МОН УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(УНУ)

Факультет плодоовочівництва, екології та захисту рослин

Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту
«___» _____ 2025 року
Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент
_____Ольга ВАСИЛЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ступеня вищої освіти бакалавр

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ЗОНІ ВПЛИВУ ЛАДИЖИНСЬКОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Виконала: студентка 4 курсу, групи 41-з-ек

спеціальності Е2 Екологія

ЗЕРНИК Олена Олексіївна

Керівник: БАЛАБАК Алла, к. с.-г. н., доцент

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1. Аналіз екологічних наслідків функціонування теплових електростанцій та їхнього впливу на компоненти навколишнього природного середовища 5

1.1. Дослідження впливу теплових електростанцій на стан довкілля та природні екосистеми 5

1.2. Роль електроенергетики в промисловому комплексі України та екологічні аспекти функціонування ТЕС 7

1.3. Комплексний підхід до зниження викидів шкідливих речовин ТЕС в атмосферне повітря 10

1.4. Вплив Ладижинської ТЕС на стан навколишнього природного середовища в умовах збройної агресії РФ 12

РОЗДІЛ 2. Умови, об’єкт та методика досліджень 15

2.1. Природні умови регіону досліджень 15

2.2. Об’єкт досліджень 16

2.3 Схема досліду 17

2.4. Методика досліджень 18

РОЗДІЛ 3. Результати досліджень 21

3.1. Джерела та механізми надходження шкідливих речовин в атмосферу під час роботи теплоелектростанцій 21

3.2. Аналіз впливу викидів забруднюючих речовин Ладижинською ТЕС на стан атмосферного повітря 27

3.3. Обґрунтування модернізації Ладижинської ТЕС в умовах воєнного стану 33

ВИСНОВКИ 35

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 37

ДОДАТКИ 40

ВСТУП

Функціонування теплоелектростанцій (ТЕС) створює комплексний негативний вплив на всі основні складові біосфери – атмосферу, гідросферу та літосферу. Екологічне навантаження, яке вони створюють, є багатогранним: до нього належить забруднення атмосферного повітря газоподібними та аерозольними викидами, теплове забруднення довкілля, а також проникнення шкідливих речовин у підземні й ґрунтові води.

У контексті постійного зростання обсягів енергетичного виробництва, що супроводжується інтенсивним використанням викопного палива, формується небезпечна екологічна ситуація, яка вимагає термінового перегляду підходів до природоохоронної діяльності та підвищення рівня екологічної безпеки енергетичних об'єктів.

Актуальність обраної теми зумовлена необхідністю проведення всебічної оцінки екологічного впливу теплових електростанцій, як одного з основних джерел техногенного навантаження на навколишнє природне середовище. Такий аналіз є важливим інструментом для своєчасного виявлення потенційних екологічних ризиків, запобігання критичним наслідкам, а також розробки ефективних заходів зі зменшення шкідливого впливу на атмосферу, водні ресурси та ґрунти.

У сучасних умовах зростання енергоспоживання та актуалізації питань сталого розвитку підвищується потреба у вдосконаленні методик моніторингу і прогнозування стану довкілля. Саме тому дослідження екологічної безпеки функціонування ТЕС є вкрай важливим як у науковому, так і в практичному аспектах.

Метою роботи є оцінка екологічного впливу викидів Ладижинської ТЕС на стан атмосферного повітря.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати **завдання:**

– провести аналіз першоджерел згідно з темою кваліфікаційної роботи;

– дослідити джерела надходження шкідливих речовин в атмосферу під час роботи теплоелектростанцій;

– проаналізувати, як викиди шкідливих речовин Ладижинської ТЕС впливають на стан атмосферного повітря;

– обґрунтувати модернізацію Ладижинської ТЕС в умовах воєнного стану.

Наукове та практичне значення одержаних результатів.

Вдосконалення методики розрахунку приземних концентрацій забруднюючих речовин, що дозволяє отримувати більш достовірні результати для подальшого екологічного моніторингу.

Об'єкт дослідження – стан забруднення атмосферного повітря м. Ладижин Вінницької області.

Предмет дослідження – аналіз впливу викидів Ладижинської ТЕС на якість атмосферного повітря.

Апробація результатів роботи проводилася на VIII Міжнародній науково-практичній онлайн-конференції «Філософія саду і садівництва в світовій культурі: джерела та новітні інтерпретації» (Додаток А).

Структура та обсяг дипломної роботи. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту. Кваліфікаційна робота складається з вступу, 3 розділів, висновків та 1 додатку. Список використаних джерел нараховує 30.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ НАСЛІДКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА КОМПОНЕНТИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1. Дослідження впливу теплових електростанцій на стан довкілля та природні екосистеми

Теплова електростанція (ТЕС) – це енергетичний об'єкт, що здійснює перетворення теплової енергії, яка виникає внаслідок спалювання викопного палива, у електричну енергію. Основний принцип роботи ТЕС базується на нагріванні води до стану перегрітої пари, яка, проходячи через турбіну, обертає її та виробляє електроенергію. Після охолодження пара конденсується і повертається у контур, замикаючи цикл. Цей процес, попри його технологічну ефективність, супроводжується низкою екологічних проблем, зокрема викидом значних обсягів шкідливих речовин в атмосферу, тепловим забрудненням водних екосистем та накопиченням токсичних відходів [26, 27].

Теплоелектростанції, які одночасно здійснюють виробництво тепла й електроенергії, класифікуються як теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Вони відіграють важливу роль у забезпеченні енергетичних потреб промисловості та населення, однак мають значний вплив на навколишнє середовище, зокрема через систематичне надходження в атмосферу парникових газів, оксидів сірки та азоту, а також золи – побічного продукту спалювання вугілля.

Найбільшу загрозу в цьому контексті становить викид вуглекислого газу (CO_2) – основного парникового газу, що спричиняє глобальне потепління. Теплові електростанції є одними з провідних антропогенних джерел збільшення концентрації CO_2 в атмосфері. Спалювання органічного палива, зокрема кам’яного та бурого вугілля, є основним механізмом формування цього забруднювача [15, 26].

Ще одним серйозним компонентом атмосферного забруднення є діоксид сірки (SO_2), утворений у процесі згоряння сірковмісного палива. Хоча цей газ

не класифікується як парниковий, він має непрямий вплив на кліматичні процеси, зокрема через зміну альбедо атмосфери, вплив на утворення хмар та кислотні опади. При взаємодії з атмосферною вологою SO_2 перетворюється на сірчану кислоту, яка осідає на землю у вигляді кислотних дощів, змінюючи pH ґрунтів і вод, а також негативно впливаючи на здоров'я людини, зокрема на органи дихання.

Обсяг викиду SO_2 безпосередньо залежить від вмісту сірки у використовуваному паливі, який може коливатися в межах від 0,1% до 3,5%. За деякими оцінками, загальні обсяги викидів сірчистого ангідриду можуть сягати 170 млн тонн на рік. Подальше окислення цього газу в атмосфері формує сірчаний ангідрид, який утворює аерозолі та водні розчини кислот, що в результаті випадають у вигляді кислотних опадів [26, 27].

Оксиди азоту (NO_x) також становлять серйозну проблему. Вони є побічним продуктом високотемпературного згоряння палива і мають як локальний, так і глобальний вплив. NO_x здатні реагувати з атмосферною вологою з утворенням азотної кислоти, викликаючи кислотні дощі, а також сприяти утворенню фотохімічного смогу. Крім того, ці речовини викликають подразнення дихальних шляхів і мають значний вплив на здоров'я людини.

Окрему загрозу становить зола, яка залишається після згоряння вугілля. Вона містить тверді частинки та важкі метали, такі як ртуть, миш'як, кадмій, а також PM2.5 – частинки діаметром менше 2,5 мікрометрів, які можуть проникати глибоко в легені і навіть у кровоносну систему. Високі концентрації PM2.5 фіксуються у мегаполісах та промислових зонах по всьому світу й спричиняють значне зростання серцево-судинних і респіраторних захворювань. Особливо гостро ця проблема постає в країнах з високою щільністю населення, зокрема в Азі. [24, 27].

Крім атмосферних викидів, ТЕС є джерелами теплового забруднення водних ресурсів. Після використання у процесі охолодження, підігріта вода скидається у природні водойми, що призводить до підвищення температури води в місцевих екосистемах. Це знижує рівень розчиненого кисню, змінює

видовий склад водної фауни, провокує евтрофікацію водойм та порушує природні біоценози. Додатково, стічні води можуть містити розчинені токсичні метали й металоїди (бор, ртуть, миш'як), які впливають на трофічні ланцюги й порушують стабільність біоценозів.

Слід також враховувати, що зола може забруднювати навколишнє середовище через фільтрацію в ґрунти й водойми, особливо у випадках неналежного зберігання. Вміст у ній радіонуклідів становить ще одну серйозну загрозу, оскільки ці елементи можуть потрапляти в ґрунтові води або накопичуватись у живих організмах, завдаючи довготривалих шкод екосистемам та здоров'ю людей.

Крім забруднення, будівництво і функціонування ТЕС супроводжується значним втручанням у природні ландшафти. На етапі будівництва знищуються природні середовища існування багатьох видів флори й фауни, порушуються ґрунти та змінюються локальні кліматичні умови. Вплив відбувається ще до початку роботи станції, що свідчить про багаторівневу екологічну загрозу з боку теплоенергетики [2, 26].

У підсумку, діяльність теплових електростанцій спричиняє серйозні екологічні наслідки як локального, так і глобального масштабу. Викиди в атмосферу, теплове та хімічне забруднення вод, накопичення золи та радіонуклідів, а також пряме втручання у природні екосистеми перетворюють ТЕС на один із ключових факторів зміни клімату та деградації довкілля. Це вимагає невідкладного впровадження технологій декарбонізації, очищення викидів, повторного використання відходів і широкомасштабного переходу до відновлюваних джерел енергії, які можуть забезпечити стабільність енергосистеми без руйнівного впливу на природу.

1.2. Роль електроенергетики в промисловому комплексі України та екологічні аспекти функціонування ТЕС

Електроенергетика посідає провідне місце в економіці України, забезпечуючи енергетичну основу для функціонування більшості галузей

промисловості. Значна частка первинних енергетичних ресурсів – таких як вугілля, природний газ, нафта, уран, а також гідроенергія – спрямовується на виробництво електричної та теплової енергії. За статистичними даними, майже 50% усього обсягу первинного палива, яке Україна видобуває самостійно або імпортує, використовується для енергогенерації [3, 7].

На сьогоднішній день електроенергія в Україні виробляється різними типами електростанцій: тепловими (ТЕС), атомними (АЕС), гідроелектростанціями (ГЕС і ГАЕС), а також відновлюваними джерелами енергії – сонячними та вітровими електростанціями. Загальна встановлена потужність електростанцій об'єднаної енергосистеми України до початку повномасштабної агресії Росії у січні 2022 року становила близько 54 млн кВт, що відповідає приблизно 50% потужностей енергосистем Німеччини або Франції [6, 13].

Основну частину виробництва електроенергії в Україні забезпечують: теплові електростанції (ТЕС) – до 49% загального обсягу, атомні електростанції (АЕС) – близько 44% та гідроелектростанції – приблизно 7%.

Основними споживачами електроенергії є промисловість (включно з аграрним сектором) – 35%, сільське господарство – 22%, населення – 21%, соціальна сфера – 15%, інші категорії – 7% [3, 20, 24].

Найпоширенішим типом електростанцій в Україні залишаються теплові електростанції, більшість яких були збудовані ще у радянський період. Вони працюють переважно на вугіллі (енергетичне вугілля) та природному газі, і є основними споживачами твердого палива, з якого виробляється електрична та теплова енергія.

Вплив ТЕС на навколишнє природне середовище багато в чому визначається видом використовуваного палива. Зокрема, вугілля вважається одним із найбільш «брудних» джерел енергії, оскільки його спалювання супроводжується значними викидами в атмосферу, які спричиняють зміну клімату, кислотні дощі та погіршення якості повітря. Теплові електростанції, які споживають понад 35 млн тонн вугілля на рік із середньою зольністю 23–25% і

вмістом сірки понад 2%, продукують великі обсяги шкідливих речовин, включаючи оксиди сірки, азоту, вуглецю, а також твердих залишків (золи й шлаків) [13].

Станом на сьогодні в Україні діє 14 великих конденсаційних ТЕС, які належать п’яти основним енергогенеруючим компаніям.

Сумарна потужність ТЕС становила у 2022 році близько 27,6 ГВт, з яких 21,8 ГВт припадало на вугільні енергоблоки, що становили орієнтовно 41% загальної потужності енергосистеми. У складі цих електростанцій функціонували 101 енергоблок, потужністю від 100 до 800 МВт, більшість із яких спроєктовані для використання вугілля вітчизняного походження, з можливістю додаткового застосування мазуту або природного газу.

Особливо гостро стоїть проблема дефіциту антрацитового вугілля, яке використовується на так званих пиловугільних електростанціях (що працюють на марках вугілля А і П15) (табл. 1.1) [17, 18].

Таблиця 1.1

Теплові електростанції України

ТЕС	Марка вугілля	Потужність, Мвт	Регіон
Вуглегірська	ГСШ	3600	Донецька обл.
Запорізька	ГСШ	2825	Запорізька обл.
Буршинська	Г	2321	Івано-Франківська обл.
Криворізька	Г	2274	Дніпропетровська обл.
Зміївська	АШ, Т	2200	Харківська обл.
Старобешівська	АШ, Т	1975	Донецька обл.
Трипільська	АШ	1800	Київська обл.
Ладижинська	ГСШ	1800	Вінницька обл.
Курахівська	Г	1517	Донецька обл.
Зуєвська	Г	1270	Донецька обл.
Придніпровська	АШ	1195	Дніпропетровська обл.
Луганська	АШ	1185	Луганська обл.
Слов’янська	АШ, Т	880	Донецька обл.
Добротвірська	Г	500	Львівська обл.

Близько половини ТЕС в Україні (7 з 14) були технологічно орієнтовані саме на вугілля, що видобувається у Донбасі. Їх загальна встановлена потужність становить приблизно 11 ГВт. Через війну та втрату контролю над частиною Донбасу, забезпечення цих станцій паливом стало критично проблематичним. На жаль, імпортоване вугілля не може повністю компенсувати нестачу антрацитової групи, адже більшість українських ТЕС технічно не адаптовані до альтернативних марок. [2].

Таким чином, теплова енергетика України стоїть на перехресті важливих викликів: з одного боку, необхідність забезпечення стабільного енергопостачання, з іншого – мінімізація згубного впливу на довкілля та подолання залежності від паливної сировини з регіонів, охоплених бойовими діями. Пошук ефективних технічних, економічних і екологічних рішень є надзвичайно актуальним як у коротко-, так і в довгостроковій перспективі.

1.3. Комплексний підхід до зниження викидів шкідливих речовин ТЕС в атмосферне повітря

Однією з найважливіших екологічних проблем, пов’язаних з функціонуванням теплових електростанцій, є мінімізація викидів токсичних речовин у атмосферне повітря. Найбільшу небезпеку становлять діоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю та зважені частинки (пил), які утворюються в процесі спалювання органічного палива. Розробка та впровадження ефективних методів зниження цих викидів є ключовим завданням у сфері екологічної безпеки енергетики [14, 28, 30].

Одним із найбільш актуальних напрямів є очищення димових газів від сірчистих сполук, зокрема діоксиду сірки (SO_2), обсяги якого при спалюванні вугілля можуть сягати мільйонів тонн на рік. Існують два основних типи технологій сіркоочищення – циклічні (замкнуті) й нециклічні (відкриті). У циклічних системах використовується абсорбент (тверда або рідка речовина), який після поглинання шкідливих домішок регенерується й знову вводиться в процес, що дозволяє додатково утилізувати уловлений SO_2, наприклад, для

виробництва сірчаної кислоти. Нециркулюючі ж системи простіші в експлуатації, однак не передбачають відновлення реагентів, що зумовлює вищі експлуатаційні витрати та екологічні ризики [19].

Окремо методи очищення поділяються на сухі та мокрі. Сухе очищення передбачає застосування сорбентів у твердому стані, тоді як мокре – з використанням рідин (наприклад, вапняного розчину). Техніко-економічні оцінки показують, що з підвищенням вмісту сірки у паливі доцільнішим стає застосування мокрих методів, особливо якщо планується повторне використання уловлених речовин [22, 29].

Разом із тим, очищення димових газів від оксидів азоту (NO_x) є ще одним важливим напрямом. Оксиди азоту утворюються внаслідок високотемпературного згоряння палива. Серед найефективніших технологічних рішень варто виділити: зниження температури горіння у топці шляхом регулювання теплового режиму; рециркуляцію димових газів, яка дозволяє зменшити концентрацію кисню в зоні горіння; впорскування пари або води в топку, що знижує температуру та обмежує формування NO_x; східчасту подачу палива, за якої відновлюється оксид азоту в процесі горіння; подачу пилоподібного палива у високій концентрації (10–30 кг пилу на 1 кг повітря), що, згідно з дослідженнями, дозволяє зменшити викиди оксидів азоту приблизно на 20%.

Ще одним інструментом зменшення негативного впливу викидів є ефективне розсіювання шкідливих речовин у повітрі. Для цього на електростанціях будуються високі димові труби, які забезпечують рівномірне розсіювання газів до безпечних концентрацій. Сучасні труби досягають висоти 200–300 м і більше, а їх конструкція включає залізобетонний стовбур із внутрішнім захистом (епоксидні покриття, футерівка з вогнетривкої цегли). Для зручності експлуатації в конструкції передбачено сходи з огорожами, грозозахист, світлові сигнали та спеціальні технічні платформи, розташовані через кожні 15–30 м. Поширення набули одностовбурні конструкції типу «труба

в трубі», які мають простір між оболонками для зручного обслуговування та ремонту.

Не менш важливою складовою екологічного контролю є системи аналізу й моніторингу складу димових газів. Сучасні ТЕС оснащуються газоаналізаторами, які дозволяють постійно фіксувати концентрацію чотирьох основних забруднювачів — діоксиду сірки (SO_2), оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO) та пилу. Методи аналізу поділяються на лабораторні (хімічні, інструментальні, біологічні) та промислові. У промисловості найбільшого поширення набули фізико-хімічні методи, які дозволяють проводити точні вимірювання в режимі реального часу [23].

Таким чином, скорочення токсичних викидів ТЕС базується на поєднанні інженерно-технологічних рішень, системного моніторингу та дотримання екологічних стандартів. Впровадження сучасних методів очищення димових газів, оптимізація процесів горіння та високий рівень контролю дозволяють істотно зменшити навантаження на атмосферу й підвищити екологічну безпеку теплоенергетики.

1.4. Вплив Ладижинської ТЕС на стан навколишнього природного середовища в умовах збройної агресії РФ

На території Вінницької області нараховується 186 об’єктів підвищеної небезпеки, а щільність їх розміщення становить 19,3 об'єкта на тисячу квадратних кілометрів, що вказує на значне навантаження техногенного середовища. У рамках кваліфікаційної роботи було поставлено завдання проаналізувати рівень забруднення довкілля внаслідок впливу Ладижинської теплоелектростанції [3, 4].

На основі зібраних даних зроблено висновки про джерела забруднення, зокрема найбільшим таким джерелом є ВП «Ладижинська ТЕС» ПАТ «ДТЕК Західенерго», яка залишається основним забруднювачем атмосферного повітря в області. За оцінками, близько 60% усіх викидів від стаціонарних джерел припадає саме на цю електростанцію, причому 80% обсягу її викидів становить

сірчистий ангідрид – надзвичайно небезпечна речовина, що суттєво впливає на стан довкілля та здоров’я населення. Обсяг викидів зменшився головним чином через зниження виробництва електро- і теплової енергії, однак це зниження не змінило статус Ладижинської ТЕС як найбільшої екологічної загрози регіону. На підприємстві постійно проводяться роботи з екологічної безпеки: відновлюються електрофільтри, дотримуються вимоги щодо утримання золошлаковідвалу, досліджуються інноваційні методи очищення газів, а також розглядаються варіанти вторинного використання відходів у будівельній галузі. Санітарно-захисна зона довкола об'єктів виробництва витримується в межах 300 метрів, здійснюється контроль рівнів забруднення відповідно до погодженого графіка. Варто відзначити, що природно-техногенна безпека області визначається не лише діяльністю ТЕС, але й впливом переробної промисловості, комунального господарства, транспортної інфраструктури, машинобудування, поводженням з джерелами іонізуючого випромінювання, несанкціонованими звалищами та дією природних стихій. Проте саме Ладижинська ТЕС займає 14-у позицію в загальноукраїнському списку найбільших забруднювачів за обсягами викидів і є єдиним об’єктом Вінниччини, що увійшов до топ-100 екологічно небезпечних підприємств України. У наш час викиди від станції скоротились на 37,5% (на 58,5 тис. тонн), тоді як загальне зростання викидів від стаціонарних джерел по області склало 36 тис. тонн. Простежується тенденція до зменшення більшості забруднюючих речовин [4, 8].

Війна, розпочата повномасштабним вторгненням РФ в Україну, ще більше загострила ситуацію навколо критичної інфраструктури, зокрема енергетичних об’єктів. Ладижинська ТЕС, як стратегічно важлива енергетична структура, неодноразово потрапляла під загрозу ракетних обстрілів і атак дронів, що призводило до зупинок виробництва, пошкоджень систем фільтрації, зберігання відходів та обмежень у постачанні електроенергії в регіоні.

Однією з перших атак стала атака 10 жовтня 2022 року, коли російські війська здійснили масований ракетний обстріл енергетичної інфраструктури України. Цей напад став першим масштабним ударом по енергетичних об'єктах

країни з початку повномасштабного вторгнення. Ладижинська ТЕС була серед об'єктів, які зазнали пошкоджень унаслідок цієї атаки.

Наступна значна атака відбулася 22 березня 2023 року. Під час цієї масованої атаки російські війська випустили понад півтори сотні ракет і дронів по енергосистемі України. Внаслідок цього обстрілу всі енергоблоки Ладижинської ТЕС були пошкоджені, що призвело до втрати значної частини потужності станції.

Крім того, Ладижинська ТЕС зазнала атак з використанням іранських дронів-камікадзе Shahed-136. Зокрема, 19 жовтня 2022 року два такі дрони влучили по території станції, завдавши додаткових пошкоджень.

Всі ці атаки мали серйозні наслідки для енергетичної інфраструктури регіону. Пошкодження енергоблоків призвели до зниження виробничої потужності станції, що, у свою чергу, викликало перебої в електропостачанні для споживачів. Крім того, руйнування інфраструктури вимагало значних зусиль для відновлення та ремонту обладнання, що вплинуло на стабільність енергетичної системи України в цілому.

Також внаслідок таких подій підвищується не лише ризик техногенних аварій, але й ймовірність потрапляння в довкілля неочищених або недостатньо очищених шкідливих речовин, що ускладнює ситуацію з природоохоронною діяльністю. Окрім того, в умовах війни підприємству важче підтримувати регулярні ремонтні та профілактичні роботи, що у мирний час допомагали знижувати шкідливі викиди. Попри це, на сьогоднішній день робота ТЕС залишається необхідною для енергетичної безпеки країни, а баланс між екологією та обороноздатністю стає все більш складним викликом.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Природні умови регіону досліджень

Вінницька область розташована в межах лісостепової зони. Її північно-східна частина охоплює Придніпровську височину (з максимальною висотою 322 м), а південно-західна – Подільську височину, що піднімається до 362 м. Рельєф області представлений хвилястою рівниною, яка знижується на південь і південний схід, прорізаною глибокими річковими долинами, а місцями – ярами та балками [4].

У геоструктурному аспекті більша частина території області розташована на південно-західному краю Українського кристалічного щита, утвореного архейсько-протерозойськими метаморфічними породами. Лише південно-західна окраїна області лежить на Волино-Подільській плиті, де гірські породи перекриті товщею осадових відкладів молодшого віку.

Клімат у регіоні помірно континентальний, із м'якою зимою та теплим, вологим літом. Середні температури січня коливаються від -4 до -6 °C, а липня – від +18,6 до +20,5 °C. Протягом року випадає 520–590 мм опадів, причому близько 80% припадає на теплий період.

Місто Ладижин, що входить до складу Вінницької області, розміщується на правому березі Південного Бугу. Загальна площа міста становить 1804,2 га, з яких житлова зона займає 245,6 га. Природно-кліматичні особливості місцевості, де розташовано промислові об'єкти, є важливими чинниками, що впливають на поширення забруднюючих речовин.

У районі Ладижина зосереджено багаті поклади будівельної сировини – глини, піску, каоліну та граніту, що добуваються на чотирьох кар'єрах. Також як будівельний матеріал використовують шлак – відходи виробництва електроенергії. Агрокліматичні ресурси представлені родючими чорноземами й сірими лісовими ґрунтами, а в заплавах річок Південного Бугу та Собу – луговими ґрунтами.

Місто має забезпеченість водними ресурсами: річки Південний Буг, Сільниця, Соб, водосховище та свердловини підземних вод. Поєднання лісових масивів і водойм формує сприятливу санітарну зону.

За обсягами промислового виробництва Ладижин посідає друге місце в області після Вінниці. Основним підприємством, що визначає міський розвиток, є Ладижинська ТЕС, що належить ПАТ «ДТЕК Західенерго». Найбільшим джерелом забруднення повітря в місті є саме її виробнича діяльність.

2.2. Об’єкт досліджень

Ладижинська теплова електростанція (ТЕС) – головне промислове підприємство міста Ладижин, яке відіграє ключову роль у забезпеченні електро- та теплопостачання як місцевого населення, так і загальнодержавної енергетичної системи. Продукція підприємства, а саме електроенергія, є високоліквідним енергетичним ресурсом, що має сталий попит на ринку.

Будівництво Ладижинської державної районної електростанції (ДРЕС) розпочалося 26 квітня 1968 року в рамках державної програми розвитку енергетичної інфраструктури. Вже 18 січня 1972 року станція почала працювати на повну потужність. Вигідне географічне розташування на північному заході міста, поряд із річкою Південний Буг, дозволило створити зручну інфраструктуру для водозабезпечення та охолодження обладнання.

Станція займає площу близько 428 гектарів і має шість енергоблоків загальною потужністю 1800 МВт, що робить її однією з найбільших теплових електростанцій в Україні. На підприємстві працює понад 1200 працівників, забезпечуючи не лише виробництво електроенергії, а й стабільну зайнятість у регіоні. У складі енергетичного комплексу також функціонує мала гідроелектростанція (ГЕС), збудована ще в 1964 році, потужністю 7500 кВт, яка доповнює генеруючі потужності ТЕС.

Уся вироблена електроенергія надходить до об'єднаної енергосистеми України, сприяючи енергетичній безпеці країни. Окрім електроенергії, станція виробляє тепло, яке постачається майже всьому місту, покриваючи як потреби

житлового сектору, так і об’єктів соціальної інфраструктури. Ладижинська ТЕС (ЛТЕС) також забезпечує місто водопостачанням, виконуючи функції комплексного комунального підприємства [2].

З 1995 року Ладижинська ТЕС увійшла до складу ВАТ «Західенерго», а з 2012 року – до структури енергетичного холдингу ПАТ «ДТЕК Західенерго», що є частиною компанії ДТЕК, одного з найбільших енергетичних операторів в Україні.

За час своєї діяльності підприємство реалізувало низку масштабних програм модернізації. Зокрема, було проведено технічне переоснащення енергоблоків із метою підвищення їхньої ефективності, зниження витрат палива та зменшення рівня викидів шкідливих речовин в атмосферу. Один із ключових етапів модернізації – адаптація обладнання для використання альтернативних видів палива: окрім вугілля, станція нині має змогу працювати на природному газі, що значно знижує екологічне навантаження.

Особливу увагу на ЛТЕС приділяють питанням екології. У межах міжнародного партнерства фахівці станції тісно співпрацювали з американськими інженерами, впроваджуючи технології триступеневого спалювання вугілля, що дозволяє зменшити обсяги викидів оксидів азоту – одного з найбільш небезпечних для довкілля компонентів [8].

Завдяки комплексному підходу до модернізації, інноваційним технологіям та професіоналізму персоналу, Ладижинська ТЕС залишається важливою складовою енергетичної інфраструктури України та рушієм економічного розвитку регіону.

2.3. Схема досліду

1. Дослідження обсягів використання палива на Ладижинській ТЕС

Рік	**Вугілля**	**Природний газ**
2022	тонн	тис. м³
2023		
2024		

2. Визначення обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря у Вінницькій області

Показники	**2023 рік**	**2024 рік**
Загальна кількість викидів в атмосферу	тис. тонн	
– з них від пересувних джерел		
– з них від стаціонарних джерел забруднення		
Викиди діоксиду вуглецю (CO_2) від усіх джерел	млн тонн	

3. Визначення забруднюючих речовини атмосферного повітря Ладижинської ТЕС

Показник	**Частка викидів забруднюючої речовини**		
	усього викидів	до загального обсягу викидів об’єкту	до загального обсягу викидів (населенного пункту)
Тверді речовини	т/рік	%	
Діоксид сірки (SO_2)			
Оксид вуглецю (CO)			
Діоксид азоту (NO_2)			
Метан (CH_4)			
НМЛОС			
Всього			

2.4. Методика досліджень

Для ефективного регулювання впливу теплової енергетики на довкілля, зокрема на стан атмосферного повітря, на підприємствах, таких як Ладижинська ТЕС, впроваджуються комплексні заходи екологічного контролю за викидами шкідливих речовин. Одним із ключових елементів цієї системи є постійний моніторинг обсягів та складу забруднювальних речовин, що утворюються в

результаті процесів спалювання палива. Контроль здійснюється за допомогою фіксації як загального обсягу викидів, так і концентрацій окремих компонентів, таких як оксид вуглецю, оксиди азоту, діоксид сірки та зважені тверді частинки, недиференційовані за складом.

Отримані дані систематично порівнюються з нормативними показниками – гранично допустимими викидами (ГДВ) та технологічними нормативами, встановленими відповідно до чинного законодавства України. Особливе значення надається дотриманню вимог Закону України «Про охорону атмосферного повітря», а також умов дозволів на викиди, які видаються уповноваженими органами охорони довкілля. У випадку перевищення допустимих концентрацій аналізуються причини відхилень і вживаються коригувальні дії [10, 11].

Система моніторингу оснащена сучасними газоаналізаторами, які забезпечують вимірювання хімічного складу димових газів, швидкості їх потоку, температури й тиску. Це дає змогу привести показники до нормальних умов для порівняння з нормативами. Зокрема, для точного обліку обсягу викидів і концентрації речовин необхідно знати вміст кисню в димових газах, що дозволяє стандартизувати результати за встановленими умовами. Газоаналізатори комплектуються спеціалізованими шафами, встановленими в окремих приміщеннях, а датчики монтуються на ділянках газоходів за димососами. Для забезпечення високої точності вимірювань усі місця встановлення приладів надійно герметизуються [25].

Контроль за викидами не обмежується лише технічним моніторингом – також здійснюється облік і складання відповідної звітності, зокрема за формою № 2-ТП (повітря), що подається до органів державної статистики та екологічного нагляду. Зібрана інформація дозволяє не тільки виявляти тенденції в динаміці викидів, а й планувати екологічні заходи для зменшення негативного впливу на довкілля [5, 16].

Оцінювання впливу викидів на атмосферне повітря здійснюється за допомогою спеціалізованого розрахункового методу відповідно до офіційно

затвердженої методики ОНД-86 (розробленої Держкомгідрометом), з використанням ліцензованого програмного забезпечення «ЕОЛ-Плюс 5.23», яке рекомендовано Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. У рамках моделювання визначався прямокутник розрахункової території, розмірами 2000×2000 метрів, що відповідає вимогам щодо мінімального охоплення території – не менше 50 висот найвищого джерела викидів. При цьому розрахункова сітка мала крок 50 метрів, що дозволяє отримати деталізовану картину розсіювання забруднюючих речовин у повітрі [9, 12].

Виконані розрахунки враховували як фактичні обсяги викидів, отримані в результаті інвентаризації джерел забруднення, так і фонові концентрації забруднюючих речовин, що вже наявні в атмосферному повітрі. Такий підхід забезпечує об’єктивну оцінку впливу підприємства на навколишнє середовище та дозволяє визначити рівень екологічної безпеки території, прилеглої до Ладижинської ТЕС. У перспективі ці дані використовуються для оптимізації виробничих процесів, модернізації очисного обладнання та вдосконалення екологічної політики підприємства.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Джерела та механізми надходження шкідливих речовин в атмосферу під час роботи теплоелектростанцій

Оцінювання впливу Ладижинської теплоелектростанції на стан довкілля засвідчило наявність двох ключових джерел забруднення: золошлаконакопичувачів, які суттєво погіршують якість підземних вод, та газових викидів, що здійснюють тиск на атмосферне повітря. В умовах зростаючої урбанізації та індустріального навантаження на довкілля, ці фактори стають дедалі серйознішою загрозою для екологічної стабільності регіонів, прилеглих до об'єктів теплоенергетики. Така ситуація зумовлює необхідність розробки й реалізації комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на запобігання забрудненню повітряного басейну й підземних горизонтів, а також на забезпечення більш високого рівня екологічної безпеки.

Протягом останніх десятиліть у сфері екологічного управління утверджується системний підхід, що базується на поглибленому аналізі факторів ризику та переважному використанні технічних рішень, здатних ефективно стримувати або мінімізувати забруднення. Важливу роль у цьому процесі відіграє директива Європейського Союзу «Про інтегроване попередження забруднення та контроль», ухвалена ще 1996 року. Вона передбачає впровадження інтегрованої дозвільної системи, згідно з якою дозволи на викиди забруднюючих речовин в атмосферу, скиди у водні об’єкти чи розміщення відходів можуть надаватися лише після проведення екологічного аудиту. Під час такого аудиту визначається баланс забруднюючих речовин для кожного окремого виробничого процесу, аналізуються всі викиди, скиди й утворені відходи, а також здійснюється порівняння отриманих результатів з нормативними показниками найкращих доступних технологій. Додатково враховуються енергоефективність обладнання, ймовірність

виникнення аварій, визначаються запобіжні заходи, а також розробляється детальний план відновлення забруднених територій.

Оптимізація процесів екологічного управління передбачає не лише зниження шкідливих впливів, але й запровадження найбільш результативних методів регулювання, які дозволяють досягти високої ефективності з мінімальними витратами. Впровадження національних стандартів у сфері охорони навколишнього середовища також відіграє важливу роль у стимулюванні інноваційної діяльності, сприяючи технічному переоснащенню підприємств і стабілізації їх роботи. Орієнтація на екологічні вимоги змушує виробників адаптувати технології, вдосконалювати обладнання, знижуючи таким чином рівень техногенного навантаження.

Ціллю природоохоронної оптимізації є досягнення максимально можливого вилучення шкідливих речовин із техногенних потоків у межах певного проміжку часу. Особливо актуальним це завдання є для теплоенергетичних об’єктів, де рекомендовано впровадження високоефективних систем очищення, таких як електрофільтри, циклонні та мокрі пиловловлювачі. Оптимізаційне завдання в такому випадку полягає у виборі найкращих параметрів експлуатації цих систем. До того ж, поряд з активними технічними методами слід застосовувати й пасивні заходи – наприклад, встановлення протифільтраційних бар'єрів у місцях складування золошлакових відходів або зменшення їх обсягів за рахунок вторинної переробки вже накопичених матеріалів.

Ладижинська ТЕС у своїй діяльності використовує переважно кам’яне вугілля як основне паливо, а природний газ і мазут – як резервні та пускові енергоресурси (табл. 3.1). Основні поставки вугілля надходять із шахт підприємства "Павлоградвугілля", розташованого в Дніпропетровській області. Станція функціонує відповідно до енергетичного балансу країни й підключена до електричної мережі України за допомогою ліній електропередач напругою 330 кВ, які забезпечують живлення південних і центральних регіонів. Використовуваний антрацитовий штиб має теплоту згоряння на рівні

5089 ккал/кг, тоді як природний газ, який застосовується як альтернативне паливо, характеризується вищою теплотворною здатністю – 8276 ккал/м³. Газовий склад цього палива здебільшого представлений метаном (90,01 %), а також іншими вуглеводнями (етан, пропан, бутан, ізопентан, тощо) і домішками, серед яких азот (1,58 %), діоксид вуглецю (1,77 %) і незначна кількість кисню (0,004 %).

Таблиця 3.1

Обсяги використання палива на Ладижинській ТЕС у 2022–2024 роках

Рік	**Вугілля, тонн**	**Природний газ, тис. м³**
2022	538620	99242,26
2023	540073	97800, 41
2024	516010	88503, 68

Таким чином, джерела викидів Ладижинської ТЕС є комплексним екологічним викликом, який потребує системного вирішення через технічну модернізацію, посилення екологічного контролю, впровадження інтегрованих підходів до оцінки впливу, а також узгодження з європейськими практиками сталого розвитку енергетичного сектору.

Згідно з результатами інвентаризації джерел викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря, проведеної на Ладижинській теплоелектростанції, на її території функціонує понад 51 джерело утворення викидів. Серед них 41 джерело класифікується як організоване, тобто забезпечене спеціальними інженерними системами для контрольованого відведення шкідливих речовин, тоді як 10 джерел є неорганізованими, що характеризуються мимовільним або некерованим розповсюдженням забруднювачів у повітряне середовище. В процесі спалювання кам’яного вугілля на ТЕС до атмосфери потрапляє значна кількість оксидів сірки та азоту, зола, вуглекислий газ, оксид вуглецю, оксиди важких металів (зокрема свинцю,

ртуті, нікелю, хрому, міді), миш’як, а також парникові гази, серед яких одним із основних є метан. При використанні природного газу як палива також утворюються викиди, зокрема оксид вуглецю, діоксид азоту, ртуть, а також ті ж самі парникові сполуки – діоксид вуглецю та метан.

Актуальність проблеми забруднення атмосферного повітря, зокрема оксидами сірки та азоту, залишається високою, адже на етапі проєктування та будівництва Ладижинської ТЕС не передбачалося встановлення сучасних очисних систем для видалення цих шкідливих компонентів з димових газів. Це істотно ускладнює досягнення екологічної відповідності сучасним нормативам, оскільки саме ці речовини спричиняють низку серйозних наслідків для довкілля та здоров’я населення. У цьому контексті впровадження так званих "чистих вугільних технологій" є перспективним шляхом до зниження рівня забруднення. Такі технології дозволяють оптимізувати процеси спалювання викопного палива з одночасним зменшенням обсягу викидів. У країнах із розвиненою чи такою, що розвивається, економікою, де вугілля є доступним ресурсом, впровадження таких рішень може бути не лише екологічно доцільним, а й економічно вигідним.

Зазвичай при традиційному спалюванні палива в енергетичних установках утворюються шкідливі гази, які включають не лише газоподібні сполуки, а й тверді мікрочастинки та рідинні краплі. Усі ці продукти згоряння потрапляють в атмосферу через димові труби.

Варто зауважити, що кількісний та якісний склад викидів змінюється залежно від типу палива, що використовується в роботі теплоелектростанції. Це означає, що різні види пального створюють різний рівень екологічного навантаження. У зв’язку з цим подальший аналіз, представлений у таблицях 3.2 та 3.3, дозволяє порівняти властивості вугілля та обсяги викидів, що утворюються під час його спалювання, з метою глибшого розуміння масштабів забруднення й формування відповідних природоохоронних стратегій.

Таблиця 3.2

Теплові характеристики різних типів вугілля

Тип вугілля	Температура початкового викиду (°C)	Температура займання (°C)
Антрацит	700-800	380-400
Бітумне вугілля	400-500	200-300
Буре вугілля	250-450	130-170

У таблиці 3.2 представлено порівняльні теплотехнічні характеристики різних видів вугілля, які широко використовуються в енергетичній галузі. Зокрема, буре вугілля характеризується найнижчими показниками температури займання – в межах від 250 до 450°C, що свідчить про його високу легкозаймистість. Температура початкового викиду для цього типу палива коливається в діапазоні 130-170 °C. У свою чергу, бітумне вугілля має вищу температуру займання – від 400 до 500°C, а викиди починаються при температурі від 200 до 300°C, що вказує на більшу теплову стабільність порівняно з бурим. Найвищу температуру займання демонструє антрацит – від 700 до 800 °C, з температурою початкового викиду в межах 380-400 °C, що зумовлено його високою щільністю, низьким вмістом летких речовин та найвищою теплотою згоряння серед усіх видів твердого палива. Такі характеристики впливають не лише на процес горіння, але й на обсяг та склад викидів, що утворюються в результаті спалювання.

У таблиці 3.3 наведено порівняння рівнів емісії основних забруднювальних речовин під час спалювання антрациту та бурого вугілля. Зокрема, буре вугілля характеризується вищими викидами діоксиду вуглецю (101,000 г/ГДж проти 94,600 г/ГДж у антрациту), що свідчить про його меншу ефективність з екологічної точки зору. Значно вищими є також показники викидів діоксиду сірки – 1,361 г/ГДж для бурого вугілля порівняно з 765 г/ГДж для антрациту, що пов’язано з вищим вмістом сірки в бурому вугіллі. Навпаки, оксиди азоту в більшій кількості утворюються під час згоряння антрациту –

292 г/ГДж, тоді як для бурого вугілля цей показник становить 183 г/ГДж. Рівень викидів чадного газу є однаковим для обох видів палива – 89,1 г/ГДж. Щодо твердих частинок, їх концентрація у викидах бурого вугілля суттєво вища (3,254 г/ГДж), ніж у антрациту (1,203 г/ГДж). Таким чином, антрацит загалом є менш забруднювальним видом вугілля, за винятком дещо вищих викидів оксидів азоту.

Таблиця 3.3

Показники емісії забруднювальних речовин під час згоряння антрациту й бурого вугілля, г/ГДж

Тип вугілля	**Забруднювач**				
	CO_2	SO_2	NO_X	CO	тверді частинки
Антрацит	94,600	765	292	89,1	1,203
Буре вугілля	101,000	1,361	183	89,1	3,254

Рівень забруднення приземного шару атмосфери визначається концентрацією шкідливих домішок, що залежить від ряду технологічних чинників: температури та об’єму газоповітряної суміші, вмісту домішок у викидах, а також параметрів джерела викиду, таких як його діаметр і висота. Крім того, суттєвий вплив мають метеорологічні умови – напрям і швидкість переважаючих вітрів, температура й вологість повітря, географічне положення джерела, наявність туманів, атмосферних інверсій, кількість опадів тощо. Взаємодія цих факторів визначає мікрокліматичні умови в зоні розташування теплоенергетичних об’єктів.

Оцінювання екологічного впливу Ладижинської теплоелектростанції підтверджує наявність значного техногенного навантаження на довкілля, зумовленого як газоподібними викидами в атмосферу, так і забрудненням підземних вод через золошлакові накопичувачі. Основним джерелом цього навантаження є використання кам’яного вугілля, зокрема антрациту, що, хоча й

має вищу теплотворну здатність і нижчі викиди твердих частинок і сірчаних сполук порівняно з бурим вугіллям, все ж спричиняє значні емісії парникових газів, оксидів азоту та важких металів.

Ладижинська ТЕС функціонує в умовах недостатньої оснащеності сучасними системами очищення, що істотно знижує її екологічну ефективність. Водночас наявність понад 50 джерел викидів, частина з яких є неорганізованими, лише підсилює проблему, створюючи ризики для здоров'я населення та навколишнього середовища.

З огляду на сучасні виклики, першочерговим завданням є модернізація виробничих процесів відповідно до стандартів ЄС, зокрема з урахуванням принципів інтегрованого попередження забруднення. Це передбачає впровадження найкращих доступних технологій, високоефективних систем очищення викидів, повторне використання відходів і посилення контролю за джерелами забруднення. Особливу увагу варто приділити застосуванню "чистих вугільних технологій", які дають змогу знизити рівень викидів без повної відмови від вугілля як ресурсу.

Таким чином, екологічна трансформація Ладижинської ТЕС є ключовим кроком до зменшення техногенного навантаження, підвищення рівня екологічної безпеки регіону та гармонізації енергетичної політики України з європейськими екологічними стандартами.

3.2. Аналіз впливу викидів забруднюючих речовин Ладижинською ТЕС на стан атмосферного повітря

Вінницька область, переважно аграрного спрямування, за даними 2023 року посідає 6-те місце в Україні за обсягами викидів від стаціонарних джерел, що становить 3,5% від загальноукраїнських показників. За щільністю викидів на 1 км² область перебуває на 10-му місці (5,6 т/км²), а за обсягами викидів у розрахунку на одного мешканця – на 8-му місці (94,4 кг).

Середня щільність викидів від стаціонарних джерел у межах області становила 5,644 т/км². Найвищі показники зафіксовані у місті Ладижин –

1407,4 т/км², та у місті Козятин – 71,8 т/км². У перерахунку на одну особу, в середньому по області припадало 92,2 кг викидів, тоді як у Ладижині цей показник сягав 5186,4 кг/особу, а в Козятині – 34,2 кг/особу.

Головним джерелом викидів дрібнодисперсних аерозольних частинок в області є Ладижинська ТЕС та її золошлаковідвал. Станція продукує близько 78% усіх викидів від стаціонарних джерел у регіоні та забезпечує 41% від загального обсягу викидів забруднюючих речовин.

На території підприємства функціонує 13 одиниць газоочисного обладнання, зокрема 12 електрофільтрів і 1 циклон. Усе обладнання має відповідну паспортизацію та зареєстроване згідно з чинними нормативами.

Додатковим вагомим джерелом пилового (аерозольного) забруднення на території Тростянецького району є золошлаковідвал Ладижинської ТЕС (рис. 3.1) [21].

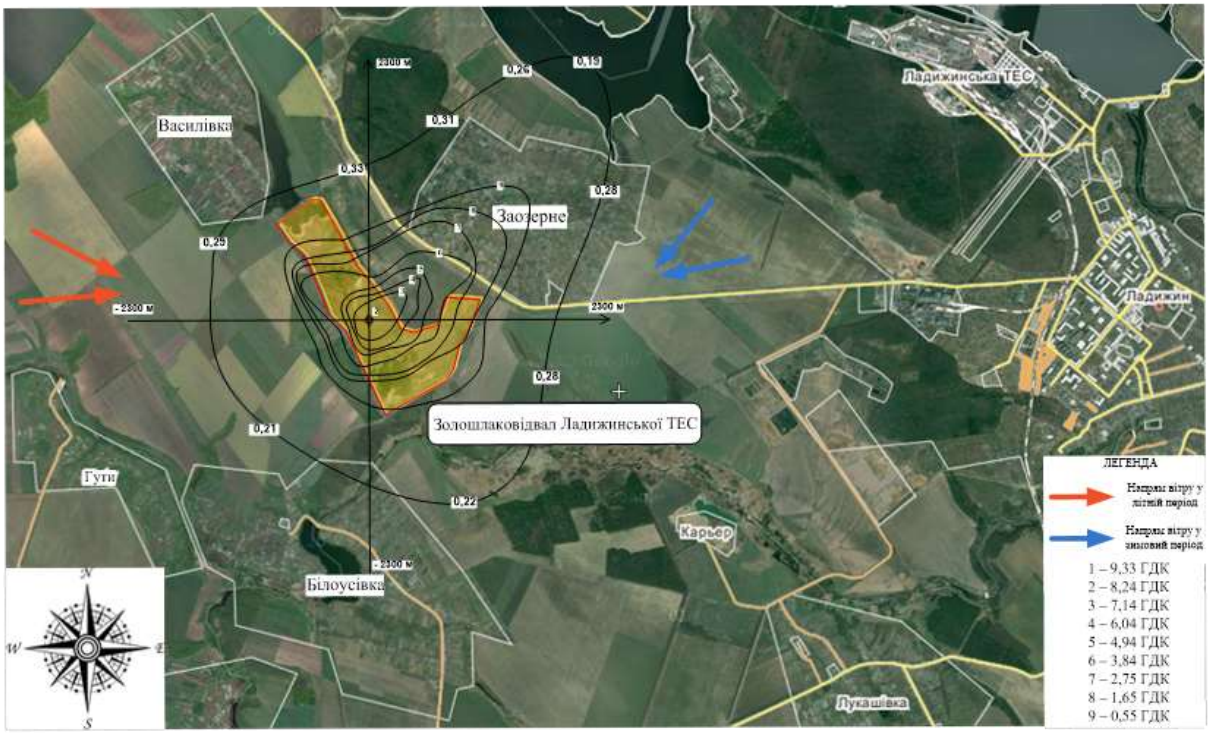


Рис. 3.1. Карта розсіювання аерозольних та пилових частинок з поверхні золошлаковідвалу ЛТЕС

Основний негативний вплив цього об’єкта полягає у вивітрюванні з поверхні частинок золи та ценосфер – порожнистих мікрогранул з

алюмосилікатів, що формуються в процесі високотемпературного факельного спалювання вугілля. Розміри цих частинок коливаються в межах від 1 до 100 мкм, що сприяє їхній легкій міграції в повітряному середовищі та проникненню в дихальні шляхи людини.

За результатами розрахунків, проведених лабораторією ПП «Інтер-Еко», річний обсяг дрібнодисперсного пилу, який вивітрюється з поверхні золошлаковідвалу Ладижинської ТЕС, становить 138,506 тонн на рік.

У таблицях 3.4–3.6 детально подано обсяги забруднюючих речовин, що потрапили до атмосферного повітря Вінницької області від стаціонарних та пересувних джерел забруднення. Ці дані дозволяють проаналізувати структуру та динаміку викидів у розрізі окремих джерел, речовин та адміністративно-територіальних одиниць.

У таблиці 3.4 наведено динаміку обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря Вінницької області за 2023 та 2024 роки. Дані свідчать про зменшення рівня забруднення повітря в регіоні в умовах війни.

Таблиця 3.4

Обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря у Вінницькій області

Показники	2023 рік	2024 рік
Загальна кількість викидів в атмосферу, тис. тонн	180,1	176,3
– з них від пересувних джерел, тис. тонн	81,6	79,1
– з них від стаціонарних джерел забруднення, тис. тонн	98,5	97,2
Викиди діоксиду вуглецю (CO_2) від усіх джерел, млн тонн	7,7	6,8

У 2024 році загальний обсяг викидів становив 176,3 тис. тонн, що на 3,8 тис. тонн менше, ніж у 2023 році (180,1 тис. тонн). Це зниження на понад

2,1% можна пов’язати з загальним економічним спадом, скороченням промислової активності та частковим простоєм окремих виробничих підприємств унаслідок повномасштабної агресії Росії.

Викиди від стаціонарних джерел – переважно промислових підприємств – скоротилися з 98,5 до 97,2 тис. тонн. Це зниження на 1,3% може свідчити як про зменшення обсягів виробництва, так і про перебої в роботі великих об’єктів інфраструктури, зокрема енергетичного сектору, які зазнавали обстрілів або втратили стабільні постачання сировини.

Викиди від пересувних джерел (транспортні засоби) також зменшилися – з 81,6 до 79,1 тис. тонн. Це може бути результатом обмеженого використання цивільного транспорту, зміни логістичних маршрутів, зниження споживання пального, а також зростання частки військового транспорту, що не завжди враховується в офіційній статистиці.

Особливо показовим є скорочення викидів діоксиду вуглецю (CO_2) з 7,7 млн тонн до 6,8 млн тонн. Зниження викидів цього парникового газу відображає як уповільнення промислової та енергетичної активності, так і загальну трансформацію економіки в умовах війни.

Отримані дані свідчать про те, що повномасштабна війна, попри руйнівний вплив на економіку, призвела до скорочення промислових та транспортних викидів у Вінницькій області. Проте таке "поліпшення" екологічної ситуації є побічним і вимушеним наслідком воєнного стану, а не результатом системної природоохоронної політики.

У таблиці 3.5 подано рівень річних викидів основних забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у 2023 та 2024 роках у тис. тонн, а також частку кожної речовини у загальному обсязі викидів. Найбільшу частку традиційно складають сполуки сірки, які у 2023 році становили 61,0 % загального обсягу викидів, а в 2024 році – вже 60,6%. Такий показник зумовлений переважанням у регіоні енергетичних підприємств, що використовують сірковмісне паливо.

Таблиця 3.5

Рівень річних викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у Вінницькій області

Рік	Оксид вуглецю (тис. т / % до підсумку)	Тверді частинки (тис. т / % до підсумку)	Сполуки азоту (тис. т / % до підсумку)	Метан (тис. т / % до підсумку)	Сполуки сірки (тис. т / % до підсумку)
2023	4,8 / 4,9%	7,6 / 7,7%	10,5 / 10,7%	14,6 / 14,8%	61,0 / 61,9%
2024	4,5 / 4,6%	7,5 / 7,7%	10,2 / 10,5%	14,4 / 11,8%	60,6 / 62,3%

Інші речовини мають стабільні або незначно змінені показники. Зокрема, викиди метану дещо зменшилися: з 14,6 тис. тонн (14,8%) у 2023 році до 14,4 тис. тонн (11,8%) у 2024 році.

Таблиця 3.6

Середньорічні концентрації забруднюючих речовин у місті Вінниця, мг/м^3

Показник	ГДК (максимально разова)	ГДК (середньодобова)	2023	2024
Пил	0,15	0,5	0,15	0,13
Діоксид сірки (SO_2)	0,5	0,05	0002	0,001
Оксид вуглецю (CO)	5	3	1,8	1,5
Діоксид азоту (NO_x)	0,085	0,04	0,023	0,023
Фтористий водень (HF)	0,02	0,005	0,005	0,005
Аміак (NH_3)	0,2	0,04	0,012	0,011
Формальдегід	0,035	0,003	0,006	0,005

Викиди сполук азоту також зазнали незначного зниження, проте їх частка в загальному обсязі зберігається на рівні понад 10%. Тверді частинки мають тенденцію до зменшення – з 7,6 до 7,5 тис. тонн, що може свідчити про деяке покращення фільтраційних систем на підприємствах або зменшення обсягів виробництва.

Обсяги оксиду вуглецю практично не змінилися, але в структурі загального забруднення його частка залишається помірною – близько 5 %. Загалом таблиця демонструє тенденцію до зниження викидів за більшістю компонентів, що може бути зумовлено впливом воєнного стану, зменшенням промислової активності та частковим простоєм виробництв.

Основним джерелом забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсними частинками (аерозолями) у Вінницькій області є Ладижинська ТЕС ВАТ «Західенерго», розташована в місті Ладижин.

У таблиці 3.7 наведено основні забруднюючі речовини, що потрапляють в атмосферу з ЛТЕС.

Таблиця 3.7

Основні компоненти викидів в атмосферу внаслідок діяльності Ладижинської ТЕС

Забруднююча речовина	**Загальний обсяг викидів, т/рік**	**Частка викидів у межах підприємства, %**	**Частка у загальному обсязі викидів населеного пункту, %**
НМЛОС	16,0	0,01	0,01
Тверді речовини	8224,2	7,0	6,6
Діоксид сірки	99028,6	83,8	79,1
Оксид вуглецю	780,6	0,7	0,6
Метан	123,069	0,1	0,1
Діоксид азоту	9855,9	8,4	7,9
Всього	118137,1	100,0	94,3

У таблиці 3.7 наведено перелік основних забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферу в результаті експлуатації Ладижинської теплоелектростанції. Загальний обсяг викидів становить 118137,1 тонн на рік, з яких найбільшу частку займає діоксид сірки – понад 83,8 % від усіх викидів підприємства та 79,1 % від загального обсягу викидів у межах населеного пункту. Значний внесок також мають тверді речовини (7,0 % і 6,6 % відповідно) та діоксид азоту (8,4 % і 7,9 %). Інші речовини, зокрема оксид вуглецю, метан та нелеткі метано- та етановмісні органічні сполуки (НМЛОС), мають відносно незначну частку, проте все одно є важливими з точки зору впливу на якість повітря та довкілля.

Такий розподіл свідчить про домінування викидів оксидів сірки в структурі забруднення, що характерно для теплоелектростанцій, які працюють на вугіллі. Це потребує особливої уваги до вдосконалення систем газоочистки та контролю викидів, з метою зменшення негативного впливу на атмосферне повітря як у локальному, так і регіональному масштабі.

Отже, загальний рівень забруднення атмосферного повітря в області дещо зменшився. Спостерігається незначне зниження викидів CO_2, що свідчить про спад промислової активності. У місті Вінниця середньорічні концентрації основних забруднювачів залишаються в межах ГДК, із незначною позитивною динамікою. Загалом покращення екологічної ситуації має вимушений характер і пов’язане з впливом війни, а не з цілеспрямованими природоохоронними заходами.

3.3. Обґрунтування модернізації Ладижинської ТЕС в умовах воєнного стану

Повномасштабна війна в Україні суттєво змінила підходи до функціонування енергетичної системи держави. У цих умовах Ладижинська ТЕС продовжує відігравати ключову роль у забезпеченні стабільного теплопостачання та виробництва електроенергії в регіоні. Проте, з огляду на застаріле обладнання, високі викиди забруднюючих речовин і потребу у

підвищенні енергоефективності, модернізація станції стає нагальною необхідністю.

Зниження промислової активності під час війни лише тимчасово зменшило екологічне навантаження. Однак без системних змін ситуація повернеться до критичного рівня вже в період післявоєнного відновлення. Саме тому модернізація Ладижинської ТЕС повинна стати частиною стратегії відновлення енергетики країни за сучасними, екологічно безпечними стандартами.

Пропонується впровадження технології циркулюючого киплячого шару (ЦКШ) як сучасного методу спалювання твердого палива, який забезпечує високу ефективність згорання, суттєве зниження викидів оксидів азоту та сірки, а також оптимізацію витрат на експлуатацію. В умовах воєнного дефіциту ресурсів ця технологія є особливо актуальною, оскільки дозволяє працювати на низькосортному вугіллі та не потребує дорогих імпортних систем очищення газів.

Проєкт передбачає встановлення нового котла з ЦКШ на території діючої інфраструктури станції, що мінімізує витрати й пришвидшує реалізацію. Очікується, що новий блок забезпечить безперебійну роботу протягом 11 місяців на рік, задовольняючи потреби населення та критичної інфраструктури в енергії.

Окрім зниження викидів в атмосферу, модернізація також дозволить частково вирішити проблему утилізації золошлакових відходів, які є небезпечними для довкілля. Таким чином, оновлення Ладижинської ТЕС відповідає сучасним вимогам енергонезалежності, екологічної безпеки та економічної доцільності в умовах війни та післявоєнної відбудови.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено результати дослідження екологічного впливу викидів Ладижинської ТЕС на стан атмосферного повітря.

1. Доведено, що Ладижинська ТЕС є потужним джерелом техногенного навантаження на довкілля, що зумовлено як викидами в атмосферу (понад 51 джерело, з яких 10 – неорганізовані), так і забрудненням підземних вод через золошлаконакопичувачі. Основне паливо – антрацитовий штиб з теплотою згоряння 5089 ккал/кг, з щорічним споживанням понад 500 тис. тонн. У 2024 році використано 516 010 тонн вугілля та 88 503,68 тис. м³ природного газу.

2. Порівняльний аналіз показує, що антрацит виділяє 94600 г/ГДж CO_2, 765 г/ГДж SO_2, 292 г/ГДж NO_x, тоді як буре вугілля – значно більше: 101000 г/ГДж CO_2 та 1 361 г/ГДж SO_2. Водночас антрацит демонструє нижчі викиди твердих частинок – 1,203 г/ГДж проти 3,254 г/ГДж у бурого вугілля.

Відсутність сучасних фільтрів знижує екологічну ефективність. Необхідне впровадження очисних технологій і адаптація до стандартів ЄС.

3. Аналіз даних за 2023–2024 роки свідчить про суттєвий вплив Ладижинської ТЕС на стан атмосферного повітря Вінницької області. Ладижинська ТЕС забезпечує 78 % викидів від стаціонарних джерел області та 41 % загального обсягу викидів забруднюючих речовин. Основну частку у структурі викидів становить діоксид сірки — 99028,6 тонн на рік, або 83,8 % викидів підприємства, та 79,1 % від загальних викидів населеного пункту. Значний внесок мають також тверді речовини (8224,2 т/рік) і діоксид азоту (9855,9 т/рік). Вплив посилюється золошлаковідвалом, з поверхні якого щороку вивітрюється 138,506 тонн дрібнодисперсного пилу.

4. Зафіксовано загальне зниження обсягів викидів з 180,1 до 176,3 тис. тонн у 2024 році, а також зменшення викидів CO_2 з 7,7 до 6,8 млн тонн. Такі зміни зумовлені не природоохоронною діяльністю, а переважно скороченням виробничої активності внаслідок воєнного стану.

Ладижинська ТЕС залишається критичним чинником локального екологічного навантаження, що потребує постійного моніторингу, оновлення

очисного обладнання та комплексного перегляду природоохоронних стратегій на регіональному рівні.

5. Повномасштабна війна актуалізувала потребу модернізації Ладижинської ТЕС, яка залишається критичним енергогенеруючим об’єктом регіону. Попри тимчасове зниження викидів, застаріле обладнання та високий рівень забруднення вимагають переходу до екологічно безпечних технологій. Впровадження котла з циркулюючим киплячим шаром дозволить зменшити викиди SO_2 і NO_x, працювати на низькосортному вугіллі та забезпечити сталу енергоподачу навіть в умовах воєнного часу.

ПРОПОЗИЦІЇ

В умовах зростання навантаження на електростанції у зв’язку з пошкодженням енергетичної інфраструктури необхідно забезпечити постійний моніторинг якості повітря, модернізувати очисні системи та оновити екологічні нормативи відповідно до змінених умов експлуатації. Створення захисних зелених зон, проведення досліджень впливу викидів на населення та залучення громади до екологічного контролю є важливим для підвищення рівня екологічної стійкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаменко Я. О. Оцінка впливів на навколишнє середовище: навч. посіб. для студентів ВНЗ. Івано-Франківськ: Супрун В. П. [вид.], 2014. 283 с.
2. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. К.: Політехніка, 2003. 232 с.
3. Дегодюк Е.Г., Дегодюк С.Е. Еколого-техногенна безпека України. Київ: ЕКМО, 2006. 306 с.
4. Департамент агропромислового розвитку, екології та природних ресурсів Вінницької ОДА. Щорічна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області за 2019 рік. Вінниця, 2020. 148 с.
5. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (ДСП-201-97). МОЗ, Київ, 1997.
6. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. К.: Знання, 2007. 422 с.
7. Екологічна і природно-техногенна безпека України в регіональному вимірі / М.А. Хвесик та ін. Київ: Ін-т економіки природокористування, 2014. 339 с.
8. Екологічний паспорт Ладижинської ТЕС за 2021 рік [Електронний ресурс] / ДТЕК Західенерго. Режим доступу– https://dtek.com
9. ЕОЛ-Плюс 5.23 – програмний комплекс для моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері.
10. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-XII
11. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». ВВР, 1991, № 41. 546 с.
12. Кліменко М.О. Моніторинг довкілля. К.: Академія, 2006. 360 с.
13. Кондратюк Є.І., Мороз С.П. Екологічна безпека в енергетиці. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 312 с.

14. Кулик М.П. Аналіз екологічної небезпеки об’єктів теплової енергетики. Вісник ІАУ. 2014. №2. С. 253–258.
15. Кучерявий В. П. Урбоекологія: Підручник. Львів: Світ, 2001 440 с.
16. Клименко М. О. Моніторинг довкілля: Підручник. К.: Видавничий центр “Академія”, 2006. 360 с.
17. Маляренко В.А. Енергетичні установки і навколишнє середовище. Харків: ХНАМГ, 2002. 398 с.
18. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження. Харків: Рубікон, 2004. 368 с.
19. Непошивайленко Н.О., Лупіна А.Г. Дослідження впливу техногенних факторів. Екологічні науки, 2019. Вип. 1(24), т. 1. С. 45–52.
20. Офіційні повідомлення ОК «Південь» та ДСНС України. [Електронний ресурс]. Режим доступу – https://dsns.gov.ua
21. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики. [Електронний ресурс]. Режим доступу – https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol28/5jacishin.pdf
22. Романенко Л.М. Газоочисні установки ТЕС. Харків: УкрЕНІ, 2016. 198 с.
23. Троянський О.І., Дашковський О.А. Моніторинг якості повітря. Житомир: Волинь, 2004. 160 с.
24. Чижевський П.В. Промислова екологія. К.: Центр учбової літератури, 2019. 264 с.
25. ДСТУ ISO 4225:2003. Якість повітря. Загальні терміни та визначення.
26. Bright Hub Engineering: [Електронний ресурс]. Режим доступу – https://www.brighthubengineering.com/power-plants/23734-pollutants-from-a-coal-fired-power-plant/
27. GHG Institute: [Електронний ресурс]. Режим доступу – https://ghginstitute.org/2010/06/15/what-are-greenhouse-gases/
28. Kuzomin O., Ahmad M.A., Kots H., Lyashenko V., Tkachenko M. Preventing of technogenic risks. IJCIET, 2016. Vol.7(3), P. 262–270.

29. Padarev N.I. The impact of technogenic accidents. Security & Future, 2018. Vol. 2(4), P. 176–179.
30. Pokale W.K. Effects of thermal power plant on environment. Scientific Reviews and Chemical Communications, 2012. 124 p.

ДОДАТКИ