam031/2001269892.pdf> (дата звернення: 15.10.2025).
3. Schmitt N. Vocabulary in Language Teaching. Cambridge : Cambridge University Press, 2000. 224 p. URL : <http://assets.cambridge.org/052166/0483/sample/0521660483wsn01.pdf> (дата звернення: 18.10.2025).
4. Krashen S. D. Principles and Practice in Second Language Acquisition. Oxford : Pergamon Press, 1982. URL : https://www.sdkrashen.com/content/books/principles_and_practice.pdf (дата звернення: 22.10.2025).

5. Baddeley A. D. Human Memory: Theory and Practice. Hove : Psychology Press, 1997. 368 p. URL : https://archive.org/details/humanmemorytheor0000badd_j2e0 (дата звернення: 25.10.2025).
6. Thornbury S. How to Teach Vocabulary. Harlow : Longman, 2002. 185 p. URL : <https://www.scribd.com/document/340437812/Scott-Thornbury-How-to-Teach-Vocabulary> (дата звернення: 28.10.2025).
7. Ellis R. The Study of Second Language Acquisition. Oxford : Oxford University Press, 1994. 824 p.
8. Laufer B. The lexical plight in second language reading // Second Language Vocabulary Acquisition. Cambridge : Cambridge University Press, 1997. URL : <https://www.cambridge.org/core/books/second-language-vocabulary-acquisition/lexical-plight-in-second-language-reading/3D86E2195155E319C11B1F7C53C60828> (дата звернення: 02.11.2025).
9. Pimsleur P. A Memory Schedule // The Modern Language Journal. 1967. Vol. 51, No. 2. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1540-4781.1967.tb06750.x> (дата звернення: 06.11.2025).
10. Leitner S. So lernt man lernen. Freiburg : Herder, 1972.
11. Telegram Bot API. Official documentation. URL : <https://core.telegram.org/bots/api> (дата звернення: 18.11.2025).
12. Python Software Foundation. Python 3.11 Documentation. URL : <https://docs.python.org/3/> (дата звернення: 22.11.2025).
13. Oracle Corporation. MySQL 8.0 Reference Manual. URL : <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/> (дата звернення: 26.11.2025).
14. SQLAlchemy Documentation 2.0. URL : <https://docs.sqlalchemy.org/en/20/> (дата звернення: 30.11.2025).
15. python-telegram-bot Documentation. URL : <https://python-telegram-bot.org/> (дата звернення: 03.12.2025).
16. WHATWG. HTML Living Standard. URL : <https://html.spec.whatwg.org/> (дата звернення: 06.12.2025).
17. W3C. CSS Snapshot 2023. URL : <https://www.w3.org/TR/css-2023/> (дата звернення: 08.12.2025).

18. ECMA International. ECMAScript® 2023 Language Specification. URL : <https://tc39.es/ecma262/> (дата звернення: 14.12.2025).
19. WordMate GitHub Repository. URL : <https://github.com/pandexofficial/wordmate> (дата звернення: 10.12.2025).
20. Python Package Index (PyPI). URL : <https://pypi.org/> (дата звернення: 11.12.2025).
21. Stack Overflow. URL : <https://stackoverflow.com/> (дата звернення: 12.12.2025).
22. MDN Web Docs. URL : <https://developer.mozilla.org/> (дата звернення: 13.12.2025).
23. W3Schools. URL : <https://www.w3schools.com/> (дата звернення: 13.12.2025).
24. DigitalOcean Documentation. URL : <https://docs.digitalocean.com/> (дата звернення: 14.12.2025).
25. Cloudflare Developers Documentation. URL : <https://developers.cloudflare.com/> (дата звернення: 14.12.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Терміни та скорочення

Інтервальні повторення – метод навчання з повторенням матеріалу через зростаючі проміжки часу

Spaced Repetition System (SRS) – система інтервальних повторень

Telegram Bot API – програмний інтерфейс для створення ботів у Telegram

Backend – серверна частина програми

Frontend – клієнтська частина програми

ORM – об'єктно-реляційне відображення

База даних – структурований набір даних

Сервер – комп'ютерна система, що надає послуги

Клієнт – пристрій або програма, що використовує послуги сервера

Інтерфейс – засіб взаємодії між користувачем і програмою

Алгоритм – набір інструкцій для вирішення задачі

Модуль – окремий компонент програми

Фреймворк – програмна платформа для розробки

Бібліотека – набір готових функцій та класів

Веб-сайт – сукупність веб-сторінок у мережі Інтернет

Лендінг – цільова веб-сторінка для презентації продукту

Адаптивний дизайн – дизайн, що підлаштовується під пристрій

Юзабіліті – зручність використання

Гейміфікація – використання ігрових механік у навчанні

Крива забування – графік, що показує втрату інформації з часом

Персоналізація – адаптація під індивідуальні потреби

Статистика прогресу – дані про успішність навчання

2.13. Бескровна Альона, здобувачка професійної освіти Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж», науково-дослідницька робота «Чеське поселення на Чуднівщині: від еміграції до рееміграції»

Здобувачка професійної освіти Територіального відокремленого спеціалізованого відділення с. Турчинівка Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж» Бескровна Альона Петрівна за науково-дослідницьку роботу «Чеське поселення на Чуднівщині: від еміграції до рееміграції» отримала **диплом учасника Конкурсу.**

Відділення: історія

Секція: історичне краєзнавство

Педагогічна керівниця: Івахно Вікторія Леонідівна, викладачка суспільних дисциплін Територіального відокремленого спеціалізованого відділення с. Турчинівка Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Коростишівський професійний коледж»

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. Історичні передумови еміграції чехів на Волинь і поява перших поселенців на Чуднівщині	5
Висновок до розділу 1	7
РОЗДІЛ 2. Вільшанська чеська община на Чуднівщині: господарська, культурна, освітня, конфесійна діяльність	8
Висновок до розділу 2	11
РОЗДІЛ 3. Участь чехів с. Вільшанка в історичних подіях краю	12
Висновок до розділу 3	15

РОЗДІЛ 4. Реєміграція чехів с. Вільшанка на батьківщину. Наслідки чеської колонізації	16
Висновок до розділу 4	18
Висновки	19
Список використаних джерел	21
Додатки	23

ВСТУП

Актуальність дослідження. Історично так склалося, що людство з різних причин постійно емігрувало і розселялося в різних куточках нашої Землі. Змішувалися нації, раси. Одна культура доповнювала іншу культуру, запозичуючи для себе щось нове. Україна сьогодні багатонаціональна держава. Це наслідок історично обумовленої міграції, що має свої недосліджені місця. Одним з них є поява на Волині, а саме на Чуднівщині, колонії чехів, їх еміграція та реєміграція. Які наслідки цих процесів для України, для чеських общин на Україні? Адже висвітлення цього питання є важливим для історії чеського народу і для історії України. Історичні шляхи наших народів тісно переплетені. Сьогодні, коли Україна воює за свою незалежність, чеський народ підтримує Україну, виступає проти агресії РФ, надає значну допомогу.

Тема роботи: «Чеське поселення на Чуднівщині: від еміграції до реєміграції».

Об'єктом дослідження є еміграція та реєміграція чеського населення на Чуднівщині.

Предметом дослідження є причини еміграції, розселення, соціально-економічне, політичне, культурне становище чехів та причини їх реєміграції.

Метою роботи є висвітлення політики царської Росії, уряду СРСР, України щодо чеських меншин.

У роботі вирішуються дослідницькі завдання:

- з'ясувати появу чеських колоній;
- визначити вплив державних політик на проживання чехів на тернах України;

– висвітлити становище і діяльність чеської общини в економічному, політичному і культурному житті на території Чуднівщини;

– прослідкувати процеси еміграції та реєміграції чехів.

Методи дослідження: пошуковий (для знаходження потрібної інформації); хронологічний (для вивчення періоду еміграції та реєміграції); інтерв'ю (для фіксації достовірної інформації); аналізу і синтезу (вивчення різних сторін життя чехів на території Чуднівщини); синхронний (порівняння життя чехів у різні періоди історії на території Чуднівщини).

Практичне значення: Результати дослідження можуть використовуватися викладачами суспільних дисциплін як на уроках суспільних дисциплін, гурткової роботі, у виховних заходах.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загального висновку, списку використаних джерел, додатків. Список використаних джерел налічує 37 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ІСТОРИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЕМІГРАЦІЇ ЧЕХІВ НА ВОЛИНЬ І ПОЯВА ПЕРШИХ ПОСЕЛЕНЦІВ НА ЧУДНІВЩИНІ

Історія чеських поселень на Житомирщині починається у другій половині XIX століття. Потік чеської еміграції почався з 1867 року, а масове переселення відбувалося з 1874 по 1884 роки [11, с. 50].

Причинами еміграції треба вважати:

– зубожіння чеського населення у результаті австро-пруської війни 1866 року (витоптані лани зернових, спалені села, загроза голоду);

– придушення антиросійського повстання поляків 1863 року (конфіскація земель учасників повстання, заборона продавати землю полякам, цар запросив чехів і німців);

– ціна на волинську землю була на багато разів нижчою ніж у Європі та Чехії (1 га лісу коштував 12-14 рублів, 1 ц жита 1 рубль 20 копійок);

– Росія заявила про «велике сприяння чеській колонізації на Волинь в період з 1867 по 1874 роки [34, с. 36].

Крім того, причиною дешевизни землі було скасування в Росії кріпосного права та панщини, місцеві поміщики не вміли розпорядитися нею, земля не оброблялася, тому вони або продавали, або здавали в оренду колоністам. Царський уряд був зацікавлений у піднесенні розвитку господарства.

У 1870 році російський цар видав указ «О водворении чехов на Волыни», за яким чехи-колоністи звільнялися на 5 років від сплати податків і поземельних зборів, військової повинності, їм гарантувалась свобода віросповідання, їм дозволялося місцеве самоврядування[24; 37, с. 138]. Коли до 1875 року чисельність чехів досягла 2000 сімей(19300 осіб), царський уряд пільгу щодо служби в армії ліквідував, що відразу позначилося на притоці переселенців [12]. А з 1884 року почалось обмеження у покупці землі, царський уряд вимагав переходу у православ'я та прийняття російського підданства [2].

За архівними даними переселення чехів до Росії відбувалося за такою схемою. Першими приїздили окремі першопрохідці для того, щоб освоїтися з новими умовами, придивитися до місцевих звичаїв та порядків і зрештою обрати вигідний маєток для купівлі та поселення [31, с. 52]. «...чимало дослідників додержуються думки, що чехи-колоністи (вихідці з Моравії) оселилися на Вільшанці (Ольшанці) в 1876 році, але насправді, за чеськими джерелами, вони стали оселятися тут в 1871-1872 роках, поступово викуповуючи у відставного майора (Супікова) землю» [36, с. 337].

Село Вільшанка відоме з першої половини XIX ст., як слобода, жителі якої відносились до категорії «вільних поселенців» у 1867-1876 рр. належала відставному майору І.Супікову [23, с.62]. У 1874 році сюди приїхало четверо чехів: Грізбал, Смутний, Гашек, Вайскербер, яких община відрядила для купівлі землі [20]. Вони 20.09.1874 року уклали угоду з спадкоємцями І. Супікова [6], «Прошлого 1874 г. сентября 20 дня мы совместно с матерью нашей Ларисой Яковлевной Супиковой...совершили за продажную сделку на имение доставшейся нам состояния в Житомирском езде половина с. Бабушки и слободами Ольшанкой и Мясковкою после покойного отца нашего И. Е.Супикова на имя чехов русских

подданных И. И. Гризбала, И.В. Смутного и австрийских подданных И. И. Гашека, И. Г. Вайскербера... на сумму 61950 р.с...» [19, с. 3].

Це все рухоме і нерухоме майно, 1050 десятин 466 кв. сажнів землі. Після укладання угоди покупці повідомили своїх вірителів про здійснення угоди, і ті продали все своє майно, і рушили до Росії. Прибувши на нове місце, переселенці були обдурені Грізбалом і компанією, які оформили маєток на своє ім'я, не повідомивши про це інших покупців. Розділивши землю на ділянки, відповідно до внесених сум, колоністи почали обзаводитися господарством. Лише у 1877 році чехи звернулися до Грізбала та інших повірених з проханням видати їм купчі на земельні ділянки. На що ті заявили, що не можуть дати купчої, так як вони австрійські піддані і треба прийняти руське підданство, але купчих так і не отримали і змушені були звернутися до суду. Лише 1879 року судові власті наклали заборону на нерухоме майно відповідачів. Позов зрештою завершився мирною угодою [30, с. 54].

Поселення чехів на Вільшанці було першим і найбільшим на Житомирщині, єдиним на Чуднівщині [26, с. 6], (додаток Б). У 1875 році у родині Яна та Марії Вацеків народилась донька Юзефа – перша дитина в чеській колонії. Першим старостою чеської общини був Ян Віл.

Висновки до розділу 1

Історія чеського поселення на Чуднівщині – штрих у літописі чеської національної меншини України, частина історії Чехії, Чуднівщини та України. Причинами еміграції чехів на Волинь, зокрема Житомирщину, Чуднівщину:

1. У другій половині ХІХ ст. внаслідок австро-пруської війни чеське населення, переважно селяни, зубожіли, була загроза голоду, безробіттю.

2. Пронімецька політика влади: національне гноблення через гоніння на чеську мову та культуру. Серед чехів існували загальнослов'янські та проросійські симпатії.

3. У Росії після придушення антиросійського польського повстання 1863 року польські землевласники втратили свої землі. Місцеві поміщики після скасування

кріпосного права не могли утримувати власне господарство і змушені були продавати. Ціна на землю була у багато разів нижчою ніж у Європі та Чехії.

4. Олександр II після розмови з чеськими лідерами Палацьким та Рігером заявив про «велике сприяння чеській колонізації на Волинь у період з 1867 по 1874 роки з метою навчання місцевого населення культурі землеробства».

5. Царський уряд підтримував в особі чехів приплив протестантів, як протывагу католикам-полякам.

На Чуднівщині була заснована найбільша чеська колонія в с. Вільшанка.

РОЗДІЛ 2

ВІЛЬШАНСЬКА ЧЕСЬКА ОБЩИНА: ГОСПОДАРСЬКА, ОСВІТНЯ, КУЛЬТУРНА, КОНФЕСІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ

Причини поселення чехів саме в с. Вільшанка: родючі ґрунти; шляхи сполучення Житомир – Ольшанка, залізнична колія Київ – Брест, поштовий трактат на Старокостянтинів та Проскурів; близькість торгових і ремісничих містечок Чуднів і Любар [31, с. 53].

Перші 72 родини переселенців на Вільшанку, що прибули зі Східної Чехії, на викуплених землях почали облаштовувати свої оселі. Вже у 1875 році вони збудували 15 будинків з господарськими спорудами, на що витратили 7500 рублів. На землях, які вони купили, з будівель був лише панський будинок, три хати, п'ять сараїв, конюшня, млин, корчма [7, с. 4]. Спочатку будинки будували із саману (житло з невипаленої цегли, що складається із суміші глини, піску та подрібненої соломи), а коли збудували цегельний завод, будували з цегли, покривали бляхою, черепицею. Підлога була дерев'яною. Майже всі вулиці були вимощені камінням [29]. Завдяки працелюбству чехи створили поселення з культурним веденням господарства.

Вирощували жито, овес, пшеницю, ячмінь, гречку, тютюн, цукровий буряк, хміль, займалися травосіянням, садівництвом, пивоварінням. Саме чехи-колоністи привезли новий метод обробітку землі із застосуванням сівозмін, використання органічних та неорганічних добрив, елітних сортів

сільськогосподарських культур. Коли місцеві жителі побачили, що чехи збирають гарні врожаї, почали й собі переймати їх методи. В господарстві чехи використовували господарські машини: жатки, сівалки, молотарки.

Мали прибуток і від тваринництва. Серед приїжджих чехів були ремісники: ковалі, столяри, кравці, шевці, бондарі, бляхарі, теслярі, меблярі, каретники.

У 1887 році в селі налічувалося 711 жителів, у 1899 р. – 654 жителя, у 1909 р. – 872, у 1911 р. – 686, у 1926 р. – 961, у 1941р. – 1179, у 2001 р. – 2007 [23, с. 63].

У колонії чехом-переселенцем В'ячеславом Войцеховичем Кліхом у 1883 році збудовано пивоварний завод, викопано ставок (додаток А). У нього був свій молокозавод, browарня, м'ясний цех, вирощували зернові, хміль, цукровий буряк [33, с. 157]. На заводі була бібліотека. Завод припинив своє існування у 90-х рр. ХХ ст.

Чехи-колоністи привезли з собою книги, посуд, національний одяг, побутове приладдя, свої звичаї, обряди. Одяг складався: у жінок традиційно ситцева кофта з буфами на рукавах і фальдами у талії, довга спідниця зі складками і фартух; у чоловіків простий полотняний одяг, чоботи. Традиційна кухня: їли овочі, картоплю, капусту, бобові, популярні борошняні страви «кнедлики», «вомачку», юшка без картоплі, каша – це розтерта маса(картопляна, горохова...), курятина, «вешпові» – битки з свинини, овочеві салати, пили пиво, настоянки [3].

Майже всі чехи були письменними. По приїзду на Вільшанку вони відкрили приватну школу а у 1889 році на її базі відкрито однокласне сільське училище[23, с. 63]. «Ольшанское однокласное училище Чудновской волости, почтовая станция Чуднов, преобразованое из частных чешских школ... на содержание учеников – 780 рублей от казны и от общины – 360 рублей. Учащихся 41 мальчик и 40 девочек. Учителя: А. Шульга –400 руб., Н. Ковальчук – 360 руб., священник П.Иванов–100 руб. При училищи 0,5 десятин земли под садом и 700 кв.саженъ под огород» [27, с. 39].

У 1924-1925 рр. – це була 4-класна чеська школа, де викладав один вчитель (додаток Ж). У 1933 році була створена перша чеська семирічка, де викладали молоді випускники кийвської школи чеського відділення [33, с. 136]. У 1937 році

школа реорганізована у загальну семирічку з російською мовою навчання. Однак закриття і русифікація навчальних закладів для дітей чеського походження зводили нанівець існування чеської національної культури, усували відмінності між російською і чеською культурами [4, с. 127]. Не зважаючи ні на що чехи через сімейне виховання, бережливе ставлення до рідної мови, зберігали свою самобутність. Завжди відзначали національні свята.

У своєму селі відкрили клуб, організували духовий оркестр, була своя «хата-читальня», де можна було почитати журнали, чеську літературу. Чехи приймали участь у громадських заходах, святах, фестивалях. Вони постійно підтримували і підтримують зв'язок з Чехією: обмін досвідом, обмін літературою, навчанням дітей у Чехії, діти майже щороку їздили на екскурсії та відпочинок до Чехії. Співпраця і взаємодія у господарській діяльності, культурному житті та побуті внесли зміни у традиції, мову та спосіб життя чеської громади. Та не згасає почуття патріотизму до своєї національної батьківщини. Нащадки чехів створили в селі громадське національне товариство «Вільшанка чеська», організували музей (Додаток II).

Переселенці на Вільшанці належали до різних релігійних конфесій. У переважній більшості це були католики і протестанти (послідовники духовного вчення Яна Гуса (1371-1415) – національного героя чехів та ідеолога їхньої Реформації. Ставка російської влади на те, що чехи-гусити витіснять «уніатів», не виправдалася. А ось політика царського режиму призвела до того, що 75 % чехів прийняли православ'я [34, с. 38]. Частина чехів вимушено переходила у православ'я, частина, формально залишаючись католиками, відвідувала православну церкву. За переказами священник Чуднівської парафії в середині жовтня був присутній на відзначенні «Спалення Гуса», де учасники розкладали багаття і підтримували вогонь кілька годин. Біля вогнища люди розважалися, дехто молився. Чехи, члени Вільшанської релігійної общини, вважали себе спадкоємцями гуситів.

Висновки до розділу 2

Чехи-колоністи принесли на Чуднівщину вищу землеробську культуру і на новому місці господарювали за давніми чеськими звичаями. Вони запровадили внесення органічних добрив, дотримувалися багатопільної сівозміни. Сільськогосподарські знання відновлювали читаючи різні сільськогосподарські журнали («Чеський Рольник»). Використовували сільськогосподарську техніку, яку закупляли за кордоном: трактори, сівалки тощо. Це давало можливість отримувати високі врожаї. Чеська працьовитість служила гарним прикладом для місцевого населення. Чехи збудували цегельний завод.

«На Східній Волині широко відомим був завод у Вільшанці, де вирощували зернові, хміль та цукрові буряки. В ньому був свій молокозавод, броварня, м'ясний цех та з 1933 року-електростанція» [33, с. 157].

90 % населення с. Вільшанка становили чехи [28]. Це була чеська община з власною культурою, освітою, звичаями, традиціями, релігією. Чехи, незважаючи на всілякі обмеження, зберігали свою культуру, побут, мову, традиції. Відкрили чеську школу, дотримувались національних і релігійних свят. Але жорстка політика царського уряду, лояльність чехів до місцевої влади і місцевого населення, позначились на їх життєвому укладі. Співробітництво і взаємодія з місцевим населенням стало підґрунтям до змін у житті чехів. Чехи «...підтримували з місцевим населенням дружні відносини. Чехи одружувалися на українських жінках, на запрошення відвідували українські сім'ї на свята, приймали участь у хрестинах та похоронах. Чеські музики були частими гостями на українських весіллях» [33, с. 67]. Так поступово відбувалося нівелювання чехів в усіх сферах життєдіяльності.

РОЗДІЛ 3 УЧАСТЬ ВІЛЬШАНСЬКИХ ЧЕХІВ В ІСТОРИЧНИХ ПОДІЯХ

У дореволюційний час село належало до Чуднівської волості Житомирського повіту Волинської губернії [5]. Протягом

15-20 років з початку переселення чехи перенесли багато труднощів, поки при звичаїлися до нових умов, нових відносин, ставлення до себе. Щоб придбати землю, чехи писали прохання Волинському губернатору про прийняття їх у підданство [21]. Так, щоб приписатися до с. Вільшанка В. Й. Вайскеберов у 1901 році змушений був підтвердити російське підданство [14]. Станом на 21 грудня 1904 року у с. Ольшанка проживало 918 чехів: 534 чоловіків і 384 жінок. Мали 510 десятин землі. Чехи живуть зажиточно та економічно краще ніж селяни. Конкуренції при покупці землі немає [18].

Перша світова війна стала трагедією для чехів, як і для українців, адже частина їх була російськими підданими, а інша австро-угорськими. На тернах України була сформована Чеська Дружина, яка воювала на боці російської армії. У часи Української революції на боці УНР воювала Чеська дивізія, яка 19 січня 1918 року захищала Житомир. Можемо припустити, що на війну були мобілізовані і вільшанські чехи.

З приходом більшовиків до влади в селі 31.08.1920 року створено КНС (комітет незаможних селян) у складі: Пешерко Йосиф, Вайскербер В'ячеслав, Смутний Едуард – голова [15, с. 11]. Організовано сільревком у складі голови-Й. Суханека і секретаря Й. Гашека. У 1921 році створена сільськогосподарська артіль імені Рози Люксембург. До її складу увійшло 8 сімейств: Петерко Карп, Андрійчук Терентій, Буреш Йосиф, Белогубек Олександр, Петерко Йосиф, Кlich Божена, Дивецький Вацлав, Полачек Іван. 18 дес. Піхотної землі, 3 дес. садивною, $11\frac{7}{8}$ дес. сінокоса. Майно: коней – 2, корів – 8, возів – 4, плугів – 2, борін(дерев'яні) – 3, сіялки – 1, косилка – 1, культиватор – 1, віялка – 1, кінна молотарка – 1, майстерня – 1, соломорізка – 1, корморізка – 1 [17, с. 4].

У 1923 році створена сільська рада, яка 23.11.1925 року реорганізована в чеську національну сільську раду [1, с. 62]. У 1923 році на українських землях почалася українізація, а для інших народів – коренізація – політика спрямована на розвиток мов, культури, звичаїв і традицій інших народів, які проживали на території СРСР [25, с. 11].

Запровадження НЕП, з метою припинити антирадянські виступи, здобути лояльність до влади, сприяли створенню чехами села Вільшанка «хати-читальні», клубу, 4-х класної школи,

поширення чеської літератури. Пивзавод був зданий в оренду. Чеські селяни після розрахунків з державою вільно продавали надлишки врожаю за ринковими цінами [32]. Все це сприяло розвитку чеської громади.

Починаючи з 1928 року згортається політика НЕП, коренізації. У зв'язку з колективізацією, розкуркуленням, збільшенням податків на заможну частину населення серед чехів поширюється невдоволення політикою радянської влади [22]. Органи ДПУ УСРР створюють штучні контрреволюційні організації. Так у 1930 році була сфабрикована справа про шпигунську чехословацьку організацію. За обвинуваченням у шпигунстві був заарештований Рихлік Євген Антонович, уродженець с. Вільшанка, чех, громадянин УСРР, професор-мовознавець, науковий співробітник ВУАН, професор Ніжинського інституту народної освіти, займався збиранням етнографічних матеріалів про чеську громаду в Україні. За постановою Трійки при колегії ДПУ УСРР від 15.06.1931 року на підставі ст.54-6, II підлягав ув'язненню до концтаборів на 10 років. Покарання відбував у 3-у відділенні Сиблагу. Помер у 1937 році [22, с. 17]. Період великого терору 1936-1938 рр. завдав найбільшої шкоди чеській общині. Відповідно до місця народження було розстріляно 12 уроженців з с. Вільшанка [2].

У газеті «Червоне полісся» писалося: «Культурно і заможно живуть колгоспники чеського колгоспу ім. Рози Люксембург с.Вільшанка Чуднівського району. На трудовень в цьому році тут припало по 3,5 кг хліба і по 4 карбованці грішми... В колгоспі є своя електростанція, яка освітлює будинки колгоспу і майже все село. Устатковано свій радіовузол вартістю 10 тис. крб. За постановою загальних зборів колгоспників правління колгоспу купує кінопересувку... Квітне національною формою, соціалістичним змістом культура. В селі є чеська школа, в якій діти навчаються рідною мовою. Колгоспники читають газети на рідній мові. В згуртованій інтернаціональній сім'ї з кожним роком зміцнюється, росте чеський колгосп ім.. Рози Люксембург, дедалі краще, заможніше та культурніше стає життя колгоспників [10, с. 3].

Важко зрозуміти протиріччя історії. За період репресій і терору була ліквідована Вільшанська чеська сільрада, у 1938 році

чеська семирічка реорганізована в українську з російською мовою викладання [24].

Новим випробуванням для жителів Вільшанки стала Друга світова війна. Чехи поряд з українцями встали проти фашистських загарбників. З них на фронтах війни загинуло 40 чоловік. Вільшанські чехи воювали у складі 1-го Чехословацького армійського корпусу під командуванням Людвіка Свободи і в Червоній армії, зокрема В. Долежал, брати Стейскалі (додаток 3). Багато з них нагороджені орденами і медалями за героїзм і мужність [25]. Після звільнення села жителі приступили до відновлення господарства. Головою колгоспу у 1944-1946 рр. був Й.Й Зих. Вже у 1946 році баланс колгоспу становив 258553 карбованців (додаток Е). Де взялася техніка у чеському колгоспі у 1945 році? Ось що розповіла жителька села з чеським корінням Гайдаманчук Людмила Леонтіївна: «Колгоспники перед загарбанням техніку розібрали і сховали під воду, в землю, запчастини по хатах, щоб не дісталася гітлерівцям».

У 1947 році згідно з домовленістю між урядами СРСР та ЧСР більша частина чехів виїхала на свою історичну батьківщину.

Висновки до розділу 3

За 73-річну історію свого проживання на тернах Вільшанки чеські колоністи не тільки адаптувалися до даної місцевості, а й розвинули її потенціал. Завдяки витримці, працелюбству, згуртованості, лояльності створили висококультурне господарство, розбудували село, були у зародку промисловості не тільки Чуднівщини, області, а й всього Волинського краю. Жителі Вільшанки не лякались труднощів і завжди були у вирії історичних подій з часів індустріалізації до повалення Російської імперії. Роки Першої та Другої світових війн ще більше зблизили чехів і українців не тільки в господарській, культурній діяльності, а й на полі бою. Попри всі негаразди з органами влади, утиски, гоніння, репресії, вони були громадянами цих держав і зносили тяжби як і інші громадяни незалежно від національної приналежності.

РОЗДІЛ 4

РЕЕМИГРАЦІЯ ВІЛЬШАНСЬКИХ ЧЕХІВ НА БАТЬКІВЩИНУ. НАСЛІДКИ ЧЕСЬКОЇ КОЛОНІЗАЦІЇ

Реєміграція – це повернення емігрантів у країну свого початкового проживання, на батьківщину.

Після Першої світової війни у 1919 році Австро-Угорська імперія розпалася, утворилися нові держави. Чеські та Словацькі землі об'єдналися у Чехословацьку республіку. Деякі чехи хотіли переселитися на свою батьківщину. Вони у травні 1919 року звернулися з таким проханням до президента Т. Г. Масарика, але це питання так і не було вирішене, через недоцільність і неможливість. Переважна більшість чехів залишалася жити на своїх землях Російської імперії.

Перше офіційне прохання про реєміграцію подали волинські воїни 1-ї Чехословацької самостійної бригади в СРСР у 1943 році президенту Е. Бенешу. Переговори про реєміграцію між урядами ЧСР та СРСР почалися восени 1945 року і був підписаний договір 10 липня 1946 року. У 1947 році з с. Вільшанка за особистими мотивами, через агітацію, через релігійні, побутові та ментальні причини переважна більшість чехів виїхала на свою батьківщину до ЧСР, покинувши житло, майно. Залишилися ті, що пустили глибоке коріння, свій достаток, сімейні обов'язки, були лояльні до місцевої влади. Дехто з реємігрантів, через тугу за рідним краєм, повернувся назад. Друга хвиля реєміграції почалася після аварії на Чорнобильській АС, але вона не стосувалася вільшанських чехів.

Сьогодні в селі залишилася одна чеська сім'я та більше ста чеських нащадків (додаток С). Чехи від еміграції до реєміграції розбудували с. Вільшанка, яке стало транспортним вузлом, промисловим центром Чуднівщини. Завдяки їх навичкам і вмінням сільське господарство стало інтенсивним і багатогалузевим. У 2018 році на місцевому ліцеї відкрито меморіальну дошку на честь Є. Рихліка, який деякий час викладав у місцевій школі (додаток Ф). На відкритті був присутній пресекретар посольства Чехії в Україні Давід Машек [8, с. 4].

У 2019 році в центрі села встановлено пам'ятний знак на честь заснування чеської колонії (додаток Т, додаток У). Завдяки ентузіазму і натхненню сестер Гайдаманчук (Кононович)

Людмилі Леонтіївні і Войтович Тетяні Леонтіївні, Розмаїти Ніні Віталіївні було створено громадську організацію «Вільшанка чеська», створено національний краєзнавчий музей (додатки И-Р). Нащадки чехів підтримують зв'язки з переселенцями з с. Вільшанка в Чехії. Відвідують один одного. Так на відзначення 145-річчя заснування Вільшанської чеської колонії з Чехії приїхали: Йозеф Буреш (народився 1940 р.) з донькою Драгославою Яндіковою, нащадки вільшанських чехів: Я. Легнерова, П. Пецкова, Л. Калчікова, К. Седлака, М. Сламу, М. Алаксіна, пані Марцела. Їх гостинно зустрічали місцеві чехи та жителі чеського походження [9, с. 4]. Асимілювавшись з українцями, нащадки чехів зберігають свою мову, культуру, передають їх молодому поколінню, хоч стали чеськими українцями. Вони беруть активну участь у заходах чеської культури в регіоні, а також у культурному житті місцевої громади. Постійно співпрацюють з чеським обласним товариством [35, с. 460]. Проводять чеські свята, де демонструють чеську кухню, чеські пісні і танці.

Висновки до розділу 4

Прагнення волинських чехів до рееміграції виникли ще у 1919 році, коли Австро-Угорська імперія розпалася і утворилися самостійні держави, однією з яких була Чехословацька республіка. Чехи, після багатьох змін державних утворень та режимів, прагнули повернутися на свою історичну батьківщину. Але перша рееміграція стала можливою після підписання договору між СРСР та ЧСР у січні 1947 року. Пам'ятаючи націоналізацію, колективізацію, атеїзм, репресії і депортацію, більшість чехів с. Вільшанка виїхали до ЧСР, хоч деякі повернулися, вважаючи с. Вільшанку своєю новою батьківщиною. Частина чехів залишилася біля свого господарства, при цьому дбаючи про збереження своєї мови, звичаїв і традицій, підтримуючи зв'язки з вільшанськими реемігрантами.

ВИСНОВКИ

У результаті даного дослідження вдалось простежити історичний шлях чеської колонії с. Вільшанка, що на Чуднівщині, від еміграції до рееміграції. Це дає змогу зробити деякі висновки:

1. З часу поселення чехи сприяли підняттю рівня сільського господарства і промисловості краю.

2. У більшості випадків лояльного ставлення до політики державних утворень, в яких їм приходилося жити, чехи продовжували господарську діяльність більш ефективно ніж місцеві жителі, що свідчить про їх працелюбство і освіченість.

3. Незважаючи на утиски царської Росії, колективізацію і репресії радянської влади, чехи-колоністи зберігали свою культуру, мову, традиції і побут, дбали про освіту чеської молоді.

4. Взаємодія в господарській діяльності, культурному житті з місцевими жителями внесло зміни у спосіб життя чехів. Чехи мали вплив на місцевих жителів, а уклад життя українців впливав на життя чехів. Чехи поряд з українцями воювали на фронтах Першої і Другої світових війн, пережили колективізацію, репресії, голод, співпрацювали у громадському і політичному житті села, створювали спільні родини, спільно відзначали свята, діти навчалися в одній школі. Мирне співіснування чехів і українців обумовлено спорідненістю слов'янських народів. У чехів і українців багато спільного в історичному минулому і давніх зв'язках. Під час офіційного візиту в Україну в червні 1997 року президент Чеської Республіки Вацлав Гавел підкреслив: «Ще я хотів нагадати, що Чеську Республіку та Україну дуже багато пов'язує в історії. Це традиційні зв'язки, які нас єднають і які ми не повинні забувати...» [30, с. 65].

Село Вільшанка батьківщина професора Є. Рихліка, чеської перекладачки В. Абданк-Абжолтовської (додаток Ф), чеське коріння по діду має український письменник Василь Земляк з вільшанських Вациків.

Чеські нащадки продовжують писати подальшу історію. Сьогодні, в період агресії РФ, чехи одними з перших виступили на підтримку України, надають всебічну допомогу. Більше 200 чехів воюють пліч-о-пліч з українськими воїнами. Нашадки чехів-жителі с. Вільшанка виборюють незалежність України:

Сторожук Едуард – учасник АТО, комісований;

Стеценко Андрій – учасник АТО, помер;
Скриванек Богдан – загинув;
Білошицький Сергій – пропав безвісті;
Скаржепа Сергій і Кальчук Дмитро – на фронті
(додаток Р).

Історичне «пізнання взаємовигідне – воно будує мости між минулим і сучасним, сприяє усебічним контактам та відкриває нові перспективи співпраці між чеським і українським народами, Чеською Республікою і Україною» (Іржі Гофман) [12].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адміністративно-територіальний устрій Житомирщини 1795-2006 рр. : довідник. Житомир : Волинь, 2007. 62 с.
2. Борак М. Переслідування чеської меншини в Україні в часи Великого терору. URL : <https://www.mecislavborak.cz/dokument/publikace/cborniky/89-Pereskidubannja ceskoji mtnsyny v Ukrajini v casi Velykoho teroru.pdf> (дата звернення: 21.10.2025).
3. Боряк О. О. Україна, держава: чехи. Київ : Наук. думка, 2018. – URL : <http://www.history.org.ua/?Termin=1.14.17> (дата звернення: 09.09.2025).
4. Велика Волинь: історія освіти і культури. Житомир : ЖДУ ім. Івана Франка, 2011. 127 с.
5. Вільшанка – село у Чуднівському районі Житомирської області URL : <https://vilshanka-rada.gov.ua/istoriya-kraju-14-38-07-14-05-2019/> (дата звернення: 15.10.2025).
6. Вільшанка (Житомирський район). URL : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Вільшанка_\(Житомирський_район\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вільшанка_(Житомирський_район)) (дата звернення: 18.10.2025).
7. Розмаїта Н. Як тебе не любити, моє рідне село! *Життя Чуднівщини*. 22 жовт. 2009. С. 5.
8. Розмаїта Н. Меморіальна дошка на честь славного земляка. *Життя Чуднівщини*. 30 листоп. 2018. С. 4.
9. Розмаїта Н. Жменьку вільшанської землі повезли в Чехію. *Життя Чуднівщини*. 11 жовт. 2019. С. 4.
10. Кірін В. Село Вільшанка Чуднівського району. *Червоне Полісся*. 1937. № 40 (24 груд.). С. 3.

11. Гордієнко Г. Чехи на Волині. *Літопис Волині*. 1996. С. 50-57. URL : https://chtyvo.org.ua/Chekhy_na_Volyni.pdf (дата звернення: 20.10.2025).
12. Гофман Й. Чехи на Волині: основні відомості. Прага, 1998. 76 с.
13. Державний архів Житомирської області (ДАЖО). - Ф. 19, оп. 4, спр. 745, арк. 39, 53.
14. ДАЖО. – Ф. 118, оп. 4, спр. 1957.
15. ДАЖО. – Ф. 70, оп. 1, спр. 274, арк. 11.
16. ДАЖО. – Р-266, оп. 1, спр. 55, арк. 74–75.
17. ДАЖО. – Р-1111, оп. 1, спр. 1319, арк. 4–5.
18. ДАЖО. – Ф. 128, оп. 1, спр. 4843, арк. 25.
19. ДАЖО. – Ф. 19, оп. 3, спр. 78, арк. 3–5.
20. ДАЖО. – Ф. 19, оп. 4, спр. 745, арк. 1.
21. ДАЖО. – Ф. 67, оп. 1, спр. 307.
22. Копійченко Л. А. Репресії серед чеського населення Житомирщини. URL : https://chehyvolyni.com.ua/upload/files/Repression_among_the_czech_population_of_Zytomyr_region.pdf (дата звернення: 25.10.2025).
23. Костриця М. Ю., Кондратюк Р. Ю. Історико-географічний словник Житомирщини. Т. 1. Житомир, 2002. – с. 62-63.
24. Лутай М. Є. До історії чеських поселень на Волині. Житомир : ЖДУ ім. Івана Франка, 1995. URL : <https://eprints.zu.edu.ua> (дата звернення: 22.10.2025).
25. Лутай М. Є. Чехи на Житомирщині: історія і сьогодення. Житомир, 2008. С. 4–11.
26. Памятная книжка Волынской губернии на 1913 г. Житомир, 1913. С. 6
27. Памятная книжка дирекции народных училищ Волынской губернии на 1912 г. Житомир, 1912. С. 139.
28. Село Вільшанка на Чуднівщині відсвяткувало 145-річчя. URL : <https://zt-news.org.ua/index.php?newsid=9637> (дата звернення: 09.10.2025).
29. Село Вільшанка. *Житомирські новини*. URL : <http://www.novini-zt.info/dealers/vilshanka16> (дата звернення: 12.10.2025).

30. Снідевич Е. В. До історії чеської діаспори на Житомирщині. *Чехи на Волині: історія і сучасність*. Велика Волинь. Т. 24. Житомир-Малин : Волинь, 2001. С. 64-65.

31. Чехи на Волині : історія і сучасність. Велика Волинь. Т. 24. Житомир-Малин : Волинь, 2001. С. 52–54.

32. Чижевська Л. Чеське коріння, українські успіхи. Спогади. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=BNVIGLWjGrA> (дата звернення: 01.12.2025).

33. Чуян І. Л. Чеська етнічна меншина України: особливості повсякденного життя, ментальність та соціокультурні трансформації (20–30-і рр. ХХ ст.) URL : https://old.npu.edu.ua/images/file/vidil_aspirant/dicer/D26.053.02/Chuyan.pdf (дата звернення: 10.11.2025).

34. Історія чехів в Україні. Київ, 2013. 460 с.

35. Сірик А. С. Чуднів на самій бистрині історії : трактат. Ч. 2. Житомир : М. Косенко, 2015. С. 337-338.

36. Теорія і практика чеських рухів на Волині: духовний феномен : зб. наук. пр. Житомир : ЖДУ ім. Івана Франка, 2017. С. 138-141. URL : <https://eprints.zu.edu.ua/26145/1> (дата звернення: 20.10.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Вільшанський пивзавод 1883 р



OLŠANKA - osídlení vesnice podle ulic

Čudnovská ulice

Levá strana

1. Peterka
2. Maison
3. Toločko
4. Prokeš
5. Poláček
6. Tomášek
7. Valeš / Václav/
8. Gloz
9. Voříšek
10. Kamenský
11. Volná
12. Válek
13. Kozlovský
14. Žďárský

Pravá strana

1. Židí
2. Pločinský
3. Pločinský
4. Mauler
5. Suchánek
6. Červeň
7. Čermák
8. Peterka
9. Macháček
10. Volný
11. Sova a Gloz
12. Velich /Rudolf/

Rasovo křídlo

Levá strana

1. Procházka
2. Kos
3. Divecký

Pravá strana

1. Juskevič
2. Velich
3. Hončík
4. Hončík
5. Hončík

Розташування вулиць села Вільшанка

Š a m r o v

Levá strana	Pravá strana
1. Glöz /Vláďa/	1. Vajskébr
2. Skřivánek	2. Bureš
3. Perkevič	3. Diviš, Bureš
4. Vajskébr	4. jesle
5. Čermák	5. Štolpová – Černěno
6. Černohous	6. Hamplík
7. Hašek	7. Vajskébr
8. Volný	8. Velich
9. Chalupa	9. Volný
10. Andrejčuk	10. Šulák
11. Vajskébr	11. Hřebík
12. Čermák	12. Kasmíl
13. Skřivánek	13. Vajskébr
14. Hroch /starosta/	14. Chalupa
15. Hampl	15. Košátko
16. Hampl	16. Kulhánek
17. Skřivánek	17. Hampl
18. Skřivánek /zůstali/	18. Koňská
19. Kulhánek	19. Skřivánek
20. Kulhánek	20. Mamula
21. Košátko /Bureš/	21. Kosenko
22. Košátko	22. Vejr /Věra Pánková/
	23. Hrabovský

Z a r y b n í k e m

1. Valášek	8. Doležal
2. Kratočvíl /babička/	9. Bouz
3. Bělohoubek	10. Hulínský
4. Tytl	11. Hladík
5. Kratočvíl	12. Doležal st.
6. Vajskébr	13. Doležal ml.
7. Svoboda	

Malá Strana

Levá strana

1. Procházka a Válek
2. Žurbenko
3. Vajskébr
4. Hašek
5. Středa – Tonkonohý
6. Velich
7. Valeš Ludvík
8. Velich Václav
9. Skořepa
10. Navrátil
11. Rokycký
12. Doležal
13. Míl
14. Novotný
15. Hroch /Božena/
16. Špaček – Šrámková
17. Suchánek
18. Čížek
19. Dragoun
20. Smutný
21. Suchánek
22. Mílová Věra

Zvoneček

1. Šusta
2. Smutný, Bulij
3. Radomský
4. Bydžovský

Pravá strana

1. Juskevič
2. Velich /mašínist
Velich Stan. /taxi/
3. Andrejčuk
4. Šrdinková
5. Peterka
6. Poláček
7. Poláček
8. Velich /Mullero
9. Hroch
10. Petrбок
11. Navrátil
12. Novotná
13. Roušal
14. Mauler
15. Ambar /tancov

Додаток Ж

Учні чеської школи



Додаток К

Речі хатнього вжитку



Додаток Л
Гайдаманчук Людмила Леонтіївна проводить
екскурсію в музеї



Кольорове гаптування



Національна вишивка



Національне вбрання



Сучасне національне вбрання



Виставка книг на чеській мові



Додаток Р
Чеські сліди на українській землі: від історії села до
подвигів сучасних захисників



Додаток Т
Йозеф Буреш з жителями та гостями з Чехії біля
пам'ятного знака 11 жовтня 2019 року.



2.14. Нагорна Єлізавета, здобувачка професійної освіти Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж», науково-дослідницька робота «Особливості впливу харчових добавок на здоров'я людини»

Здобувачка професійного освіти Територіального відокремленого спеціалізованого відділення м. Радомишль Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж» Нагорна Єлізавета Григорівна за науково-дослідницьку роботу «Особливості впливу харчових добавок на здоров'я людини» отримала **диплом учасника Конкурсу**.

Відділення: хімія та біологія

Секція: біологія людини

Педагогічна керівниця: Кондратенко Катерина Валеріївна, викладачка харчових технологій Закладу професійної (професійно-технічної) освіти «Поліський індустріальний професійний коледж»

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ХАРЧОВІ ДОБАВКИ: КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ	5
1.1. Поняття та загальна характеристика харчових добавок	5
1.2. Класифікація харчових добавок	6
1.3. Призначення харчових добавок	8
Висновки до розділу 1	9
РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ХАРЧОВИХ ДОБАВОК НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ	11
2.1. Негативний вплив харчових добавок на здоров'я людини	11
2.2. Заборонені харчові добавки	12

Висновки до розділу 2	13
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ	
ХАРЧУВАННЯ НА ВМІСТ ХАРЧОВИХ ДОБАВОК	15
3.1. Характеристика вибірки дослідження зв'язку між обізнаністю підлітків та вживанням ними продуктів харчування із вмістом харчових добавок	15
3.2. Збір і аналіз якісного складу об'єктів дослідження	17
3.3. Результати дослідження обізнаності здобувачів освіти щодо харчових добавок та їх впливу на здоров'я	18
Висновки до розділу 3	20
ВИСНОВКИ	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	23
ДОДАТКИ	26

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність досліджуваної теми зумовлена тим, що проблема правильного та збалансованого харчування сьогодні є однією з ключових для збереження здоров'я людини. У сучасному світі дедалі більше людей, зокрема дітей і підлітків, надають перевагу фаст-фуду та продуктам із високим вмістом харчових добавок. Гамбургери, жувальні гумки, чіпси, сухарики, газовані напої та інші перероблені продукти стали невід'ємною частиною повсякденного раціону.

Попри привабливий смак, яскравий вигляд та доступність, такі продукти можуть містити приховані ризики для організму. Це зумовлює необхідність ґрунтовного дослідження:

- які інгредієнти входять до складу цих продуктів;
- які харчові добавки в них присутні;
- який вплив ці речовини чинять на здоров'я людини, особливо в юному віці.

Відповіді на ці питання дають змогу сформуванню усвідомлене ставлення до харчування, запобігти розвитку хронічних захворювань і сприяти збереженню здоров'я в довгостроковій перспективі.

Людина народжується здоровою, а хвороби часто приходять до неї разом із їжею. Це підкреслює виняткову роль харчування у формуванні тіла та поведінки здобувача освіти. Рацион та культура харчування істотно впливають на ріст, фізичний стан, а також на нервово-психічний розвиток людини, особливо в дитячому та підлітковому віці.

Мета роботи: проаналізувати харчові добавки, що використовуються у харчовій промисловості, зокрема у виробництві газованих напоїв, сухариків, чіпсів та вермішелі швидкого приготування, а також визначити їхній вплив на організм людини.

Об'єкт дослідження: харчові добавки та продукти харчування, що їх містять.

Предмет дослідження: процес впливу харчових добавок на здоров'я людини.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання:**

- вивчити теоретичний матеріал щодо класифікації та характеристик харчових добавок;
- проаналізувати хімічний склад поширених продуктів, таких як газовані напої, сухарики, чіпси та вермішелі швидкого приготування;
- з'ясувати рівень обізнаності здобувачів освіти щодо харчових добавок та їхнього впливу на організм людини.

Методи наукових досліджень: аналіз наукової літератури з теми харчових добавок і харчової безпеки; опитування здобувачів освіти щодо рівня їхньої обізнаності та харчових звичок; узагальнення результатів експериментів та опитувань з метою виявлення особливостей впливу харчових добавок на організм людини.

Наукова новизна: полягає у розробці анкетування (проведенні дослідження), яке дозволило стверджувати, що неправильне харчування та вживання продуктів з харчовими добавками на постійній основі призводить до негативного впливу на організм людини в підлітковому віці.

Практичне значення: розроблені анкети можна використовувати у роботі зі здобувачами освіти віком 15-20 років з метою попередження розвитку захворювань, які виникають при надмірному вживанні сухариків, чіпсів, газованих напоїв та

вермішелі швидкого приготування, що містять шкідливі харчові добавки.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Список використаних джерел сягає 19 найменувань.

РОЗДІЛ 1

ХАРЧОВІ ДОБАВКИ: КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1. Поняття та загальна характеристика харчових добавок

Сучасна харчова промисловість неможлива без використання харчових добавок. Вони забезпечують стабільність, безпечність та привабливість продуктів, дозволяють подовжувати термін їхнього зберігання й покращувати органолептичні властивості. Харчові добавки застосовують у мінімальних кількостях, проте їхній вплив на якість продукції є визначальним. У зв'язку з цим важливо розуміти їхнє походження, класифікацію та основні функції, які вони виконують у харчових технологіях.

Харчові добавки – це природні або синтетичні речовини, які навмисно вводять до харчових продуктів з технологічною метою. Вони не є самостійними продуктами харчування, але виконують важливі функції: поліпшують смак, аромат, колір, текстуру, а також подовжують термін придатності [10, с. 5].

Застосування харчових добавок регламентується міжнародними та національними стандартами, зокрема Codex Alimentarius та нормами Європейського Союзу, які впроваджені й в Україні. Кожна добавка проходить токсикологічну оцінку, визначається її прийнятна добова доза, що гарантує безпечність використання.

Усі харчові добавки, що надходять у виробництво, повинні бути сертифікованими та зберігатися на складі в упаковці заводу-виробника. Пересипання або переливання добавок в іншу

тару не допускається. Зберігати їх слід в окремих закритих шафах під особистою відповідальністю змінного майстра або бригадира.

1.2. Класифікація харчових добавок

Для гармонізації використання харчових добавок Європейською радою розроблено раціональну систему цифрової кодифікації за допомогою літери «Е». Індекс «Е» у поєднанні з тризначним номером є частиною складного найменування конкретної хімічної речовини, що застосовується як харчова добавка [1, с. 340].

Присвоєння певній речовині статусу харчової добавки та ідентифікаційного номера з індексом «Е» означає, що:

- дана речовина перевірена на безпеку;
- речовина може бути застосована в межах установленної безпечності та технологічної необхідності за умови, що її використання не вводитиме споживача в оману щодо типу та складу харчового продукту;
- для даної речовини встановлено критерії чистоти, необхідні для забезпечення відповідної якості харчових продуктів.

Після деяких Е-номерів можуть стояти малі літери, наприклад, E160a – каротин; E472e – ефіри гліцерину та оцтової і жирних кислот. У таких випадках це означає додаткову класифікацію харчової добавки. Рядкові літери є невід’ємною частиною Е-номера і повинні обов’язково застосовуватися. В окремих випадках після Е-номера можуть стояти рядкові римські цифри, наприклад, E450i – дигідропірофосфат натрію. Вони уточнюють відмінності у специфікації фосфатів і не є обов’язковою складовою номера.

Наявність харчових добавок у продуктах і сировині, що використовуються для їх виробництва, повинна зазначатися на етикетці (згідно з ДСТУ 4518:2008 Продукти харчові. Маркування для споживачів. Загальні правила). При цьому харчова добавка може позначатися як індивідуальна речовина або як функціональне найменування (функціональний клас, технологічна функція) у поєднанні з «Е-кодом» [12, с. 29].

Найпоширенішою системою класифікації є розподіл за функціональним призначенням (Додаток А):

– Барвники (E100–E199)

Барвники забезпечують надання або відновлення кольору продуктів. Вони можуть бути натуральними (каротини, куркумін), синтетичними або ідентичними натуральним. Використання барвників дозволяє зберігати привабливий вигляд харчових виробів після технологічної обробки.

– Консерванти (E200–E299)

Ці речовини перешкоджають росту бактерій, грибків та плісняви. Їх застосовують для подовження терміну зберігання продуктів. Поширеними є сорбінова та бензойна кислоти, нітрати й нітрити, що використовуються у м'ясопереробній промисловості.

– Антиоксиданти та регулятори кислотності (E300 – E399)

Антиоксиданти уповільнюють окислення жирів та інших компонентів, запобігаючи прогірканню й втраті харчової цінності. Регулятори кислотності підтримують необхідний рівень рН. Найвідоміші представники – аскорбінова й лимонна кислоти.

– Загусники, желюючі агенти, стабілізатори та емульгатори (E400–E499)

Ці добавки відповідають за формування структури й консистенції продуктів. Вони забезпечують однорідність емульсій, утворення гелів і стійкість суспензій. Прикладами є пектини, агар-агар, гуарова камідь та лецитин.

– Регулятори рН, розрихлювачі та антислежувальні речовини (E500 – E599)

Використовуються для контролю кислотності, покращення структури тіста, а також запобігання злипанню сипких продуктів. Поширені представники — сода харчова, карбонати та силікати.

– Підсилювачі смаку та аромату (E600 – E699)

Підсилювачі покращують або підкреслюють природний смак продуктів. Найвідомішим є глутамат натрію (E621), який широко застосовується у харчовій індустрії.

– Антибіотики (E700 – E799)

Використовуються обмежено, переважно при виробництві ферментованих продуктів. Їхнє застосування суворо контролюється, щоб уникнути залишкових кількостей у кінцевому продукті.

– Глазурувальні речовини, гази пакування та пропеленти (E900 –E999)

Ці добавки забезпечують блиск поверхні, утворення аерозолів або захисного газового середовища під час пакування. Серед них – воски, діоксид вуглецю та інші технологічні агенти.

– Підсолоджувачі (E950 – E969)

Підсолоджувачі забезпечують солодкий смак без значного підвищення калорійності продуктів. Найпоширеніші – аспартам, ацесульфам-К, стевія.

1.3. Призначення харчових добавок

Харчові добавки виконують кілька ключових функцій:

– забезпечення безпечності харчових продуктів (консерванти та антиоксиданти зменшують ризик мікробного псування й окислення, тим самим підвищуючи термін придатності та зберігаючи якість продукції);

– поліпшення органолептичних властивостей (барвники, ароматизатори, підсилювачі смаку й підсолоджувачі роблять продукти більш привабливими для споживача);

– формування структури та консистенції (загусники, емульгатори та стабілізатори відіграють важливу роль у виготовленні соусів, десертів, молочних продуктів та інших складних харчових систем);

– оптимізація технологічних процесів (деякі добавки полегшують виробництво та транспортування продуктів, забезпечують стабільність під час зберігання або запобігають небажаним фізико-хімічним змінам).

Висновки до розділу 1

Сьогодні якість харчових продуктів справедливо вважається одним із основних факторів, що впливають на здоров'я нації та збереження її генетичного фонду. Це є однією з найактуальніших проблем сучасності. Адже їжа може бути джерелом великої кількості небезпечних для здоров'я речовин.

Правильне харчування є надзвичайно важливим чинником для забезпечення нормального процесу кровотворення, зору,

статевого розвитку, підтримки здорового стану шкіри та визначає рівень захисних функцій організму. Від того, що споживає людина, залежить її самопочуття, зовнішній вигляд і навіть мислення.

Основна вимога, яку висуває сучасна освічена особа до продуктів харчування, полягає в їхній якості. В умовах надмірного асортименту важко обрати те, що дійсно є смачним, корисним, а головне – безпечним для здоров'я. Уміння оцінювати якість продуктів харчування ще на етапі покупки є однією з ключових складових формування культури харчування людини.

Очевидно, що в сучасних умовах обійтися без харчових добавок стає неможливим. Проте, щоб зупинити поширення хвороб, пов'язаних з харчуванням, необхідно забезпечити всебічне інформування як дорослих, так і дітей про вплив продуктів, що містять потенційно небезпечні харчові добавки.

Проблема доцільності вживання продуктів з харчовими добавками звичайно не нова, але вона як і раніше актуальна. Це пояснюється тим, що з'являються нові харчові добавки, а ті, які зовсім недавно вважалися нешкідливими – виявляються достатньо небезпечними хімічними речовинами.

Харчові добавки є важливою складовою сучасної харчової промисловості. Вони виконують широкий спектр функцій – від поліпшення смаку та зовнішнього вигляду до забезпечення стабільності та безпечності продуктів.

Чітка система класифікації та суворий контроль з боку державних та міжнародних організацій дозволяють мінімізувати ризики та гарантують безпечність добавок у межах допустимих норм.

РОЗДІЛ 2

ВПЛИВ ХАРЧОВИХ ДОБАВОК НА ЗДОРОВ'Я

ЛЮДИНИ

2.1. Негативний вплив харчових добавок на здоров'я людини

Реакція організму людини на харчові добавки є індивідуальною. Дехто сприймає певні речовини цілком

спокійно, а в іншої людини може виникати алергія чи інші небажані прояви. Попри те, що багато людей усвідомлюють можливу шкоду, розібратися у кодах харчових добавок буває складно. Існують добавки, які офіційно вважаються безпечними, проте у частини людей вони здатні провокувати напади астми, аритмію або інші реакції. Таким споживачам важливо знати, що саме приховується під певним кодом, аби передбачити можливий вплив на організм. Наприклад, це стосується глутамату [3, с. 23].

У харчовій промисловості ця речовина відома як глутамат натрію – підсилювач смаку E621, який надає продуктам характерного «м'ясного» присмаку. Його додають до локшини та супів швидкого приготування, соусів, консервів, сумішей приправ, готових страв, маринадів, ковбасних виробів, чіпсів.

Глутамат натрію може викликати низку побічних ефектів. У чутливих людей можливі напади бронхіальної астми, кропивниця, головний біль. Частота виникнення подібних проблем різниться: згідно з дослідженнями, профінансованими зацікавленими сторонами (виробниками глутамату), небажані реакції трапляються у 1,8 % людей. Натомість незалежні дослідження вказують на частоту до 33 %. Надмірне споживання продуктів, що містять цю добавку, може спричинити так званий «синдром китайського ресторану»: головний біль, прищвидшене серцебиття, біль у грудях, нудоту, сонливість та загальну слабкість. Це лише один приклад – насправді потенційно небезпечних добавок значно більше.

Приклади харчових добавок із можливими негативними наслідками:

– E103, E105, E121, E123, E125, E126, E130, E131, E142, E153 – барвники. Містяться у солодких газованих напоях, льодяниках, кольоровому морозиві. Можуть сприяти утворенню злоякісних пухлин.

– E171 – E173 – барвники. Використовуються у солодких газованих напоях, льодяниках, кольоровому морозиві. Можуть стати причиною захворювань нирок і печінки.

– E210, E211, E213 – E217, E240 – консерванти. Зустрічаються в овочевих і грибних консервах, варенні, соках і компотах. Можуть сприяти виникненню злоякісних пухлин.

– E221 – E226 – консерванти. Містяться у різних видах консервів. Можуть викликати захворювання травного тракту.

- E230 – E232, E239 – консерванти. Використовуються у виробництві консервів. Можуть спричиняти різноманітні алергічні реакції.
- E311 – E313 – антиоксиданти. Входять до складу йогуртів, кисломолочних продуктів, ковбасних виробів, вершкового масла, шоколаду. Можуть провокувати захворювання травного тракту.
- E407, E447, E450 – стабілізатори та загусники. Використовуються у варенні, джемах, згущеному молоці, шоколадному сирі. Можуть стати причиною хвороб нирок і печінки.
- E461 – E466 – стабілізатори та загусники. Містяться у варенні, джемах, згущеному молоці, шоколадному сирі. Можуть викликати порушення функціонування травної системи.
- E924a, E924b – піногасники. Додаються в газовані напої. Можуть сприяти утворенню злоякісних пухлин.

2.2. Заборонені харчові добавки

Окрім дозволених, існують і заборонені харчові добавки (Додаток Б). До найпомітніших прикладів належать: E121 – барвник «цитрусовий червоний» та E240 – формальдегід, що є не менш небезпечним. Під номером E173 закодований порошок алюміній, який використовують для оздоблення цукерок та інших кондитерських виробів; цей барвник дозволено не в усіх країнах.

Ще один цікавий приклад – натуральний барвник E120 (кармін). Його отримують зі щитівок – комах, які паразитують на рослинах. Застосовують, зокрема, для надання кольору джемам.

Водночас існують і безпечні, а подекуди навіть корисні харчові добавки. Наприклад, E163 – антоціан, природний барвник зі шкірки винограду. E338 – антиоксидант, а E450 – стабілізатор, належать до фосфатів, які в помірних кількостях є необхідними для наших кісток. Цікаво, що комбінація E260, E334, E620, E160a, E375, E163, E330, E363, E920, E300 та E101 міститься у звичайному хрусткому яблуці й є нічим іншим, як природним поєднанням оцтової, винної та глютамінової кислот, каротину, цистину, вітаміну С та вітаміну В.

Окрім цього, фахівці встановили, що деякі консерванти, попри їхню непопулярність, здатні негативно впливати на синьогнійну паличку – небезпечний хвороботворний мікроорганізм, який спричиняє інфекції сечовивідних шляхів, шкіри, очей та м'яких тканин і є одним із найбільш стійких до антибіотиків збудників. Консерванти викликають у цієї бактерії генетичні зміни, роблячи її значно чутливішою до ліків [12, с. 10].

Попри зазначене, медики наполягають на важливому висновку: навіть ті харчові добавки, які виробляються з натуральної сировини, проходять глибоку хімічну обробку. Тому їхній вплив на організм може бути неоднозначним.

Висновок до розділу 2

У другому розділі розглянуто різнобічний вплив харчових добавок на організм людини, що дає змогу зробити кілька важливих узагальнень. Передусім встановлено, що реакція на добавки є індивідуальною: речовини, які для більшості споживачів є безпечними, у чутливих людей можуть викликати алергічні прояви, загострення хронічних захворювань, порушення роботи дихальної та серцево-судинної систем. Особливу увагу слід приділяти підсилювачам смаку, барвникам, консервантам і стабілізаторам, адже саме ці групи добавок найчастіше спричиняють небажані наслідки. Приклад глутамату натрію (E621) демонструє, що навіть офіційно дозволені речовини здатні провокувати цілу низку симптомів – від головного болю до нападів астми.

Аналіз також показав, що серед харчових добавок існують і такі, які в ряді країн заборонені через виражену токсичність або потенційні канцерогенні властивості – зокрема, E121, E240 та деякі металеві барвники. Водночас є й безпечні або навіть корисні добавки природного походження, а також речовини, що можуть відігравати позитивну роль у боротьбі з патогенними мікроорганізмами.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НА ВМІСТ ХАРЧОВИХ ДОБАВОК

3.1. Характеристика вибірки дослідження зв'язку між обізнаністю підлітків та вживанням ними продуктів харчування із вмістом харчових добавок

Для того щоб оцінити рівень обізнаності здобувачів професійної освіти щодо впливу харчових добавок на організм людини та з'ясувати, чи враховують вони цю інформацію під час вибору популярних серед молоді харчових продуктів, було проведено анкетування та соціальне опитування серед здобувачів освіти першого курсу за професіями «5122 Кухар», «7412 Пекар» (20 осіб); «7231 Слюсар з ремонту колісних транспортних засобів», «7212 Електрогазозварник», «8322 Водій автотранспортних засобів категорії «С» (20 осіб); третього курсу – за професією «5122 Кухар», «7412 Пекар» (22 особи) та учнів Ставецької гімназії 8-9 класів (19 осіб).

Перша анкета містила такі запитання:

1. Купуючи продукти, чи звертаєте ви увагу на їхній склад?
 2. Чи знаєте ви, як розшифровуються харчові добавки, що позначаються індексом «Е»?
 3. Чи знаєте ви, як ці добавки впливають на ваше здоров'я?
- На діаграмі (Рис.3.1.) продемонстровано результати опитування.

Соціальне дослідження показало, що 19 % опитаних (15 здобувачів освіти), купуючи продукти харчування, звертають увагу на їхній склад (на діаграмі – перша колонка синього кольору). Понад 75 % опитаних (61 здобувач освіти) не звертають уваги на склад продуктів (друга колонка червоного кольору), і лише 6 % (5 здобувачів освіти) не знали, що відповісти (третя колонка зеленого кольору).

32 % (25 здобувачів освіти) знають, як розшифровуються харчові добавки (на діаграмі – перша колонка синього кольору). 64 % (53 здобувачі освіти) не знають, як розшифровуються добавки (друга колонка червоного кольору), і тільки 4% (3

здобувачі освіти) не визначилися з відповіддю (третя колонка зеленого кольору).

Рис.3.1.

Результати дослідження на першу анкету



Також 22 % (18 здобувачів освіти) знають, як харчові добавки впливають на здоров'я людини (перша колонка синього кольору). Близько 73 % (61 здобувач освіти) не знають про вплив харчових добавок на організм (друга колонка червоного кольору), і лише 5 % (4 здобувачі освіти) було важко дати відповідь (третя колонка зеленого кольору).

Друга анкета містить такі питання:

1. Чи любите ви газовані напої, сухарики, чіпси?
2. Чи часто ви вживаєте газовані напої, сухарики, чіпси ?
3. Чи використовуєте ви для приготування домашньої їжі напівфабрикати та продукти швидкого приготування (вермішель швидкого приготування)?

На діаграмі (Рис.3.2.) продемонстровано результати опитування.

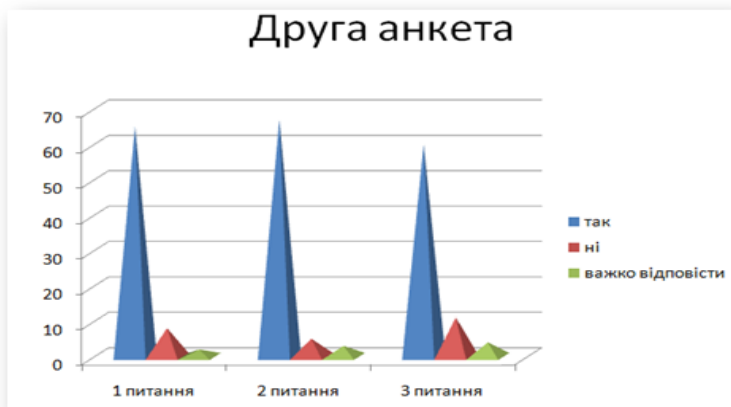
Аналіз анкетування показав, що більшість опитаних – 87 % (71 здобувач освіти) – вживають ті чи інші продукти у своєму харчовому раціоні (перша колонка синього кольору), і лише 10 %

(8 здобувачів освіти) не включають до свого раціону газовані напої, сухарики та чіпси (друга колонка червоного кольору). 3 % (2 здобувачі освіти) було важко дати відповідь.

90 % (73 здобувачі освіти) зазначили, що вживають газовані напої, сухарики та чіпси дуже часто (практично щодня) – це перша колонка синього кольору на діаграмі. Лише 7 % (5 здобувачів освіти) піклуються про своє здоров'я і не вживають газованих напоїв, сухариків і чіпсів (друга колонка червоного кольору), 3 % (3 здобувачі освіти) було важко відповісти.

Рис.3.2.

Результати дослідження на другу анкету



Проте 80 % (66 здобувачів освіти) відзначили, що під час приготування домашньої їжі використовують напівфабрикати та продукти швидкого приготування (перша колонка синього кольору). 15 % (11 здобувачів освіти) не використовують напівфабрикати та продукти швидкого приготування й дбають про своє здоров'я (друга колонка червоного кольору). Лише 5 % (4 здобувачі освіти) було важко дати відповідь.

3.2. Збір і аналіз якісного складу об'єктів дослідження

Для оцінки даних, отриманих у результаті опитувань та анкетування, у магазинах м. Радомишля були придбані та

сфотографовані етикетки продуктів, які здобувачі освіти споживають частіше за інші (Додаток К).

У результаті вивчення інформації, зазначеної на етикетках, було встановлено, що ці продукти містять одну або навіть кілька харчових добавок.

Користуючись отриманими даними, були досліджені харчові добавки, які застосовуються під час виробництва сухариків, чіпсів, газованих напоїв та вермішелі швидкого приготування. Результати подано у додатку Г «Якісний склад сухариків», додатку Д «Якісний склад чіпсів», додатку Е «Якісний склад газованих напоїв», додатку Ж «Якісний склад продуктів швидкого приготування»

3.3. Результати дослідження обізнаності здобувачів освіти щодо харчових добавок та їх впливу на здоров'я

У результаті аналізу отриманої інформації встановлено, що кожен із досліджених зразків (відповідно до маркування на етикетках) містить від 2 до 14 харчових добавок. На частині продукції Е-коди не зазначено, що ускладнює пошук та ідентифікацію добавок.

У трьох зразках сухариків виявлено глутамат натрію (Е621), який у деяких дослідженнях пов'язують з ризиком формування харчової залежності, гіперактивністю у дітей, подразненням слизових оболонок і порушеннями зору. У трьох інших зразках зафіксовано гуанілат натрію (Е627), який заборонений для використання в харчуванні дітей. У трьох зразках сухариків також наявний інозинат натрію (Е631), що може викликати порушення роботи шлунково-кишкового тракту і також не допускається у дитячому харчуванні.

Усі харчові добавки, наведені у додатку Г, являють собою певний ступінь потенційної небезпеки, але одночасно дозволені до використання у харчовій промисловості у встановлених нормах.

У складі трьох зразків чіпсів одночасно використано три підсилювачі смаку (Е621, Е627, Е631). Усі вони протипоказані для харчування немовлят, дітей молодшого віку, вагітних, матерів, які годують грудьми, та людей похилого віку.

Порівняння додатків Д, Е та Ж показало, що чіпси, сухарики та вермішель швидкого приготування містять схожі харчові добавки, які офіційно належать до категорії «потенційно небезпечних» та мають низку протипоказань. Зокрема, окремі з них можуть негативно впливати на розвиток мозку дитини, погіршувати зір та діяти на нервову систему. Також варто врахувати, що в одному продукті одночасно містяться кілька підсилювачів смаку, що може свідчити про перевищення допустимих норм.

З етикеток газованих напоїв встановлено, що у чотирьох зразках наявно від 2 до 4 добавок, які відносять до потенційно канцерогенних. Один напій містив сахарин (Е954), котрий заборонений у низці країн і віднесений до можливих канцерогенів. У чотирьох зразках виявлено бензоат натрію (Е211), що також має канцерогенний потенціал та не рекомендований для дітей, вагітних і жінок, які годують грудьми.

В одному із зразків використано барвник Е152, заборонений у Європі з 1977 року. У цьому ж продукті наявний регулятор кислотності Е338, що може погіршувати засвоєння кальцію й заліза та при надмірному споживанні сприяти розвитку остеопорозу.

У трьох зразках газованих напоїв виявлено аспартам (Е951) – підсолоджувач, протипоказаний людям із фенілкетонуриєю та таким, що в окремих випадках може спричиняти побічні реакції: головний біль, біль у суглобах, зниження слуху, а також потенційно впливати на розвиток пухлин та метаболічні порушення.

Лише в трьох із шести зразків газованих напоїв було зазначено протипоказання та запобіжні заходи.

Як свідчать дані додатку Е, газовані напої є особливо шкідливими для дітей та підлітків.

Аналіз етикеток у додатку К підтвердив, що всі досліджені зразки містили значну кількість харчових добавок. Найчастіше траплялися підсилювачі смаку (Е621, Е631, Е627), барвники (Е160а), регулятори кислотності (Е501), стабілізатори (Е452, Е451).

Аналіз наукових джерел дозволяє виділити такі потенційні ризики регулярного споживання цієї продукції:

- порушення нервової системи (головний біль, дратівливість, швидка втомлюваність);
- алергічні реакції на синтетичні барвники;
- підвищене навантаження на печінку та нирки через консерванти;
- підвищення артеріального тиску через високий вміст натрію та фосфатів;
- ризик метаболічних порушень через надлишок солі та підсилювачів смаку.

Особливо небезпечним таке харчування є для дітей, підлітків, осіб із захворюваннями шлунково-кишкового тракту, серцево-судинною патологією та схильністю до алергій.

Отримані результати свідчать, що вермішель швидкого приготування містить значну кількість харчових добавок, які при регулярному споживанні можуть негативно впливати на здоров'я, формувати харчову залежність та погіршувати якість раціону. Це узгоджується з даними медичних досліджень, які вказують на можливе уповільнення фізичного та розумового розвитку дітей при надмірному споживанні подібних продуктів, особливо у внутрішньоутробному, дитячому та підлітковому віці.

Висновок до розділу 3

Проведені практичні дослідження показали низький рівень обізнаності здобувачів освіти щодо харчових добавок та їхнього впливу на здоров'я. Більшість опитаних не звертають уваги на склад продуктів, не знають значення Е-кодів і регулярно вживають газовані напої, сухарики, чіпси та продукти швидкого приготування.

Аналіз етикеток найбільш популярних серед молоді продуктів засвідчив наявність у їхньому складі значної кількості харчових добавок, серед яких особливо поширені підсилювачі смаку (Е621, Е627, Е631), барвники, консерванти та стабілізатори. Частина з цих речовин належить до потенційно небезпечних, а окремі – заборонені для дитячого харчування або мають обмеження щодо споживання.

Наукові дані свідчать, що регулярне вживання продуктів із високим вмістом харчових добавок може призводити до порушень роботи нервової системи, підвищеного навантаження

на печінку та нирки, алергічних реакцій, метаболічних розладів і загального погіршення стану здоров'я. Найбільшу небезпеку такі продукти становлять для дітей та підлітків.

Отже, результати дослідження підтверджують актуальність формування харчової грамотності серед молоді та необхідність підвищення уваги до вибору продуктів, що містять харчові добавки.

ВИСНОВКИ

Слід зазначити, що в сучасних умовах харчова промисловість не може обійтися без використання харчових добавок – і це цілком нормально. Безумовно, варто звертати увагу на маркування продукції та термін її придатності. Проте не потрібно панічно боятися літери «Е» на етикетках або ж надмірно перейматися вибором між «натуральними» та «ідентичними натуральним» барвниками чи ароматизаторами.

Однак побачивши на упаковці довгий перелік Е-добавок, споживач дійсно має замислитися. За наявності певних захворювань, зокрема алергічних, слід виключати з раціону продукти, що містять компоненти, здатні викликати алергічні реакції. При хворобах шлунково-кишкового тракту варто уникати харчових продуктів, до складу яких входять добавки, що подразнюють слизову оболонку шлунка. Багато продуктів, які містять харчові добавки, не рекомендується споживати дітям та підліткам. Для харчування грудних та маленьких дітей слід використовувати лише натуральні продукти. Також існує низка харчових добавок, які небажані для людей похилого віку.

За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок про шкідливий вплив солодких газованих напоїв, сухариків, чіпсів та вермішелі швидкого приготування. У зв'язку з цим їх необхідно або виключити з раціону, або вживати якомога рідше. Часто великий перелік Е-добавок зустрічається на етикетках продуктів із тривалим терміном зберігання. Тому варто обмежувати споживання копчених та консервованих виробів. Продукти швидкого приготування слід використовувати лише у виняткових випадках.

Отже, результати опитування дають підстави стверджувати, що населення необхідно всебічно інформувати про

вплив харчових добавок на здоров'я людини. Це сприятиме підвищенню мотивації до споживання натуральних продуктів харчування та формуванню високої культури споживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воронов С. А., Панченко Ю. В. Токсикологія продуктів харчування. Львів: Львівська політехніка, 2018. 568 с.
2. Вплив синтетичних харчових добавок на організм людини. URL : <https://znaimo.gov.ua>. (дата звернення 15.10.2025).
3. Донченко С. В., Білаш С. М., Северин Ю. М. Вплив найпоширеніших харчових добавок на здоров'я людини. Полтава : Астроя, 2020. 194 с.
4. Звіт дослідження безпечності харчових добавок в продуктах харчування : вплив на здоров'я людини. Міністерство охорони здоров'я України. Офіційний документ. 2016-24-02. Київ : 2016. 9 с.
5. Класифікація харчових добавок. URL : <https://sushka.com.ua/klasifikaciya-harchovih-dobavok/?srsltid=AfmBOooYMyL2tLlDc3LBZO34u8HuRmFdI5CtF GOJaFAFafmo2J6NoC8G> (дата звернення 10.11.2025).
6. Корсуновська М. Д., Полукаров Ю. О. Особливості впливу харчових добавок на імунну систему людини. URL : <https://ela.kpi.ua/items/de4a94c9-5d56-4e30-86b6-659a9c99b7eb> (дата звернення 11.10.2025).
7. Магалецька В. Харчові добавки. Чому в нас можна те, що давно заборонив Євросоюз? URL : <https://nv.ua/ukr/opinion/harchovi-dobavki-shcho-vidbuvayetsya-v-ukrajini-e171-novini-ukrajini-50193087.html> (дата звернення 09.09.2025).
8. Мустафіна Г. М., Старченко І. І., Лукачіна Є. І. Сучасні уявлення про вплив окремих харчових добавок на організм людини. Вісник Української медичної стоматологічної академії. URL : <https://repository.pdmu.edu.ua/items/c0545ed8-a3fc-4270-ae15-b3bc433f6bb1> (дата звернення 21.06.2025).
9. Особливості впливу харчових добавок на стан здоров'я людини Львівський державний університет безпеки життєдіяльності. 2018. 35 с. URL :

https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/konkurs/zdorovyua_.pdf (дата звернення 07.04.2025).

10. Паска М. З., Ромашко І. С., Драчук У. Р., Галух Б. І., Кринська Н. В. Харчові добавки: навч. посіб. Львів : ЛНУВМ та БТ ім. С. З. Гжицького, 2014. 96 с.

11. Харчові добавки та їх вплив на організм людини. URL : <https://naurok.com.ua>. (дата звернення 09.10.2025).

12. Продукти харчові. Маркування для споживачів. Загальні правила : ДСТУ 4518:2008. Чинний від 2009-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 41 с URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2639-19> (дата звернення 09.10.2025).

13. Сулима Я. Шкода чи користь? Розбираємо 10 найпопулярніших харчових добавок та їхній вплив на здоров'я. URL : <https://klopotenko.com/shkoda-chy-koryst-rozbyrayemo-10-najpopulyarnishyh-harchovyh-dobavok-ta-yihnij-vplyv-na-zdorovyua> (дата звернення 08.06.2025).

14. Сучасні уявлення про вплив окремих харчових добавок на організм людини: стаття-аналітичний огляд. Актуальні проблеми сучасної медицини : Вісник Української медичної стоматологічної академії. URL : <https://visnyk-umsa.com.ua> (дата звернення 11.10.2025).

15. Фармацевтична енциклопедія (Харчові добавки) URL : <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/173/xarchovi-dobavki> (дата звернення 18.11.2025).

16. Харчові добавки – і наше здоров'я URL : <https://stanyshivska-gromada.gov.ua/news/1673644089> (дата звернення 16.10.2025).

17. Харчові добавки і наше здоров'я. URL : <https://info.nvrada.gov.ua/harchovi-dobavky-i-nashe-zdorovyua/>. (дата звернення 14.11.2025).

18. Харчові добавки та барвники: що потрібно знати про небезпечні та безпечні Е-коди продуктів URL : https://storinka.com.ua/ukr/2023/03/pisevye-dobavki-i-krasiteli-ctonuzno-znat-ob-opasnyh-i-bezopasnyh-e-kodah-produktov/?utm_source=ukrnet_news (дата звернення 21.11.2025).

19. Харчові добавки, наскільки реальна небезпека? URL : <https://znaimo.gov.ua> (дата звернення 12.11.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Харчові добавки

Назва	Позначення	Ціль використання
Барвники	E 100 – E 182	Підсилюють або відновлюють колір
Консерванти	E 200 – E 299	Подовжують строк зберігання, мають дезінфікувальні властивості
Антиоксиданти	E 300 –E 399	Захищають від окиснення, потемніння та зміни кольору
Загусники (стабілізатори)	E 400 – E 499	Підтримують або підвищують в'язкість, стабілізують консистенцію
Емульгатори	E 500 – E 599	Утворюють однорідні суміші (емульсії)
Підсилювачі смаку й аромату	E 600 – E 699	Підсилюють смак і аромат
Піногасителі	E 900 – E 999	Запобігають або знижують утворення піни

Додаток Б

Заборонені добавки

Назва	Позначення	Є заборонено
Барвники	E 100 – E 182	E 103, 107, 121, 123, 125, 128, 140, 153-155, 160d, 160F, 166.
Консерванти	E 200 – E 299	E 209, 213-219, 225-228, 230-233, 237, 238, 240, 241, 263, 264, 282, 283.
Антиоксиданти	E 300 – E 399	E 302, 303, 308-314, 317, 318, 323-325, 328, 329, 343-345, 349-352, 355-357, 359, 365-368, 370, 375, 381, 384, 387-390, 399.
Стабілізатори	E 400 – E 499	E 403, 408, 409, 418, 419, 429-436, 441-444, 446, 462, 463, 465, 467, 474, 476-480, 482-489, 491-496
Емульгатори	E 500 – E 599	E 512, 518, 521, 523, 535, 537, 538, 541, 542, 550, 554-557, 559-560, 574, 577, 580
Підсилювачі	E 600 – E 699	E 622-625, 628, 629, 632-635, 640,

смаку і аромату		641
Піногасителі	E 900 – E 999	E 906, 908, 909-911, 913, 916-919, 922-923, 924d, 925, 926, 929, 943a, 923b, 944-946, 957, 959
Гразирувателі	E 1000 і вище	E 1001, 1503, 1521

Додаток В

Перелік небезпечних добавок і результат їх дії

Позначення небезпечних добавок	Результат дії
E 102, 110, 120, 124	Небезпечні барвники
E 103, 105, 110, 121, 123, 125, 126, 130, 131, 142, 152, 153, 210, 211, 213 – 217, 231, 232, 240, 251, 252, 321, 330, 431, 447, 900, 905, 907, 952, аспартам.	Канцерогени
E 104, 124, 128, 230 – 233, аспартам	Мутагенні і генотоксичні
E 131, 132, 160b, 210, 214, 217, E230, 231, 232, 239, 311 – 313, аспартам	Алергени
E 102, 107, 122 – 124, 155, 211 – 214, E217, 221 – 227	Небажані для астматиків
E 107, 110, 122 – 124, 155, 214, 217	Небажано людям, чутливим до аспірину
E 171 – 173, 220, 302, 320 – 322, 510, 518	Негативний вплив на печінку і нирки
E 127	Порушення функції щитовидної залози
E 230 – E233	Викликають захворювання шкіри
E 220 – E224	Подразнення кишечника
E 338–341, 407, 450, 461, 463, 465, 466	Розлади травлення
E 233	Можуть спричинити неправильний розвиток плоду
E 249, 262, 310 – 312, 320, 514, 623, 626 – 635	Заборонені для грудних дітей, небажані для малят

Якісний склад сухариків

№	Назва	Вміст харчових добавок	Е код	Виробник
1	Грінки житньо-пшеничні хвилясті зі смаком «Часник»	Підсилювачі смаку – натрію глутамат, динатрію 5-гуанілат, динатрію 5-інозинат	E621 E627 E631	ТМ «Flint Craft Grenki»
		Регулятор кислотності – натрію ацетат	E262	
		Барвник – екстракт паприки	E160c	
		Антиспікаючий агент – діоксид кремнію	E551	
2	Сухарики багетні зі смаком «Сметана із зеленню»	Підсилювачі смаку – натрію глутамат, динатрію 5-інозинат	E621 E631	ТМ «HROOM»
		Регулятор кислотності – молочна і лимонна кислота, лактат кальцію	E 270 E 330, E 327	
		Антиспікаючий агент – трикальцію фосфат	E 341	
		Барвник – куркумін	E100	
		Ароматичні препарати	E 600-699	
		Ароматичні препарати	E 600-699	
3	Сухарики пшенично-житні зі смаком «Краб»	Підсилювачі смаку – натрію глутамат, динатрію 5-гуанілат, динатрію 5-інозинат	E621 E627 E631	ТМ «Flint»
		Ароматичні препарати	E 600-699	

Якісний склад чіпсів

№	Назва	Вміст харчових добавок	Е код	Виробник
1	Чіпси картопляні зі смаком сиру	Підсилювачі смаку – натрію глутамат, динатрію 5-гуанілат, динатрію 5-інозинат	E621 E627 E631	ТМ «ПОВНА ЧАША»
		Регулятор кислотності – лимонна кислота	E330	
		Антиспікаючий агент – діоксид кремнію	E551	
		Стабілізатор – моно- та дигліцириди жирних кислот	E471	
		Антиоксидант – аскорбілпальмітат	E304	
		Консервант – метабісульфіт натрію	E223	
		Барвник - куркума	E100	
2	Чіпси картопляні «Lays»зі смаком сметани і зелені	Підсилювачі смаку – натрію глутамат, динатрію 5-гуанілат	E621 E627	«Frito-Lay»
		Антиоксиданти – аскорбінова кислота, екстракти розмарину, лимонна кислота	E300, E330	
		Ароматичні препарати	E 600-699	
3	Чіпси картопляні «Люкс» зі смаком сиру	Підсилювачі смаку – натрію глутамат	E621	ТОВ «ЛЮКС»
		Кислоти – ортофосфатна і лимона	E338 , E330	
		Ароматичні препарати	E 600-699	
		Антиоксидант – екстракт розмарину	Не має коду	
		Барвник – екстракт паприки	E160c	

Якісний склад газових напоїв

№	Назва	Вміст харчових добавок	Е код	Виробник
1	Напій безалкогольний сильногазований на ароматизаторах безкалорійний «ПЕПСІ НУЛЬ ЦУКРУ» з підсолоджувачами	Регулятор кислотності – Натрію ацетат	E262	ТОВ «Сандора»
		Барвник – сульфітно аміачна карамель	E150d	
		Підсолоджувачі – аспартам та ацесульфат калію	Не має коду E950	
		Кислоти – ортофосфатна і лимона	E338 , E330	
2	Напій безалкогольний сильногазований соковмісний Караван «Дзвіночок»	Натуральний ароматизатор «Лимон»	Не має коду	ПП ВФ «Панда»
3	Напій безалкогольний сильногазований соковмісний Караван «Золотий ключик»	Барвник – натуральний цукровий колер	E150	ПП ВФ «Панда»
		Натуральний ароматизатор «Лимонад»	Не має коду	
4	Напій безалкогольний сильногазований на ароматизаторах «КОКА-КОЛА»	Барвник – натуральний цукровий колер	E150	П «Кока-Кола»
		Кислоти – ортофосфатна	E338	
		Натуральний ароматизатор кофеїн	Не має коду	

Якісний склад продуктів швидкого приготування

№	Назва	Вміст харчових добавок	Е код	Виробник
1	Вермішель швидкого приготування зі смаком грибів негостра	Регулятор кислотності – карбонат калію	E501	ТМ «Повна чаша»
		Підсилювач смаку та аромату – глутамат натрію, інозинат натрію, гуанілат натрію	E621 E631 E627	
		Стабілізатори – гексаметафосфат натрію, триполіфосфат натрію	E452 E451	
		Барвник – бета каротин	E160a	
		Ароматизатор мальтодекстрин коричневий	E459	
2	Вермішель швидкого приготування зі смаком курки негостра «REEVA»	Регулятор кислотності – карбонат калію	E501	ТОВ «Євро Фуд Сервіс»
		Стабілізатори – гексаметафосфат натрію, триполіфосфат натрію	E452 E451	
		Барвник – бета каротин	E160a	
		Підсилювач смаку і аромату – глутамат натрію, інозинат натрію, гуанілат натрію	E621 E631 E627	
3	Вермішель швидкого приготування зі смаком курячого бульйону негостра «МІВІНА»	Стабілізатор – поліфосфат натрію	E452	ТОВ «Нестле Україна»
		Регулятор кислотності – карбонат калію	E501	
		Підсилювач смаку та аромату – глутамат натрію, гуанілат натрію, інозинат динатрію	E621 E627 E631	

Етикетки об'єктів дослідження
(сухарі, чіпси, газовані напої, вермішель швидкого приготування)



Етикетки об'єктів дослідження



ДЛЯ ПОДАТОК

