

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕКОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 101 «Екологія»

“Допускається до захисту”
Зав. кафедри безпеки життєдіяльності
доцент В.В. Скиба
“ 5 ” листопада 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ЕКОЛОГІЧНА ДІАГНОСТИКА ТА СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ
МІНІМІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ КОМУНАЛЬНОЇ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ МАЛИХ МІСТ

Виконав:
Дробеня Ольга Ігорівна

Керівник: доктор с.-г. наук
професор О.І. Розпутній

Рецензент:
професор В.С. Бітюцький

*Я, Дробеня Ольга Ігорівна, засвічую, що кваліфікаційну роботу
виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.*

Біла Церква - 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	
1.1. Теплоенергетичні комплекси та їх екологічне значення.....	11
1.2. Класифікація викидів та їх трансформація в атмосфері.....	14
1.3. Комплексні екологічні наслідки діяльності ТЕЦ.....	18
1.4. Заходи, спрямовані на зниження негативного впливу енергетичних комплексів на довкілля.....	24
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА	
2.1. Кліматичні особливості міста Монастирище в умовах сучасного клімату.....	27
2.2. Загальні відомості про КП "Теплокомуненерго".....	28
2.3. Методологічні засади дослідження.....	32
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
3.1. Енергетичний профіль діяльності КП "Теплокомуненерго".....	35
3.2. Аналіз паливної сировини КП "Теплокомуненерго".....	38
3.3. Екологічний вплив та управління викидами поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ).....	41
3.4. Кількісний аналіз вмісту мікроелементів в атмосферному повітрі в зоні впливу КП "Теплокомуненерго".....	43
3.5. Визначення категорії небезпечності та встановлення санітарно-захисної зони КП "Теплокомуненерго".....	46
3.6. Рівень забруднення атмосферного повітря в житлових масивах міста Монастирище викидами КП «Теплокомуненерго».....	51
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПРОПОЗИЦІЇ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Екологічний факультет
Спеціальність: 101 «Екологія»

Затверджую
Гарант ОП «Екологія»
доцент Скиба В.В.
« 10 » лютого 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачу

Дробеня Ольга Ігорівна
прізвище, ім'я та по батькові

Тема: **ЕКОЛОГІЧНА ДІАГНОСТИКА ТА СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ
МІНІМІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ КОМУНАЛЬНОЇ
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ МАЛИХ МІСТ**

Затверджено наказом ректора № 543/С від « 12 » лютого 2025 р.

Термін здачі здобувачам готової кваліфікаційної роботи в деканат:

до « 6 » 12 2025 р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані:

1. Опрацювати не менше 40 літературних джерел (підручники, вісники, журнали, наукові статті, звіти екологічної інспекції тощо) стосовно теми роботи та написати розділ "Огляд літератури".
2. Опрацювати розділ "Матеріали та методика" випускної роботи.
3. Узагальнити наукові основи та проблеми впливу теплоенергетичних підприємств на атмосферу;
4. Визначити кількісний та якісний склад забруднюючих викидів;
5. Проаналізувати методологічну базу, зокрема, провести розрахунок категорії небезпечності КП "Теплокомуненерго";
6. Здійснити порівняльну оцінку фактичних рівнів забруднення атмосферного повітря в житлових масивах міста з Гранично Допустимими Концентраціями (ГДК);

7. На основі отриманих результатів сформулювати висновки та розробити конкретні пропозиції щодо впровадження екологічно обґрунтованих заходів та технологій.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	01. 10. 2025 р.	Виконано
Методична частина	15. 10. 2025 р.	Виконано
Дослідницька частина	01. 11. 2025 р.	Виконано
Оформлення роботи	15. 11. 2025 р.	Виконано
Перевірка на плагіат	01. 12. 2025 р.	Виконано
Подання на рецензування	10. 12. 2025 р.	Виконано
Попередній розгляд на кафедрі	05. 12. 2025 р.	Виконано

Керівник кваліфікаційної роботи, професор



Розпутній О.І.

Здобувач



Дробеня О.І.

Дата отримання завдання «07» листопада 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Дробеня Ольга Ігорівна

ЕКОЛОГІЧНА ДІАГНОСТИКА ТА СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ МІНІМІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ МАЛИХ МІСТ

Кваліфікаційна робота присвячена оцінці впливу комунальної теплоенергетики на стан атмосферного повітря малого міста на прикладі КП «Теплокомуненерго» м. Монастирище. У роботі проаналізовано фактичне техногенне навантаження, що формується під час спалювання вугілля та природного газу, і визначено його відповідність чинним санітарним та екологічним нормативам.

Метою дослідження було оцінити викиди теплоенергетичного підприємства та обґрунтувати практичні заходи для зменшення їх негативного впливу на повітряне середовище міста.

Для досягнення мети використано методи аналітичної екології, розрахунок розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери та визначення меж санітарно-захисної зони з урахуванням багаторічної рози вітрів. Основні викиди підприємства – оксиди сірки, азоту, вуглецю та завислі речовини – класифіковано за ступенем небезпечності та оцінено з погляду впливу на умови проживання населення.

На основі розрахунків і польових спостережень встановлено, що викиди КП «Теплокомуненерго» формують підвищене навантаження на атмосферне повітря міста. Найвищі концентрації забруднюючих речовин виявлено в житлових кварталах, розташованих з підвітряного боку котельні, що вказує на потребу уточнення меж санітарно-захисної зони.

За результатами дослідження запропоновано технічні та організаційні заходи для зменшення викидів: удосконалення систем очищення димових газів, підвищення енергоефективності котелень і поступове розширення використання альтернативних видів палива, зокрема біомаси. Робота містить 58 сторінки, 8 таблиць, 4 рисунки та список використаної літератури із 57 джерел.

Ключові слова: комунальна теплоенергетика, атмосферне повітря, забруднюючі речовини, санітарно-захисна зона, екологічна діагностика, техногенне навантаження, малі міста.

ANNOTATION

Olha DROBIENIA

ECOLOGICAL DIAGNOSTICS AND STRATEGIC DIRECTIONS FOR MINIMIZING THE NEGATIVE IMPACT OF MUNICIPAL HEAT ENERGY FACILITIES ON THE ATMOSPHERIC AIR OF SMALL TOWNS

The qualification thesis is devoted to the assessment of the impact of municipal heat energy facilities on atmospheric air quality in a small town, using the municipal enterprise “Teplokomunenergo” in Monastyryshche as a case study. The paper analyzes the actual technogenic load caused by coal and natural gas combustion and evaluates its compliance with current sanitary and environmental standards.

The purpose of the study was to assess the emissions of the heat energy enterprise and to substantiate practical measures aimed at reducing their negative impact on the urban air environment.

The research is based on methods of analytical ecology, calculations of pollutant dispersion in the surface air layer, and determination of the sanitary protection zone with regard to long-term wind rose data. The main emissions of the enterprise – sulfur, nitrogen and carbon oxides, as well as suspended particles – were classified by hazard level and assessed in terms of their impact on local living conditions.

Based on calculations and field observations, it was found that the emissions of the enterprise create an increased load on the atmospheric air of the town. The highest pollutant concentrations were recorded in residential areas located downwind of the boiler house, which indicates the need to clarify the sanitary protection zone boundaries.

The study proposes a set of technical and organizational measures to reduce emissions, including improvement of flue gas cleaning systems, improving energy efficiency of boiler facilities and gradually expanding the use of alternative fuels, particularly biomass.

The qualification paper consists of 58 pages, 8 tables, 4 figures, and 57 references.

Key words: municipal heat energy, atmospheric air, pollutants, sanitary protection zone, ecological diagnostics, technogenic load, small towns.

ВСТУП

Актуальність теми. Комунальна теплоенергетика є критично важливим сектором для забезпечення життєдіяльності, опалення, гарячого водопостачання та стабільної роботи соціальної інфраструктури, що має стратегічне практичне значення для малих міст. Разом із тим ця галузь залишається одним із найбільших джерел антропогенного навантаження на довкілля. На відміну від великих промислових центрів із дифузним забрудненням, у малих містах вплив локалізованих котелень є концентрованим, особливо коли обладнання морально і фізично застаріле.

Для міста Монастирище ця проблема є надзвичайно відчутною, оскільки потужності КП «Теплокомуненерго» розміщені в безпосередній близькості до житлової забудови. Підприємство використовує біпаливний енергетичний профіль, спалюючи як природний газ, так і вугілля. Унаслідок цього в атмосферне повітря надходять значні обсяги оксидів сірки, оксидів азоту, оксиду вуглецю, твердих завислих частинок, а також специфічних високотоксичних сполук, зокрема поліциклічних ароматичних вуглеводнів (бенз(а)пірену) та мікроелементів важких металів. За таких умов виникає гостра необхідність переходу від загального теоретичного опису проблеми до проведення глибокої екологічної діагностики реального стану повітряного середовища в зоні впливу підприємства та оптимізації його санітарно-захисної зони (СЗЗ) з урахуванням місцевих метеорологічних умов.

Мета кваліфікаційної роботи – провести комплексну екологічну діагностику впливу діяльності КП «Теплокомуненерго» м. Монастирище на стан атмосферного повітря та обґрунтувати науково-практичні стратегічні заходи для мінімізації цього негативного впливу.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання дослідження**:

1. Узагальнити наукові основи та екологічні проблеми впливу теплоенергетичних підприємств на атмосферне повітря малих міст.

2. Визначити кількісний та якісний склад забруднюючих речовин, що генеруються внаслідок використання різних видів паливної сировини.
3. Провести розрахунок категорії небезпечності КП «Теплокомуненерго» та обґрунтувати розміри санітарно-захисної зони з урахуванням рози вітрів.
4. Здійснити порівняльну оцінку фактичних рівнів забруднення атмосферного повітря в житлових масивах міста з нормативними показниками гранично допустимих концентрацій (ГДК).
5. Розробити конкретні пропозиції та стратегічні напрями щодо впровадження екологічно обґрунтованих заходів і технологій для зниження техногенного навантаження.

Об'єкт дослідження – стан атмосферного повітря в зоні впливу комунального підприємства «Теплокомуненерго» м. Монастирище.

Предмет дослідження – викиди забруднюючих речовин від котелень теплоенергетичної централі, процеси їх розсіювання в приземному шарі атмосфери та ступінь впливу на житлову забудову міста.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що для умов міста Монастирище вперше проведено комплексну екологічну діагностику впливу конкретного теплоенергетичного об'єкта з урахуванням його біпаливного профілю. Уточнено просторовий розподіл забруднюючих речовин та науково обґрунтовано необхідність коригування асиметричних меж санітарно-захисної зони на основі локальних метеорологічних параметрів.

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані розрахунки та результати моделювання забезпечують органи місцевого самоврядування та керівництво підприємства об'єктивними даними для прийняття управлінських рішень. Напрацьовані рекомендації можуть бути використані під час офіційного уточнення меж санітарно-захисної зони, планування цільових природоохоронних заходів, а також підготовки інвестиційних проєктів щодо модернізації котельного обладнання та газоочисних систем.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Теплоенергетичні комплекси та їх екологічне значення

Теплоенергетичні комплекси становлять основу сучасної енергетичної інфраструктури, забезпечуючи потреби населення та промисловості в електроенергії й теплі. Вони виконують стратегічну функцію в економічній стабільності та соціальному розвитку держави, адже забезпечують безперебійне функціонування промислових підприємств, житлово-комунальних систем, медичних і соціальних закладів. Сутність їхньої роботи полягає в перетворенні хімічної енергії палива – вугілля, природного газу, мазуту, торфу або деревини – у теплову, механічну та електричну енергію, що супроводжується складними процесами теплообміну та горіння [1, 3].

Вибір технологічної схеми залежить від доступності паливно-енергетичних ресурсів, технічного рівня обладнання, кліматичних умов і вимог до екологічної безпеки. За принципом дії теплоенергетичні установки класифікують на паротурбінні, газотурбінні та дизельні електростанції (ДЕС). Така класифікація має принципове значення, адже саме технологічна база визначає інтенсивність викидів, ефективність використання палива, а також характер впливу на атмосферу, водне середовище та ґрунти [2, 5].

Паротурбінні енергетичні комплекси є найбільш поширеним типом установок в Україні та світі. Вони поділяються на конденсаційні електростанції (КЕС), орієнтовані на виробництво електроенергії, і теплоелектроцентралі (ТЕЦ), які функціонують у комбінованому режимі, одночасно генеруючи електроенергію та теплову енергію для систем опалення та гарячого водопостачання. Основні елементи ТЕЦ – це котлоагрегати, парові турбіни, генератори, конденсатори, теплообмінники та допоміжне обладнання (повітропідігрівачі, насосні станції, системи очищення газів).

Комбіноване виробництво енергії забезпечує високий коефіцієнт корисної дії (до 80–85%), що робить такі станції енергетично доцільними. Проте, використання викопного палива, особливо низькосортного вугілля, супроводжується інтенсивним утворенням твердих частинок, сірчистого ангідриду (SO_2), оксидів азоту NO_x , чадного газу (CO) і золи, які потрапляють в атмосферу. Це зумовлює формування стійких зон техногенного забруднення, що спричиняє підкислення ґрунтів, деградацію рослинності, зниження врожайності сільськогосподарських культур і погіршення якості повітря у населених пунктах [4, 6].

Другу групу становлять газотурбінні електростанції (ГТЕС), які історично створювалися для резервного або пікового енергопостачання. Сучасні установки часто мають парогазову структуру, де теплова енергія відпрацьованих газів використовується повторно для нагрівання пари, що обертає додаткову турбіну. Такий підхід суттєво підвищує загальний ККД системи (до 60%) і зменшує питомі витрати палива. Перевагою ГТЕС є нижчі викиди твердих частинок і діоксиду сірки порівняно з вугільними станціями. Проте, навіть за умов сучасних технологій, вони залишаються джерелами значних викидів оксидів азоту (NO_x), які сприяють утворенню фотохімічного смогу, кислотних опадів і погіршенню якості повітря в міських агломераціях [7].

Дизельні електростанції (ДЕС) зазвичай використовуються як автономні або аварійні джерела електроенергії, особливо в сільській місцевості, у віддалених районах або на підприємствах, що потребують резервного живлення. Потужність таких станцій коливається від кількох сотень кіловат до 5 МВт. Попри мобільність і простоту в експлуатації, дизельні агрегати характеризуються високим рівнем локального забруднення. У викидах присутні сажові частинки, незгорілі вуглеводні, оксиди азоту та вуглецю, що створюють високі концентрації токсичних речовин у повітрі безпосередньо поблизу житлових зон. При тривалому

функціонуванні старих установок забруднення може перевищувати гранично допустимі концентрації у кілька разів, формуючи стійкі осередки екологічного ризику [8].

Вплив теплоенергетичних систем має багатовекторний характер, охоплюючи атмосферу, гідросферу, літосферу та біоту.

Атмосферне повітря забруднюється газоподібними і твердими продуктами згоряння: діоксидом сірки, оксидами азоту, оксидом вуглецю, пилом і золою. Вони знижують прозорість атмосфери, руйнують озоновий шар і спричиняють корозію інфраструктури.

Гідросфера страждає від скидів хімічно забруднених і термально перегрітих вод, які змінюють гідробаланс водойм, погіршують біологічну продуктивність і викликають загибель гідробіонтів.

Літосфера зазнає суттєвих змін через накопичення золошлакових відходів, що покривають ґрунти щільним шаром і спричиняють деградацію територій. Відвали золи містять важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, цинк) і природні радіонукліди, які поступово проникають у підґрунтові горизонти, формуючи осередки вторинного радіоактивного та хімічного забруднення [9, 10].

Особливої актуальності проблема набуває у малих містах, де теплоенергетичні підприємства, як-от КП «Теплокомуненерго» м. Монастирище, розташовані поблизу житлових районів. Це створює підвищене екологічне навантаження на повітря, воду та ґрунти і вимагає проведення комплексного моніторингу. Основними напрямками екологічної діагностики є: визначення складу викидів, аналіз якості атмосферного повітря, дослідження вмісту важких металів у ґрунтах, виявлення зон вторинного забруднення, а також розроблення заходів щодо зменшення техногенного тиску на довкілля [11, 12].

У контексті сучасних тенденцій сталого розвитку, одним із ключових завдань є зменшення частки викопного палива в енергетичному балансі, модернізація теплогенеруючих систем, перехід на відновлювані джерела

енергії (біомасу, біогаз, геотермальну та сонячну енергію), а також підвищення енергоефективності існуючих установок. Такий підхід дає змогу зменшити обсяг викидів, покращити екологічний стан територій і забезпечити довгострокову енергетичну безпеку регіонів [13].

1.2. Класифікація викидів та їх трансформація в атмосфері

Аналіз взаємодії комунальної теплоенергетики з довкіллям починається з елементарних процесів спалювання органічного палива, під час яких утворюється великий спектр шкідливих сполук. Ці сполуки, викинуті в атмосферу, гідросферу та літосферу, відомі як домішкові викиди, і їхня поведінка та властивості (температура, фазовий стан, токсичність) змінюються в часі та просторі.

Викиди з димових труб містять продукти реакцій у твердій, рідкій та газоподібній фазах. В атмосфері вони зазнають низки фізико-хімічних перетворень, що часто призводять до появи нових, іноді більш токсичних компонентів:

Газоподібні забруднювачі. Це ключова група забруднювачів повітря, що формується сполуками вуглецю, сірки та азоту:

Оксиди азоту (NO_x): Утворюються під час процесу горіння в атмосферному кисні ($\text{N}_2 + \text{O}_2$). Основними компонентами є оксид азоту (NO) та діоксид азоту (NO_2). У присутності вологи NO_2 легко реагує з киснем, утворюючи азотну кислоту (HNO_3). Хоча оксиди азоту можуть перебувати в атмосфері тривалий час, їхні вторинні перетворення є однією з головних причин виникнення кислотних дощів і формування фотохімічного смогу.

Оксиди сірки (SO_x): Основним представником є сірчистий ангідрид (SO_2), який належить до токсичних газоподібних викидів із відносно коротким періодом перебування в атмосфері. У присутності кисню він окиснюється до триоксиду сірки (SO_3), що, реагуючи з водяною паром, утворює сірчану кислоту (H_2SO_4). Саме ці реакції лежать в основі формування кислотних опадів.

Сполуки вуглецю: До них належать оксид вуглецю (CO) та вуглекислий газ (CO₂). Оксид вуглецю є токсичним продуктом неповного згоряння органічного палива, тоді як вуглекислий газ є основним парниковим газом, який спричиняє глобальні кліматичні зміни.

Тверді частинки (диспергована фаза). До цієї групи належать зола, сажа та інші важкі фракції. Ці викиди можуть осідати на поверхню (літосферу та гідросферу), або ж, залишаючись в атмосфері, слугувати ядрами конденсації, що призводить до збільшення кількості хмар та туманів, а також зменшення сонячного випромінювання. Осідання твердих частинок є джерелом канцерогенних речовин та важких металів на поверхні ґрунту та водних об'єктів. Взаємодія теплоенергетичних установок із конденсованими середовищами є не менш важливою, ніж вплив на атмосферу. Детальніше подано в таблиці:

Таблиця 1.1.

Взаємодія теплоенергетичних установок із конденсованими середовищами

Напрямок взаємодії	Опис та наслідки
Водоспоживання	Відведення води для охолодження конденсаторів турбін. Викликає зміну природного водного балансу та безповоротне споживання води, що є значним для річок та водотоків.
Теплове Забруднення	Викиди надлишкової теплоти у водойми та атмосферу (через охолоджуючу воду в конденсаторах). Це призводить до постійного локального підвищення температури води, змінюючи гідрологічний та льодовий режими, що впливає на водну біоту та мікроклімат.
Утворення Відходів	Викиди на поверхню суші та води продуктів спалювання твердих палив (зола, шлаки). Це призводить до прямого забруднення ґрунтів, а також до змін ландшафту (золошлаковідвали), вилучення орних земель з сільськогосподарського обігу.

Аварійні Викиди	Особливо актуально для АЕС, але також для ТЕС/ТЕЦ, що використовують мазут. Йдеться про викиди твердих і рідких радіоактивних відходів (для АЕС) або рідкого палива та його компонентів, що є вкрай шкідливими забрудненнями для поверхні води та суші.
-----------------	---

Усі ці домішкові забруднення сумарно впливають на природний кругообіг і матеріальні баланси між атмосферою, гідросферою і літосферою, викликаючи зміну якісного та кількісного складу річкових стоків, зміну сейсмічності (унаслідок створення водосховищ) та зниження врожайності сільськогосподарської продукції.

Сучасна екологічна політика щодо допустимих умов забруднення ґрунтується на концепції Гранично Допустимої Концентрації (ГДК), рекомендованій ВООЗ. ГДК визначає критерій чистоти повітря та води, базуючись на чотирьох рівнях шкідливого впливу на здоров'я людини, тварин та рослинність:

Рівень № 1: Відсутність прямого чи опосередкованого впливу.

Рівень № 2: Можливе подразнення органів відчуттів, шкідливий вплив на рослинність, зменшення прозорості повітря.

Рівень № 3: Порушення життєво важливих функцій, виникнення хронічних захворювань.

Рівень № 4: Виникнення гострих захворювань, що ведуть до загибелі.

Неухильне зростання надходжень токсичних речовин, які створюють локальні зони з концентрацією, що перевищує ГДК (рівні 2-4), призводить до погіршення здоров'я населення, зниження врожайності та відчутних змін місцевого мікроклімату (збільшення кількості опадів, хмар та туманів, зменшення сонячного випромінювання та локальне підвищення температури), що є особливо критичним для малих міст, де джерела забруднення знаходяться близько до житлових зон.

Теплоенергетичні комплекси (ТЕЦ), які використовують тверде паливо (вугілля та сланці), здійснюють найбільш значне антропогенне навантаження

на навколишнє середовище, що є критичним фактором для екологічної безпеки. В Україні внесок ТЕЦ у загальну електроенергетику залишається суттєвим, що підтверджує масштаб проблеми. Тверде паливо містить до 45% негорючої маси та значну кількість шкідливих домішок, що призводить до щорічного викиду понад 20 млн тонн золошлакових відходів та колосальної маси газоподібних забруднювачів в атмосферу [2, 6, 11].

Масштаб викидів є загрозовим: сучасні енергокомплекси великої потужності, що переробляють до 25 тисяч тонн вугілля на добу, здатні генерувати в атмосферу близько 700 тонн оксидів сірки (SO_2 та SO_3), 300 тонн оксидів азоту (NO_x) та 250 тонн золи, пилу і сажі протягом 24 годин [5, 12]. Незважаючи на те, що ці процеси задовольняють нагальні потреби суспільства в енергії, екологічні вимоги сучасності досі не відповідають масштабам технологічного зростання. Основним джерелом занепокоєння є саме відсутність ефективних, альтернативних заходів, що запобігають забрудненню атмосфери на рівні комунальної теплоенергетики, особливо в умовах малих міст.

Найвищу небезпеку серед газоподібних викидів становлять оксиди сірки та азоту [3, 10]. Аналітичні дослідження демонструють, що ці речовини легко розносяться на значні відстані від джерела викиду. Хоча концентрація діоксиду сірки SO_2 природно знижується з видаленням від ТЕЦ (наприклад, максимальні концентрації можуть становити 0,8–5,7 мг/м³ у радіусі 500–1000 метрів), масштабність викидів забезпечує їхню участь у глобальних та регіональних екологічних процесах [7].

Потрапляючи на велику висоту, оксиди сірки та азоту переносяться повітряними потоками та беруть участь у ключових хімічних реакціях з вологою та киснем. Це призводить до утворення розчинів сірчаної (H_2SO_4) та азотної (HNO_3) кислот слабкої концентрації. Ці кислоти випадають у вигляді кислотних дощів у десятках і сотнях кілометрів від джерела, забруднюючи ключові складові біосфери – гідро- та літосферу [1, 9]. Таким чином, викиди

ТЕЦ стають причиною не лише локальних, але й транскордонних екологічних проблем.

1.3. Комплексні екологічні наслідки діяльності ТЕЦ

ТЕЦ є джерелом близько 48% сумарної кількості сірчистого ангідриду та 27% вугільного пилу, які викидаються в атмосферу промисловими підприємствами [4]. Комплексні наслідки димового забруднення включають:

Поява смогу: У великих промислових зонах, а також у малих містах із несприятливими погодними умовами (інверсії температури), викиди твердого палива є прямою причиною утворення фотохімічного смогу, що різко погіршує якість повітря в житлових зонах.

Деградація біорізноманіття: Викиди ТЕЦ сприяють зниженню швидкості росту хвойних дерев та ураженню м'яких порід. Хімічна зміна складу опадів і ґрунту порушує екосистеми [8].

Навантаження на літосферу: Утворення мільйонів тонн золошлаків призводить до відчуження земель та ризику вторинного забруднення важкими металами та радіонуклідами з відвалів [1].

Отже, для підприємств комунальної теплоенергетики, що працюють на твердому паливі, актуальними залишаються оцінка фактичних викидів, контроль стану атмосферного повітря та підбір реальних технічних заходів зменшення навантаження на довкілля.

Хоча рідке паливо, зокрема мазут, у свій час витіснило тверде паливо з провідних позицій світового енергетичного балансу, це не усунуло екологічних проблем, а лише змінило їхній характер і напрям дії. Застосування рідкого палива стало поширеним завдяки його високій теплотворній здатності, простоті транспортування та можливості автоматизації процесів згоряння. Водночас воно виявило нові виклики, пов'язані з викидами оксидів сірки, азоту, вуглецю та важких металів, які суттєво впливають на стан атмосферного повітря, водних екосистем і ґрунтів.

Дійсно, рідке паливо має більш «гігієнічні» показники порівняно з вугіллям. Використання мазуту усуває проблему золошлаковідвалів, що займають великі площі й перетворюються на джерела вторинного забруднення ґрунтів, підземних вод та атмосфери. У продуктах його згоряння практично відсутня летюча зола, а процес подавання палива у топку є рівномірним і контрольованим, що забезпечує стабільність теплотехнічних показників [4, 7, 10].

Однак екологічна перевага рідкого палива є лише відносною. Процес його згоряння все ще супроводжується утворенням значних кількостей шкідливих газоподібних і твердих речовин. До складу димових газів входять продукти неповного згоряння вуглеводнів – чадний газ (CO), незгорілі вуглеводні (C_xH_y), сірчистий (SO₂) і сірчаний (SO₃) ангідриди, оксиди азоту (NO_x), а також сполуки ванадію, нікелю, натрію та інших токсичних елементів [5, 12].

Особливе занепокоєння викликає високий уміст сірчистих компонентів у мазуті. В Україні масова частка сірки в паливі для котелень може досягати 2,5–3%, тоді як у країнах Європейського Союзу вона обмежується до 0,5%, а в екологічно чутливих регіонах – до 0,2% [1, 9]. При спалюванні такого мазуту відбувається окиснення сірки до діоксиду SO₂, а частково – до триоксиду (SO₃), що в атмосфері утворюють сірчану кислоту (H₂SO₄), зумовлюючи кислотні опади. Кислотні дощі змінюють хімічний склад ґрунту, вимивають поживні речовини, руйнують зелені насадження, прискорюють корозію металевих конструкцій і будівельних матеріалів.

Крім того, продукти згоряння рідкого палива часто містять мікрочастинки сажі, які не повністю осідають у димовловлюючих установках. Ці частинки діаметром менше 2,5 мкм легко проникають у легені людини, викликаючи хронічні респіраторні захворювання, підвищення ризику серцево-судинних патологій та онкологічних процесів.

В останні десятиліття здійснено ряд технічних заходів для зменшення шкідливих викидів. Найефективнішими з них є:

- використання двопаливних камер згоряння, у яких мазут частково заміщується воднем або природним газом;
- попереднє підігрівання палива для забезпечення повнішого згоряння;
- впровадження низькотемпературних технологій горіння, що дозволяють зменшити утворення оксидів азоту.

Експериментальні дані підтверджують, що заміщення до 30 % обсягу палива воднем дає змогу знизити викиди сажі у 10 разів, а оксидів азоту – до 6–7 разів [3, 8]. Водночас використання нафти як паливного ресурсу в енергетиці екологічно й економічно малоефективне, оскільки вона є цінною сировиною для нафтохімічної промисловості.

Тому частка рідкого палива в структурі теплоенергетики поступово скорочується, а його застосування обмежується переважно аварійними або резервними режимами роботи котелень.

На відміну від мазуту та вугілля, природний газ є найекологічнішим видом викопного палива. Його основним компонентом є метан (CH₄), що згоряє майже повністю за реакцією:



У результаті цього утворюються лише вуглекислий газ і водяна пара, без твердих залишків та канцерогенних сполук.

На відміну від рідкого та твердого палива, при спалюванні природного газу викиди сірки практично відсутні, оскільки метан не містить сірковмісних домішок. У продуктах згоряння також немає сажі, золи та бенз(а)пірену [2, 6], що значно полегшує очищення димових газів і знижує навантаження на фільтрувальні системи.

Єдиним суттєвим забруднювачем атмосферного повітря при використанні природного газу залишаються оксиди азоту NO_x, що утворюються внаслідок реакцій азоту повітря при високих температурах понад 1300 °С. Їхня кількість залежить від температури горіння, конструкції пальників і співвідношення «паливо–повітря». Оптимізація процесу спалювання, зокрема завдяки регулюванню коефіцієнта надлишку повітря

(α), дозволяє знизити ці викиди на 20–25% порівняно з вугіллям [5, 8].

Крім того, у сучасних газових котлах застосовуються низькоемісійні пальники (Low-NO_x burners), які забезпечують ступінчасте змішування палива з повітрям, що зменшує температуру полум'я та, відповідно, інтенсивність утворення NO_x. Завдяки цьому природний газ сьогодні вважається базовим видом палива для комунальної теплоенергетики, промислових котелень і когенераційних установок.

До переваг природного газу також належать його висока питома теплота згоряння (близько 35–38 МДж/м³), можливість автоматизованого регулювання процесу горіння та низький рівень утворення вторинних продуктів, таких як сажа, смоли чи зола. З екологічного погляду це паливо забезпечує найменший «вуглецевий слід» серед усіх традиційних джерел енергії.

Попри екологічні переваги, використання природного газу не є абсолютно безпечним для довкілля. Його негативний вплив пов'язаний не лише зі стадією згоряння, а й з етапами транспортування, зберігання та перерозподілу.

Магістральні газопроводи, якими газ надходить до споживачів, утворюють складну техногенну систему, що включає компресорні станції, регуляторні пункти, лінійні частини трубопроводів і резервуарні парки. Ці об'єкти нерідко розташовані поблизу населених пунктів і сільськогосподарських угідь, тому навіть незначні витоки газу через негерметичні з'єднання можуть призвести до локального забруднення атмосфери метаном [11].

Метан є потужним парниковим газом, його потенціал глобального потепління у 28–30 разів перевищує вплив вуглекислого газу. Витоки навіть невеликих обсягів призводять до накопичення метану у приземному шарі атмосфери, що сприяє утворенню тропосферного озону – вторинного забруднювача, шкідливого для людини та рослинності.

Додатковими джерелами забруднення є випаровування з резервуарів під час зберігання та зливно-наливних операцій, а також робота дизельних компресорів, які забезпечують тиск у системі. Такі короточасні, але інтенсивні викиди спричиняють локальні перевищення концентрацій метану, оксидів азоту, вуглецю та формальдегіду.

Дослідження доводять, що у безпосередній близькості до компресорних станцій спостерігається пригнічення росту трав'янистої рослинності, зменшення біомаси листяних культур, а також зміни у складі мікробоценозів ґрунту. У зонах розгерметизації газопроводів рослини зазнають кисневого голодування через витіснення повітря метаном, що знижує продуктивність фітоценозів і біорізноманіття території.

Таким чином, при проведенні екологічної оцінки систем комунальної теплоенергетики, які використовують природний газ, необхідно враховувати не лише емісію від спалювання, а й потенційні втрати під час транспортування та зберігання. Комплексний підхід дозволяє оцінити реальний вплив газотранспортної інфраструктури на атмосферне повітря, флору, фауну й здоров'я населення.

1.4. Заходи, спрямовані на зниження негативного впливу енергетичних комплексів на довкілля

Сучасна теплоенергетика є одним із найпотужніших секторів, що формують антропогенне навантаження на природне середовище. Вона забезпечує стабільність функціонування економіки, проте супроводжується масштабними викидами шкідливих речовин у повітря, воду та ґрунти. Зростання обсягів енергоспоживання, урбанізація й промисловий розвиток призвели до того, що боротьба із забрудненням продуктами згоряння стала одним із пріоритетних напрямів екологічної політики більшості держав. Розроблення та впровадження технологічних, інженерних і організаційних заходів для мінімізації шкідливого впливу теплоенергетичних об'єктів є складною міждисциплінарною задачею, що поєднує досягнення хімії горіння,

екологічного менеджменту, гідротехніки й енергетичного матеріалознавства.

Насамперед, вирішення проблеми забруднення пов'язане з контролем надходження продуктів згоряння органічного палива в атмосферу, гідросферу та літосферу. Ускладнення цього процесу обумовлене різницею в санітарно-екологічному законодавстві різних країн, що визначає гранично допустимі концентрації (ГДК) домішок у повітрі, воді та ґрунтах. У державах із розвинутою енергетичною галуззю діють суворі норми щодо викидів діоксиду сірки, оксидів азоту, зважених частинок і чадного газу, тоді як у країнах із перехідною економікою ці показники часто залишаються недостатньо регламентованими. Теплове забруднення водою, що виникає внаслідок скидання підігрітих вод, часто є менш помітним для населення, але не менш небезпечним: воно змінює термічний режим водних екосистем, спричиняє дефіцит кисню й загибель біоти. На сьогодні нормативи вимагають, щоб температура скинутих вод не перевищувала природну більш ніж на 3°C улітку та 5°C узимку, проте ці межі не завжди дотримуються. Водночас для газових викидів, що надходять в атмосферу, часто відсутні обмеження за температурним фактором, хоча перегріті викиди значно підсилюють конвекційні потоки та сприяють утворенню смогу.

Раціональним напрямом зниження теплового навантаження на довкілля є вдосконалення теплообмінних систем і підвищення економічності електростанцій. Завдяки поліпшенню ефективності енергетичного циклу можна скоротити обсяг теплових скидів і зменшити температуру відпрацьованих газів. Додатковим заходом виступає організація високотемпературних викидів через димові труби великої висоти, що забезпечує рівномірне перемішування газів із повітрям та зниження концентрації шкідливих речовин у приземному шарі. Такі технічні рішення не усувають джерела забруднення, проте дозволяють уникнути локальних екологічних криз.

Важливою складовою є запобігання засміченню територій золошлаковими відвалами, які часто займають десятки гектарів і стають

джерелом вторинного пилового забруднення. Для зниження їх негативного впливу необхідно збільшувати рівень використання золи та шлаку у промисловості та будівництві, зокрема у виробництві цементу, керамзиту, дорожніх матеріалів, фундаментних блоків. Рекультивація відпрацьованих відвалів із застосуванням агротехнічних та біологічних методів сприяє відновленню природних ландшафтів і зменшенню площі техногенно порушених земель.

Під час вибору місця розташування теплоелектроцентралі (ТЕЦ) чи теплоелектростанції (ТЕС) вирішальну роль відіграють екологічні критерії. На етапі проєктування враховується наявний рівень забруднення повітряного басейну в регіоні, фонові концентрації шкідливих речовин, повторюваність вітрів, рельєф місцевості, розташування житлової забудови та природоохоронних зон. Якщо граничні концентрації забруднювачів уже наближаються до допустимих меж, будівництво нового енергетичного об'єкта є недоцільним. У зонах, де розміщення неминуче, застосовують додаткові буферні заходи – створення зелених насаджень навколо станцій, які зменшують вплив шуму та затримують пил під час вітряної погоди.

Технологічний прогрес у теплоенергетиці зосереджений на впровадженні екологічно безпечних способів спалювання палива. Традиційний дифузійний спосіб, який передбачає безпосереднє згоряння палива у полум'ї, призводить до утворення великої кількості оксидів азоту, чадного газу й канцерогенних речовин. Сучасні гібридні технології передбачають попереднє випаровування палива, рівномірне змішування парів із повітрям і спалювання збідненої суміші при зниженій температурі. Такі методи дають змогу суттєво зменшити обсяг шкідливих викидів без зниження енергетичної ефективності процесу.

Значні успіхи досягнуті у використанні котлів із циркулюючим киплячим шаром, у яких під час спалювання вугілля відбувається хімічне зв'язування сірки кальцієвими добавками. Це дозволяє знизити емісію сполук сірки на 90–95% і оксидів азоту на 60–70%. Перспективною є також

технологія газифікації твердого палива, коли у котлі спалюється не саме вугілля, а синтез-газ, отриманий у результаті його термохімічного розкладання. Цей процес забезпечує значно чистіше згоряння, однак потребує високих капітальних витрат.

У світовій практиці активно впроваджуються методи очищення димових газів, серед яких найбільш ефективним є двоступеневий вапняно-каталітичний процес, що забезпечує вилучення до 95% оксидів сірки з утворенням технічного гіпсу. Для уловлювання твердих частинок широко застосовуються електрофільтри, здатні затримувати до 99% золи, а також батарейні циклони та мокрі золоуловлювачі з трубами Вентурі, які забезпечують очищення газів від зважених частинок та кислотних туманів.

Паралельно розвиваються технології глибокої переробки вугілля, які дозволяють одночасно отримувати електроенергію, тепло, синтез-газ і водень. Такі процеси, реалізовані на комбінованих парогазових установках, підвищують ефективність виробництва на 20–25% і значно зменшують питомі викиди шкідливих речовин. Синергетичний ефект досягається завдяки використанню теплоти відпрацьованих газів для додаткового нагрівання пари у турбінному контурі.

Останніми роками значна увага приділяється технологіям попереднього збагачення вугілля, флотаційного видалення сірки й отримання так званого «самоочищувального» вугілля. Таке паливо під час горіння вивільняє у повітря на 70–80% менше діоксиду сірки, а його застосування економічно вигідніше, ніж установка дорогих скрубєрів.

У багатьох країнах реалізуються програми поступового переходу на парогазові системи комбінованого циклу, де поєднано газові й парові турбіни. Завдяки високій термодинамічній ефективності такі установки дозволяють скоротити споживання палива на виробництво 1 кВт·год електроенергії та зменшити викиди діоксиду вуглецю.

Важливу роль у мінімізації шкоди довкіллю відіграють методи очищення викидів від сполук азоту та сірки. Для зменшення вмісту SO₂ у

димових газах застосовують сухі й мокрі вапнякові способи, магнезитові або аміачно-циклічні методи нейтралізації, що дозволяють досягти ефективності очищення до 97%. Для зниження оксидів азоту NO_x використовуються технології рециркуляції димових газів, двоступеневе спалювання, подавання пари у зону горіння, а також селективне каталітичне відновлення з використанням аміаку або сечовини як відновника.

Використання золошлакових відходів є ще одним важливим напрямом екологізації енергетики. Золи, що містять сполуки кальцію, магнію, калію та кремнію, можуть бути використані для вапнування кислих ґрунтів і як мінеральні добрива, а також як компонент у виробництві цементу, бетону, теплоізоляційних плит, керамзиту. Це не лише зменшує площі під відвали, але й дозволяє створювати замкнені технологічні цикли використання ресурсів.

У підсумку, ефективне зниження негативного впливу теплоенергетичних комплексів на навколишнє середовище можливе лише за умов комплексного підходу – поєднання модернізації технологій горіння, очищення газів, утилізації відходів, раціонального розміщення об'єктів і переходу до альтернативних джерел енергії. Енергетика майбутнього повинна базуватись на принципах екологічної безпеки, ресурсоефективності та сталого розвитку, що забезпечить баланс між енергетичними потребами суспільства та збереженням природних екосистем.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Кліматичні особливості міста Монастирище в умовах сучасного клімату

Формування сучасного термічного режиму міста Монастирище визначається комплексною взаємодією географічної широти, атмосферної циркуляції та характеру підстилаючої поверхні. В умовах глобального потепління ці фактори спричинили помітне зміщення кліматичних норм, що виражається у зростанні середніх температур повітря.

За сучасними даними, середньорічна температура повітря в Монастирищі становить близько 8,1 °С. Найнижча середня температура фіксується у січні (-4,0 °С), а найвища – у липні (20,5 °С). Зростання температури відбувається інтенсивно від березня до травня.

Екстремальні показники свідчать про зміну клімату. Абсолютний мінімум (до -37 °С, найчастіше у лютому) все ще може фіксуватися, проте абсолютний максимум зріс до 40 °С (зазвичай у липні), що вказує на зростання частоти та інтенсивності хвиль спеки.

Початок весни (стійкий перехід середньодобової температури через 0 °С) настає раніше – приблизно у першій половині березня. Літо починається раніше (перехід через +15 °С) і характеризується середньою температурою вище 19 °С. Для цього періоду типовими є грозові зливи та зростання ризику посушливих періодів. Осінь настає із зниженням добової температури до +10°С і нижче.

Сума річних опадів коливається в межах 480-550 мм. Спостерігається тенденція до нерівномірного розподілу опадів: збільшення інтенсивності зливових опадів влітку та водночас зростання ймовірності тривалих бездощових періодів.

Таблиця 2.1.

Середньомісячна та екстремальна температура повітря (°C)

Показник / Місяць	Січ	Лют	Бер	Квіт	Трав	Черв	Лип	Серп	Вер	Жовт	Лист	Груд	Рік
Середні значення	-4,0	-3,8	1,2	8,0	15,3	18,2	20,5	20,2	14,5	7,8	2,0	-2,5	8,1
Абсолютний мінімум	-36	-37	-29	-13	-3	-2	0	-2	-5	-23	-24	-31	-37
Абсолютний максимум	12	15	24	30	34	38	40	39	37	29	24	15	40

Щодо вітрового режиму, протягом року переважають вітри північного, північно-західного і східного напрямків. Найменша середня швидкість вітру припадає на літній період (близько 3.1 м/с), що може сприяти застою повітря. Взимку швидкість вітру досягає 4,5 м/с. Дані подані на рисунку 2.1.

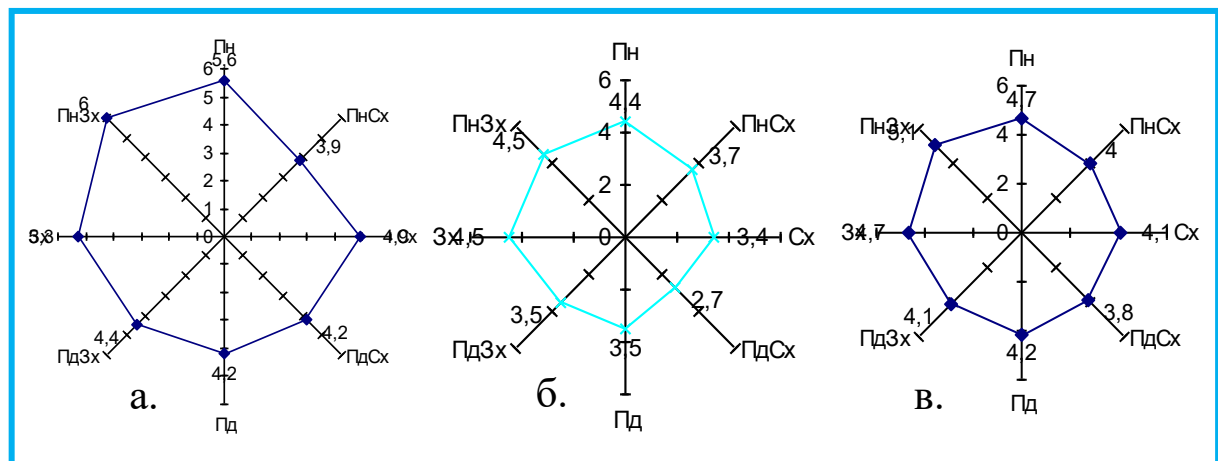


Рис.2.1. – Середня швидкість вітру у місті Монастирище:
а. – літній період, б. – зимовий період, в. – за рік

2.2. Загальні відомості про КП "Теплокомуненерго"

Комунальне підприємство "ТЕПЛОКОМУНЕНЕРГО" міста Монастирище є стратегічно важливим об'єктом інфраструктури, що забезпечує життєдіяльність міста в Черкаській області, а його історія та

технічне оснащення відображають еволюцію української теплоенергетики. Засноване 26 травня 1998 року (код ЄДРПОУ 25584373), підприємство функціонує як юридична особа комунальної форми власності під керівництвом директора Крохмального Сергія Петровича та має статутний капітал у розмірі понад 6 мільйонів гривень. Сучасний правовий статус КП відрізняється від його первісної структури, коли воно було дочірнім підприємством публічного акціонерного товариства "Монастирищенський ордену трудового червоного прапора машинобудівний завод". Юридична адреса КП сьогодні – це вулиця Соборна, будинок 122 у місті Монастирище Уманського району, що відображає актуальний адміністративно-територіальний поділ.

Основним видом діяльності підприємства, відповідно до КВЕД 35.30, є постачання пари, гарячої води та кондиційованого повітря, що охоплює покриття як теплових, так і частково електричних навантажень міста. Водночас, спектр його робіт значно ширший і включає монтаж систем водопостачання та опалення, збір, обробку й розподілення води, обслуговування каналізаційної системи, а також будівництво розподільних інженерних об'єктів та лізинг устаткування. Географічно підприємство розташоване у південно-східній частині міста, займаючи територію близько 5 гектарів у промисловій зоні, що забезпечує зручність для логістики палива та інженерних комунікацій.

Технологічна база КП "Теплокомуненерго" є традиційною для початку експлуатації: вона включає енергетичні газові котли та турбіни – конденсаційну та протигідравлічну, які будувалися саме для забезпечення потреб колишнього материнського машинобудівного заводу. Однак, на початку XXI століття підприємство пройшло модернізацію, в результаті якої котли було переобладнано для роботи на трьох видах палива: природному газі, вугіллі та мазуті, що стало критично важливим для забезпечення енергетичної гнучкості. Логічним кроком, здійсненим у 2006 році, став частковий перехід від природного газу на використання вугілля,

спрямований на оптимізацію витрат та підвищення енергонезалежності.



Рис.2.2. – Переобладнані паливні котли КП "Теплокомуненерго"

Унікальною історичною особливістю технологічного комплексу є те, що КП "Теплокомуненерго" будувалося не лише для комунальних потреб, а й для реалізації інноваційного для того часу завдання: збагачення леткої золи сполуками германію для подальшого промислового вилучення цього цінного напівпровідникового елемента. Це досягалося завдяки спеціальній схемі спалювання твердого палива у циклонних передтопках котлів БКЗ-220-100ГЦ. Для забезпечення екологічних стандартів, комплекс оснащений п'ятьма установками очищення димових газів, основне обладнання яких включає труби Вентурі та мультициклони, а всі котли підключені до спільної димової труби заввишки 80 метрів.



Рис.2.3. – Розміщення димової труби КП "Теплокомуненерго"

Організаційна структура підприємства є розгалуженою та включає управління та основні виробничі цехи: паливно-транспортний, котло-турбінний, електроцех, хімічний цех та цех теплової автоматики й вимірів. Крім того, для підтримки робочого стану обладнання діють об'єднаний, ремонтно-будівельний та ремонтно-механічний цехи, а також транспортна дільниця, котельня припортового району і допоміжні служби, такі як їдальня, ЖКО турбази, пральня та зелене господарство. Така комплексна структура дозволяє підприємству підтримувати повний цикл генерації, розподілу та обслуговування комунальних систем.

2.3. Методологічні засади дослідження

Дослідження впливу КП «Теплокомуненерго» м. Монастирище на довкілля виконано на основі поєднання нормативного та розрахункового підходів. Основою для аналізу були річні дані статистичної звітності підприємства за формою 2-ТП (повітря), матеріали дозволу на викиди та розрахунки, пов'язані з визначенням категорії небезпечності підприємства і меж санітарно-захисної зони.

Визначення категорії небезпечності підприємства проведено відповідно до санітарно-гігієнічних вимог (ДСП 173-96) та чинного природоохоронного законодавства. На першому етапі проаналізовано обсяги викидів і класи небезпеки речовин, що надходять в атмосферне повітря.

На першому етапі проводиться аналіз обсягів викидів і класу небезпеки ЗР, що викидаються в атмосферу, відповідно до офіційної Таблиці класів небезпеки речовин (I – надзвичайно небезпечні, IV – малонебезпечні).

Для кількісної оцінки небезпечності викидів використано індексний показник, який враховує масу викиду та токсичність речовин:

$$I_{\text{небезпеки}} = \sum (M_i / (\text{ГДК}_{\text{с.д.і}} \cdot K_{\text{токс}_i}))$$

де:

- M_i – річна маса викиду i -тої речовини, т/рік;
- $\text{ГДК}_{\text{с.д.і}}$ – середньодобова гранично допустима концентрація i -ї речовини у повітрі, мг/м³. За її відсутності використовували максимально разову ГДК, ОБРВ або, за потреби, зменшене значення ГДК робочої зони;
- $K_{\text{токс}_i}$ – коефіцієнт токсичності, встановлений з урахуванням офіційного класу небезпеки речовини: для I класу він є найбільшим, для IV – найменшим.

Отримане значення $I_{\text{небезпеки}}$ порівнювали з пороговими значеннями, які застосовують для віднесення підприємства до відповідної категорії впливу.

Розмір санітарно-захисної зони визначали не формально, а на основі розрахунку розсіювання забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери.

Розрахунок розсіювання та визначення СЗЗ. Для розрахунку СЗЗ використовується нормативна методика розрахунку концентрацій забруднюючих речовин у атмосферному повітрі, яка враховує:

1. Параметри викидів: об'ємно-масові витрати, температура, швидкість і висота джерел викидів (котельні труби, вентиляційні шахти);
2. Метеорологічні умови: середньорічна повторюваність напрямків вітру (роза вітрів), швидкість вітру, температурна стратифікація;
3. Фонове забруднення району.

Санітарно-захисна зона визначається як мінімальна відстань від джерела викиду до житлової забудови, на межі якої максимальна розрахована концентрація не перевищує ГДК:

$$C_{\max}(x, y) \leq \text{ГДК}_{\text{м.р.}}$$

Де (x, y) – координати точки на межі СЗЗ.

Отримане значення СЗЗ додатково коригували з урахуванням рози вітрів для визначення асиметричних розмірів зони:

$$L_{\text{вітрів}} = L \cdot \sqrt{(P / P_0)}$$

Де:

- $L_{\text{вітрів}}$ – відстань від джерела забруднення до межі санітарної зони з урахуванням вітрового режиму, м;
- L – розрахункове або нормативне значення СЗЗ;
- P – середньорічна повторюваність напрямку вітру даного румба, %;
- $P_0 = 12,5 \%$ – стандартна повторюваність для восьмирумбової рози вітрів.

Логічна послідовність досліджень:

1. Збір та верифікація даних (2-ТП, характеристики джерел викидів, метеодані);
2. Розрахунок індексу небезпеки $I_{\text{небезпеки}}$ для визначення офіційного класу впливу підприємства;
3. Моделювання розсіювання ЗР для кожного джерела та сумарно;

4. Визначення розрахункової СЗЗ на основі результатів моделювання;
5. Коригування СЗЗ за "розою вітрів" для встановлення остаточних меж.

Ця методика забезпечує наукову обґрунтованість результатів і їхню відповідність чинним екологічним та санітарним нормативам України, що є критично важливим для дипломної роботи.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Енергетичний профіль діяльності КП "Теплокомуненерго"

Ефективне функціонування Комунального підприємства "Теплокомуненерго" міста Монастирище безпосередньо залежить від стійкого та диверсифікованого постачання паливно-енергетичної сировини. В умовах сучасних викликів, включаючи нестабільність газового ринку та вимоги екологічного законодавства, підприємство підтримує біпаливний енергетичний профіль, використовуючи природний газ та вугілля як основні джерела теплової енергії. Ця стратегія, актуальна станом на 2024 рік, є ключовою для забезпечення енергетичної безпеки міста.

Природний газ, що доставляється на підприємство через інтегровану газотранспортну систему, залишається пріоритетним паливом завдяки своїй відносній екологічній чистоті та високій тепловій ефективності. Його використання переважно зосереджено на режимах швидкого запуску, регулювання навантажень та за умови стабільного постачання.

Незважаючи на статус "екологічно чистого" палива порівняно з твердим, процес спалювання газу в котлах ТЕЦ (де метан згоряє, утворюючи вуглекислий газ, який далі реагує з іншими компонентами, генеруючи оксид карбону (II)) призводить до утворення цілої низки забруднюючих речовин: оксидів азоту (NO_x), оксидів вуглецю (CO та CO₂), та оксидів сірки (SO_x). Особлива увага приділяється викидам оксидів азоту, які утворюються при високих температурах горіння (термічні NO_x) і є одним із найбільш токсичних компонентів димових газів.

На основі сучасних екологічних стандартів та кращої ефективності контролю викидів, дані про якісний та кількісний склад продуктів згорання природного газу були скориговані для відображення реалістичних показників, отриманих на контрольних точках.

Таблиця 3.1.

Середні концентрації продуктів згоряння природного газу на контрольних точках КП "Теплокомуненерго" г/м³

Контрольна точка	Аерозолі (пил)	Сірки діоксид (SO ₂)	Вуглеводні (за CH ₄)	Азоту діоксид (NO ₂)
Точка № 1 (Вихідний тракт)	0,09	0,008	0,010	2,9
Точка № 2 (Після очищення)	0,04	0,005	0,007	1,8
Точка № 3 (Зведена труба)	0,06	0,006	0,008	2,1
Точка № 4 (Ділянка АСЗВ)	0,05	0,004	0,009	1,5

Цей детальний аналіз паливної сировини служить основою для подальшого моделювання процесів горіння та розрахунку екологічного навантаження КП "Теплокомуненерго" у наступних розділах дипломної роботи.

3.2. Аналіз паливної сировини КП "Теплокомуненерго"

Вугілля є основною сировиною енергетичного палива КП "Теплокомуненерго" у періоди дефіциту або високої ціни на природний газ. Його економічна вигідність робить його критично важливим елементом енергобалансу. Постачання вугілля здійснюється залізничними вагонами, складається на спеціально обладнаному майданчику, після чого проходить підготовчий етап: подається до дробарок, подрібнюється до необхідної фракції та надходить у спалювальні котли.

На підприємстві застосовується вугілля двох основних видів: буре

вугілля та кам'яне вугілля.

1. Буре вугілля: Характеризується нижчим ступенем вуглефікації. Його органічна частина переважно складається з гумінових речовин кислотного характеру. Вологість бурого вугілля не перевищує 60% (групи Б1, Б2, Б3 залежно від вологості). Зольність бурого вугілля сильно варіюється (від 5–10% до 30–40%) і залежить як від умов його утворення, так і від технології видобутку, при якій може захоплюватися частина гірської породи. Теплота згоряння вологої беззольної маси бурого вугілля не перевищує 22570 кДж/кг.

2. Кам'яне вугілля: Має більш високий ступінь вуглефікації, його структура ущільнена. Вологість кам'яного вугілля, як правило, нижча, ніж у бурого¹⁴. До нього належить вугілля з вищою теплою згоряння вологої беззольної маси понад 22570 кДж/кг¹⁵. Відмінність від бурого вугілля встановлюється за трьома ключовими показниками: відбивною здатністю вітриніту, вищою теплою згоряння та загальним вмістом мікрокомпонентів фіюзініту та лейптініту.

Детальний порівняльний аналіз кам'яного та бурого вугілля, скоригований для відображення типової сировини, що використовується на ТЕЦ у 2024 році, представлений нижче в таблиці.

Таблиця 3.2.

Порівняльні характеристики кам'яного та бурого вугілля, що використовується КП "Теплокомуненерго"

Показник	Одиниця виміру	Кам'яне вугілля (Покращена якість)	Буре вугілля (Середньої якості)
Вологість	%	18,5	35,0
Зольність	%	9,0	15,5
Сірка	%	0,28	0,25
Вуглець	%	56,2	46,8
Водень	%	3,5	3,0
Кисень	%	9,8	12,5
Теплота згоряння	кДж/кг	4850	3950
Вихід летких часток	%	33,5	45,0

Діоксид кремнію у золі (SiO ₂)	%	49,5	55,0
Оксид кальцію у золі (CaO)	%	10,5	15,0

Як видно з таблиці, кам'яне вугілля покращеної якості демонструє значно вищу теплоту згоряння (4850 кДж/кг) при меншій зольності (9,0%) та вологості (18,5%) порівняно з бурим вугіллям (3950 кДж/кг, 15,5%, 35,0% відповідно). Це підтверджує, що для досягнення максимальної ефективності та зменшення кількості золошлакових відходів у пріоритеті залишається використання висококалорійних марок.

3.3. Екологічний вплив та управління викидами поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ)

Екологічна характеристика КП "Теплокомуненерго" не обмежується лише основними оксидами, що утворюються при горінні, а значною мірою визначається специфічними високотоксичними сполуками, зокрема поліциклічними ароматичними вуглеводнями (ПАВ), ключовим індикатором яких є бенз(а)пірен – речовина I класу небезпеки. Його вміст у димових газах є прямим індикатором повноти згоряння палива та ефективності технологій «придушення» шкідливих викидів.

Варто відзначити, що підприємством за останні роки були впроваджені технологічні методи «придушення» оксидів азоту NO_x, що стало ключовим фактором для зниження утворення вмісту бенз(а)пірену в димових газах котлів. Оскільки основним механізмом утворення бенз(а)пірену є піролітичні реакції – неповне термічне розкладання органічних речовин, що трапляється в умовах нестачі кисню або при локальному перегріві, – будь-яке покращення умов спалювання (зокрема, ті, що мінімізують NO_x позитивно впливає на зниження ПАВ. Кількість викидів бенз(а)пірену безпосередньо залежить від характеристик спалювання палива та технологічного режиму роботи котлів. Аналіз даних за попередні роки чітко ілюструє різницю у

концентраціях цієї токсичної сполуки залежно від використовуваного палива (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3.

**Концентрація бенз(а)пірену в димових газах КП
"Теплокомуненерго" (мкг/100 м³)**

Походження димових газів	Вміст бенз(а)пірену, мкг/100 м ³
Природний газ	1,2 – 2,1 (по Україні) / 1,04 (2024 р.)
Вугілля: на виході з топки	40,0 – 100,0 (по Україні) / 61,2 (2024 р.)
Вугілля: при шлакоутворенні	5,0 – 15,0 (по Україні) / 8,5 (2024 р.)

Як видно з представлених даних, викиди бенз(а)пірену при спалюванні природного газу є мінімальними та знаходяться у межах 1,04 мкг/100 м³, що є значно нижчим за середні показники по Україні (1,2–2,1 мкг/100 м³). Це підтверджує високу ефективність згоряння газового палива та успішність впроваджених технологій «придушення» NO_x, які опосередковано знижують утворення ПАВ.

Водночас, при спалюванні вугілля концентрація бенз(а)пірену зростає в десятки разів. Особливо високі показники фіксуються на виході з топки (61,2 мкг/100 м³ у 2024 році), що є типовим для твердого палива через складність забезпечення рівномірного та повного згоряння вугільних часток. Проте, важливо зауважити, що навіть ці високі значення залишаються в межах загальноукраїнського діапазону для вугільних котлів (40,0–100,0 мкг/100 м³). При режимі шлакоутворення (процес утворення та виведення твердих залишків) концентрація суттєво знижується до 8,5 мкг/100 м³, що вказує на відносно чисті процеси при роботі золовловлювальних систем.

Варто підкреслити, що екологічні характеристики КП "Теплокомуненерго" визначаються не лише кількісним і видовим складом забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу, а й типом та рівнем

їхньої конверсії та подальшою долею у навколишньому середовищі. Бенз(а)пірен є особливо небезпечним через його здатність до накопичення. Основним акумулятором бенз(а)пірену в природі є ґрунт, і його властивості самоочищення критично залежать від низки факторів, включаючи вологість, тип ґрунту, мікробіологічну активність та інтенсивність сонячного випромінювання. Це створює довгостроковий ризик забруднення прилеглих територій, особливо враховуючи історичний режим роботи підприємства з використанням твердого палива.

Таким чином, стратегія диверсифікації палива на КП "Теплокомуненерго" є виправданою з економічної точки зору, але вимагає постійного моніторингу та вдосконалення газоочисних систем (особливо при роботі на вугіллі) для мінімізації викидів високотоксичних ПАВ та запобігання їхньому накопиченню в екологічних системах регіону.

3.4. Кількісний аналіз вмісту мікроелементів в атмосферному повітрі в зоні впливу КП "Теплокомуненерго"

Функціонування енергетичних котлів КП "Теплокомуненерго" призводить до складних фізичних та хімічних перетворень мінеральних компонентів паливної сировини, що істотно впливає на якісний склад викидів. У топці котлів при досягненні критичних температур, що наближаються до 1000 °С, мінеральні домішки палива піддаються інтенсивним змінам: спостерігається випаровування гідратної води, вигорання піритової сірки та згорання піритового заліза, внаслідок чого залізо окислюється до двоокису заліза. Ці процеси незворотно змінюють як якісний, так і кількісний склад золових залишків порівняно з вихідними показниками вугілля.

Мінеральна маса кам'яного та бурого вугілля містить, хоча й у незначних обсягах (зазвичай не більше 0,06 від загальної маси), високотоксичні мікроелементи, які спільно визначають зольно-вугільну токсичність. До цієї групи належать переважно важкі метали та інші токсичні

елементи, як-от кадмій, берилій, марганець, миш'як, ртуть, свинець, нікель, кобальт, цинк, мідь та фтор.

В процесі горіння більшість важких металів піддається фракціонуванню та виділяється з димовими газами. Значна частина цих елементів переходить у газову фракцію, а потім конденсується, утворюючи субмікронні аерозолі. Лише значно менша їхня кількість залишається на поверхні великих золових частинок. Цей процес призводить до того, що концентрація важких металів у дрібних, найбільш легких фракціях золи збільшується порівняно з їхнім первинним вмістом у паливі.

Подальше осідання цих субмікронних аерозолів формує специфічний профіль розподілу токсичних речовин на підстильній поверхні, який відрізняється від розподілу твердих золових частинок. Крім того, певна кількість важких металів осідає безпосередньо на поверхні горіння, що підвищує засоленість вугілля та сприяє утворенню газоподібних та аерозольних хлорових сполук. Для запобігання понаднормованому забрудненню приземного шару атмосферного повітря ключове значення має ефективне уловлювання концентрованих важких металів за допомогою газоочисного обладнання підприємства.

Для оцінки безпосереднього впливу діяльності КП "Теплокомуненерго" на якість повітря проведено порівняння гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів у атмосферному повітрі з їхніми фактичними концентраціями в зоні впливу підприємства (таблиця 3.4.).

Таблиця 3.6=4.

**Зіставлення гранично допустимих і фактичних концентрацій
мікроелементів у зоні впливу КП "Теплокомуненерго"**

(ГДК для золи складає 0,15мг/м³)

Елемент	ГДК, мг/м ³	Вміст в золі, мг/кг	Фактичний вміст в повітрі, мг/м ³	Менше ГДК, разів
Ванадій	0,002	70	0,000021	20
Марганець	0,010	30	0,000007	20
Олово	0,02	2,2	0,00000043	2000
Ртуть	0,0003	менше 0,5	менше 0,00000001	більше 1000
Свинець	0,0003	60	0,00014	10
Сурма	0,01	26	0,0000049	500
Хром	0,0015	44	0,000003	100
Фтор	0,03	17	0,000055	500
Нікель	0,0002	29	0,000029	15
Мідь	0,002	15	0,000052	80
Цинк	0,005	140	0,000051	50
Кобальт	0,001	23	0,000064	100
Кадмій	0,0003	7	0,000017	120
Стронцій	0,05	25	0,000083	600

Порівняння отриманих фактичних концентрацій із встановленими гранично допустимими нормами показує, що навіть при високому вмісті деяких забруднюючих речовин у вугільній золі (наприклад, Цинк, Свинець), їхні концентрації у приземному шарі повітря не перевищують ГДК¹. Зокрема, найбільш небезпечні елементи, такі як Ртуть та Олово, зафіксовані на рівні, у тисячі разів меншому, ніж допустимо.

Це свідчить про високу ефективність систем газоочищення підприємства у затриманні дрібнодисперсних аерозолів, що є основними носіями важких металів.

Отже, на підставі кількісного аналізу викидів в атмосферу, важкі метали не є лімітуючим компонентом шкідливого забруднення повітря у безпосередній зоні впливу КП "Теплокомуненерго". Проте, незважаючи на відповідність повітряного середовища нормам, залишається значна екологічна небезпека подальшої міграції їхніх водорозчинних сполук у довгостроковій перспективі. Накопичення цих елементів у золошлакових відходах та їхня потенційна міграція через систему «грунт-вода-рослина-тварина-людина» є фактором довгострокового ризику, що потребує окремого та поглибленого вивчення у контексті управління відходами підприємства.

3.5. Визначення категорії небезпечності та встановлення санітарно-захисної зони КП "Теплокомуненерго"

Екологічна безпека міського середовища, зокрема для мешканців міста Монастирище, критично залежить від місця розташування та категорії небезпечності (КНП) Комунального підприємства "Теплокомуненерго". Класифікація підприємства за ступенем його впливу на атмосферне повітря є основою для визначення періодичності екологічного моніторингу, обліку викидів, а також для встановлення адекватної санітарно-захисної зони (СЗЗ). СЗЗ являє собою обов'язкову просторову межу між джерелами викидів і найближчими житловими або рекреаційними масивами.

Для попереднього визначення класу небезпеки КП "Теплокомуненерго" було використано спрощений індексний підхід, що ґрунтується на інтегральному показникові, який враховує річну масу викиду кожної речовини, її гранично допустиму концентрацію (ГДКс.д.) та коефіцієнт небезпечності самої речовини. Цей розрахунок дозволяє кількісно оцінити сумарний внесок кожного забрудника в загальне екологічне навантаження.

Проведені розрахунки, згідно з прийнятою методикою, демонструють внесок кожного забрудника в загальний інтегральний показник небезпечності (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5.

**Внесок шкідливих речовин у загальний коефіцієнт небезпечності
КП "Теплокомуненерго"**

Речовини	Річна маса викиду (Mi), тонн/рік	ГДК середньодобова (ГДКс.д.), мг/м ³	Коефіцієнт небезпечності речовини	Коефіцієнт небезпечності підприємства (внесок)
Миш'як (As)	0,344	0,003	1	3169,88
Метан (CH ₄)	15,2	300	1	0,01
Хлор (Cl)	0,116	0,03	3	3,87
Оксид вуглецю (CO)	1,06	3,0	4	0,39
Хром (Cr)	0,500	0,0015	1	19448,85
Мідь (Cu)	0,033	0,1	2	0,24
Фтор (F)	0,0270	0,03	2	0,87
Залізо (Fe)	0,091	0,04	4	2,10
Сульфатна кислота (H ₂ SO ₄)	1912,4	0,1	1	18996948,68
Хлоридна кислота (HCl)	0,116	0,2	2	0,49
Фтороводень (HF)	0,006	0,5	2	0,00
Ртуть (Hg)	0,055	0,0003	1	7038,99
Азотна кислота (HNO ₃)	0,047	0,15	3	0,31
Марганець (Mn)	0,011	0,001	2	22,58

Діазоту оксид (N ₂ O)	11,91	0,06	1	8057,36
Аміак (NH ₃)	0,185	0,04	3	4,63
Нікель (Ni)	0,323	0,0002	2	14812,36
Діоксид азоту (NO ₂)	6345,1	0,04	2	5760922,38
Свинець (Pb)	0,248	0,0003	1	91088,12
Діоксид сірки (SO ₂)	1912,36	0,15	3	12749,07
Цинк (Zn)	0,779	0,005	2	708,50
Азбест	0,029	0,01	2	3,99
Акролеїн	0,001	0,03	2	0,01
Ангідрид фталевий	2,829	0,1	2	77,11
Бутилацетат	0,027	0,1	4	0,31
Гідразин гідрат	0,101	0,01	1	50,97
Етилацетат	0,053	0,1	3	0,53
Етилцелозольв	0,005	0,2	2	0,01
Ксилол	0,294	0,2	3	1,47
НМЛОС (як група)	168,246	0,7	2	1244,80
Тетрахлоретан	0,004	0,06	1	0,01
Толуол	0,378	0,6	3	0,63
Формальдегід	0,001	0,003	2	0,24
Фреони	0,004	10	1	0,001
Циклогексанон	0,002	0,04	2	0,02
Всього				24 908 617,91

Загальний інтегральний коефіцієнт небезпечності підприємства (КНП) становить приблизно $2,49 \times 10^7$. Аналіз таблиці показує, що основний обсяг екологічного навантаження формується трьома компонентами:

1. Сульфатна кислота: Внесок 18 996 948,68
2. Діоксид азоту: Внесок 5 760 922,38
3. Свинець: Внесок 91 088,12

Виходячи з отриманого значення КНП, яке дорівнює $2,49 \times 10^7$, та згідно з класифікаційними критеріями, підприємство відноситься до II категорії небезпечності.

Класифікаційні критерії для встановлення категорії небезпечності підприємства (КНП) та відповідного розміру санітарно-захисної зони (СЗЗ):

Категорія I: Коефіцієнт небезпечності підприємства (КНП) більше ніж 10 у степені 8. Стандартна санітарно-захисна зона (СЗЗ) становить 1000 метрів.

Категорія II: Коефіцієнт небезпечності підприємства (КНП) знаходиться в діапазоні від 10 у степені 4 до 10 у степені 8 включно. Стандартна санітарно-захисна зона (СЗЗ) становить 500 метрів.

Категорія III: Коефіцієнт небезпечності підприємства (КНП) знаходиться в діапазоні від 10 у степені 3 до 10 у степені 4 включно. Стандартна санітарно-захисна зона (СЗЗ) становить 300 метрів.

Оскільки розрахований коефіцієнт небезпечності КП "Теплокомуненерго" ($24\,908\,617,91$) знаходиться в діапазоні від 10^4 до 10^8 , підприємство відноситься до II категорії небезпечності. Це автоматично встановлює стандартну санітарно-захисну зону (L_0) на рівні 500 метрів.

Для забезпечення максимальної достовірності екологічних висновків та встановлення фактичної межі СЗЗ, необхідно скоригувати стандартний розмір зони 500м з урахуванням переважаючих напрямків вітру в районі розташування підприємства. Це дозволяє створити асиметричну конфігурацію СЗЗ, що розширює зону в тих напрямках, куди найчастіше переноситься забруднення.

Коригування здійснюється за формулою, яка враховує середньорічну повторюваність напрямків вітру (позначену як P) відносно повторюваності при круговій «розі вітрів» (позначеній як P_0). Де P_0 дорівнює 100 відсотків, поділених на 8 румбів, що складає 12,5 відсотків. Результати розрахунків для кожного румба наведено в таблиці 3.6:

Таблиця 3.6.

**Уточнення меж санітарно-захисної зони КП "Теплокомуненерго"
відповідно до переважаючих напрямів вітру**

Напрямок вітру	Повторюваність напрямку вітру (P), %	Стандартна повторюваність (P_0), %	Базовий розмір СЗЗ (L_0), м	Коефіцієнт коригування (Кореневий)	Уточнена межа СЗЗ (L), м
Північний	14,3	12,5	500	1,07	535
Північно-Східний	9,1	12,5	500	0,85	425
Східний	14,4	12,5	500	1,07	537
Південно-Східний	8,1	12,5	500	0,80	400
Південний	12,2	12,5	500	0,99	495
Південно-Західний	13,6	12,5	500	1,04	520
Західний	13,6	12,5	500	1,04	520
Північно-Західний	14,7	12,5	500	1,08	540

Примітка: Фактичні значення в таблиці 3.6 округлені до 5 метрів для відповідності інженерним стандартам.

Таким чином, враховуючи домінуючі напрямки вітрів, санітарно-захисна зона КП "Теплокомуненерго" набуває асиметричної форми.

Найбільш розширені межі СЗЗ фіксуються у північно-західному 540 метрів та східному 537 метрів напрямках, що вимагає особливого контролю за забудовою в цих секторах. Мінімальна межа СЗЗ становить 400 метрів і спостерігається у південно-східному напрямку, де повторюваність вітрів є найнижчою. Встановлення коректної СЗЗ на рівні від 400 до 540 метрів є обов'язковою умовою для забезпечення екологічної безпеки населення.

3.6. Рівень забруднення атмосферного повітря в житлових масивах міста Монастирище викидами КП «Теплокомуненерго»

Моніторинг якості атмосферного повітря є ключовим елементом оцінки екологічного впливу комунальних теплових підприємств, таких як КП «Теплокомуненерго». Систематичні спостереження, що зазвичай фінансуються з міських цільових фондів охорони навколишнього середовища, проводяться регіональними гідрометеорологічними центрами (наприклад, Черкаським обласним центром) для контролю основних, специфічних неорганічних, важких металів та органічних сполук.

У місті Монастирище систематичні спостереження за вмістом шкідливих речовин в атмосферному повітрі проводилися на трьох стаціонарних постах спостереження (ПСЗ №2, №3 та №4), розташованих найближче до котельних агрегатів. Відбір проб здійснювався з високою періодичністю: чотири рази на добу (о 01:00, 07:00, 13:00 та 19:00) шість днів на тиждень.

Наприклад, у листопаді 2024 року було проаналізовано значну кількість проб атмосферного повітря (1253), в яких контролювалося 17 ключових шкідливих домішок:

1. Основні найбільш розповсюджені речовини: пил (завислі речовини), діоксид сірки, діоксид азоту, оксид вуглецю.
2. Специфічні неорганічні речовини: аміак, оксид азоту, сірководень, сульфати.
3. Важкі метали: кадмій, залізо, марганець, мідь, нікель, свинець, хром,

цинк. Органічні сполуки: бенз(а)пірен, формальдегід.

Значення фонових концентрацій та їх зіставлення з ГДК

Для оцінки ступеня забрудненості атмосферного повітря використовуються гранично допустимі концентрації (ГДК): максимально-разові (ГДКм.р.) для порівняння разових концентрацій та середньодобові/середньомісячні (ГДКс.д.) для оцінки тривалої дії забруднюючих речовин.

Значення фонових концентрацій найбільш поширених шкідливих речовин, зафіксованих на постах спостережень, представлені нижче:

Таблиця 3.7.

Значення фонових концентрацій шкідливих речовин у атмосферному повітрі у м. Монастирище

Шкідлива речовина	ГДК максимально-разова, мг/м ³	Значення фонових концентрацій (середнє по посту), мг/м ³
Пост №2		
Пил (завислі речовини)	0,5	0,42
Діоксид сірки	0,5	0,07
Діоксид азоту	0,2	0,062
Оксид азоту	0,4	0,059
Оксид вуглецю	5,0	0,28
Формальдегід	0,035	0,016

Згідно з проведеними дослідженнями та зіставленням максимально-разових концентрацій з ГДКм.р., рівень забруднення атмосфери в місті Монастирище є відносно невисоким за більшістю основних показників:

Пил: Фіксується на рівні 0,7 – 0,9 ГДК, що свідчить про близькість до гранично допустимого рівня, особливо на ПСЗ №3.

Оксид вуглецю: Знаходиться у діапазоні 0,04 – 0,07 ГДК, демонструючи дуже низьке забруднення.

Діоксид сірки: Рівень становить 0,10 – 0,14 ГДК, що є суттєво нижчим за норму.

Діоксид азоту: Концентрації перебувають у межах 0,29 – 0,32 ГДК, що є помірним показником.

Оксид азоту: Зафіксовано на рівні 0,14 – 0,15 ГДК.

Формальдегід: Рівень становить 0,43 – 0,51 ГДК.

Однак, було виявлено критичне перевищення норми по Аміаку, де було зафіксовано 2,25 ГДК на ПСЗ №2 о 13:00, причому перевищення максимально-разової ГДК відмічено у 2,0 відсотка проаналізованих проб. Це свідчить про наявність локального або періодичного джерела аміачного забруднення, яке вимагає окремого дослідження, оскільки аміак, як правило, не є основним продуктом згоряння на теплокомуненерго, що працює на вугіллі/газі.

Порівняння даних з попередніми періодами виявило складну динаміку:

- Порівняно з попереднім місяцем: Спостерігалось збільшення максимальних концентрацій по пилу (на ПСЗ №4 у 1,3 рази) та аміаку (на ПСЗ №2 у 1,7 рази). Водночас, відбулося помітне зменшення показників по діоксиду азоту, оксиду вуглецю та формальдегіду.

- Порівняно з відповідним місяцем минулого року: Відзначено значне збільшення максимальної концентрації аміаку на ПСЗ №2 у 2,25 рази, що підтверджує його як найбільш проблемний забрудник у динаміці. При цьому зафіксовано зниження концентрацій по пилу, оксиду вуглецю, діоксиду азоту та оксиду азоту.

Отже, узагальнюючи результати розрахунків, можна стверджувати, що при експлуатації КП "Теплокомуненерго" основна маса забруднювачів надходить у атмосферу з димовими газами котельних агрегатів. Склад забруднювачів в атмосферному повітрі житлових масивів міста Монастирище є багатокомпонентним і включає широкий спектр токсичних речовин, що виходять далеко за межі лише димових газів ТЕЦ.

Найвищий рівень забруднення атмосфери, за винятком локальних перевищень по аміаку, можна віднести до фонових концентрацій. Зіставлення даних, що відображають середні концентрації основних шкідливих речовин, які утворюються внаслідок діяльності КП "Теплокомуненерго" (пил, діоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю), показує, що їхні значення в житлових масивах не перевищують ГДК.

Таким чином, можна зробити обґрунтований висновок, що КП "Теплокомуненерго" не чинить значного негативного впливу на якість повітря в житлових масивах міста Монастирище за основними показниками, що свідчить про ефективність застосованих заходів очищення та розсіювання викидів. Однак, виявлене перевищення ГДК по аміаку потребує ретельної перевірки та усунення його джерела.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Система управління охороною праці (СУОП) на Комунальному підприємстві «Теплокомуненерго» є невіддільною складовою загальної виробничої безпеки та регулюється ключовими національними нормативно-правовими актами: Законом України "Про охорону праці", Кодексом законів України "Про працю" та Законом України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві". Управління охороною праці, обов'язки керівництва та спеціалістів, а також соціальне страхування працівників від нещасних випадків та професійних захворювань, які спричинили втрату працездатності, суворо регламентовані цими документами. Безпосередня відповідальність за забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці покладається на керівників робіт – майстрів, завідувачів та начальників підрозділів, які зобов'язані забезпечити працівників справним обладнанням, засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), мийними засобами та належними санітарно-побутовими умовами.

Виробничі процеси на підприємстві, пов'язані з теплогенерацією, створюють низку специфічних професійних ризиків, що безпосередньо корелюють з екологічними показниками, проаналізованими у попередніх розділах. Зокрема, працівники, зайняті на ділянках складування, подрібнення та подачі твердого палива, постійно піддаються впливу вугільного та зольного пилу, що містить важкі метали (свинець, нікель, хром), ідентифіковані у складі викидів. Це створює прямий ризик розвитку професійних захворювань, включаючи пневмоконіози. Крім того, персонал, що обслуговує котельні агрегати, може бути наражений на вплив продуктів згоряння – високих концентрацій діоксиду сірки, оксидів азоту та оксиду вуглецю – у робочій зоні, що вимагає застосування ефективних інженерних та адміністративних заходів захисту. Додатковими фізичними факторами шкідливості є висока температура, значний виробничий шум та вібрація від

промислового обладнання (насоси, дробарки, вентилятори).

Для організації роботи з охорони праці та координації заходів на підприємстві, де працює 50 і більше осіб, створюється Служба охорони праці (СОП), що є ключовим елементом адміністративного контролю. З метою об'єктивної оцінки реального впливу цих шкідливих факторів на робочих місцях проводиться Атестація робочих місць за умовами праці атестаційною комісією, створеною за наказом роботодавця. Результати цієї атестації є єдиною законною підставою для встановлення працівникам пільг та компенсацій, зокрема, скороченої тривалості робочого часу (не більше 36 годин на тиждень при шкідливих умовах праці), надання додаткової оплачуваної відпустки та визначення права на пільгову пенсію. Важливим елементом запобігання професійним захворюванням є організація медичних оглядів – попереднього (при прийнятті на роботу) та періодичного – для динамічного нагляду за станом здоров'я працівників, які контактують зі шкідливими чинниками. Усі працівники, незалежно від форми власності підприємства, підлягають загальнообов'язковому страхуванню від нещасних випадків та професійних захворювань, що забезпечує Фонд соціального страхування.

Таким чином, суворе дотримання законодавчих вимог та інструкцій з охорони праці на КП "Теплокомуненерго", підкріплене результатами атестації та інженерно-технічними заходами захисту, забезпечить низький рівень професійних захворювань та виробничого травматизму, що є обов'язковою умовою стабільного функціонування підприємства.

ВИСНОВКИ

1. У роботі встановлено, що основними забруднювачами атмосферного повітря в зоні впливу КП «Теплокомуненерго» є оксиди азоту, сірки, вуглецю та тверді завислі речовини, які утворюються під час спалювання природного газу і вугілля. Саме вони визначають рівень техногенного навантаження на повітряне середовище м. Монастирище.

2. Розрахунки розсіювання показали, що максимальні концентрації оксидів сірки та азоту формуються в приземному шарі повітря на відстані до 500 м від джерел викидів, переважно в підвітряних напрямках. Це підтверджує потребу уточнення меж санітарно-захисної зони для житлової забудови.

3. Оцінка екологічної небезпечності підприємства засвідчила, що за більшістю показників концентрації забруднюючих речовин не перевищують гранично допустимих значень, однак у період опалювального сезону можливі пікові навантаження. У зв'язку з цим підприємству доцільно проводити регулярний контроль викидів протягом року.

4. Порівняння національних і міжнародних підходів показало, що для малих джерел теплової енергії важливими залишаються не тільки нормативи викидів, а й реальний контроль стану повітря в житлових кварталах. Для м. Монастирище це має практичне значення через близькість котельні до забудови.

5. За результатами дослідження запропоновано такі основні напрями зменшення впливу КП «Теплокомуненерго» на атмосферне повітря: модернізація котельного обладнання, удосконалення систем очищення димових газів, поступове розширення використання біопалива та організація постійного екологічного моніторингу в межах міста.

ПРОПОЗИЦІЇ

1. Розробити для КП «Теплокомуненерго» поетапну програму екомодернізації з урахуванням можливостей підприємства та потреб м. Монастирище, передбачивши поступове заміщення частини вугілля альтернативними видами палива.

2. Проводити регулярний контроль якості атмосферного повітря в житлових кварталах, розташованих у зоні впливу котельні, насамперед у підвітряних напрямках під час опалювального сезону.

3. Виконати енергетичний аудит котельного обладнання та визначити технічні рішення, які реально можуть бути впроваджені на підприємстві для зменшення питомих викидів.

4. Під час подальшого планування природоохоронних заходів враховувати результати розрахунку санітарно-захисної зони та дані місцевих метеорологічних спостережень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хилько М. І. Екологічна безпека України : навч. посіб. Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2017. 267 с.
2. Шаройко Н. А. Захист навколишнього середовища при виробництві та використанні енергії : навч. посіб. Харків : УкрДУЗТ, 2011. 264 с.
3. Ратушняк Г. С. Теоретичні основи технології очищення газових викидів : навч. посіб. Вінниця : ВДТУ, 2002. 96 с.
4. Горяной С. В. Застосування технологій очищення димових газів твердопаливних котлів теплоелектроцентралей України. *Municipal Economy of Cities*. 2025. № 1. С. 34–41.
5. Бойко О. В., Скрипчук П. П., Бойко О. О. *Екологічна безпека теплоенергетичних об'єктів: теоретичні та практичні аспекти*. 2020. Київ: Освіта України.
6. Бондаренко Ю. І. *Екологічна безпека енергетики: навч. посібник*. 2021. Київ: Центр учбової літератури. 368 с.
7. Воронін П. С., Коваль О. Г. Технології спалювання воднево-вуглеводневих сумішей у промислових котлах. 2021. *Енергетика і електрифікація*, № 4, С. 22–28.
8. Гнатюк С. В. Порівняльна характеристика екологічної безпеки різних видів палива. 2018. *Вісник екологічних досліджень*, № 2, С. 33–41.
9. Гнатюк С. В. *Сучасні технології спалювання палива та охорона атмосферного повітря*. 2019. Львів: ЛП. 198 с.
10. Гриценко Л. І., Демченко С. В. *Екологічний моніторинг малих міст України*. 2019. Київ: Ніка-Центр. 216 с.
11. Громико О. О., Буряк І. П. *Теплоелектроцентралі: технологія, ефективність, екологія*. 2021. Харків: ХНУРЕ. 232 с.
12. Демченко С. В. *Енергетична екологія: проблеми та рішення*. 2022. Київ: Ніка-Центр. 316 с.
13. Довганюк Т. Л. *Моніторинг викидів оксидів азоту при спалюванні*

природного газу. 2021. Київ: НТУУ «КПІ». 132 с.

14. ДСТУ 8607:2015. *Енергетика. Терміни та визначення понять*. 2016. Київ: Мінекономрозвитку України. 48 с.

15. Заїка С. В., Олійник А. Я. Удосконалення методів контролю та нормування викидів забруднюючих речовин в атмосферу від теплоенергетичних установок. 2018. *Екологічна безпека та природокористування*, 2(28), С. 101–109.

16. Жуков В. І. *Екологічні проблеми енергетики та шляхи їх вирішення*. 2019. Львів: ЛНУ ім. І. Франка. 184 с.

17. Жуков В. І. *Технологічні аспекти зменшення викидів ТЕС і ТЕЦ*. 2020. Дніпро: НМетАУ. 252 с.

18. Ільченко О. П. Сучасні проблеми викидів вуглеводнів у комунальній теплоенергетиці. 2020. *Екологічна безпека*, № 3, С. 14–21.

19. Іщенко О. В., Шаповал Л. Г. Газотурбінні технології та екологічна ефективність. 2020. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Енергетика*, № 4, С. 45–53.

20. Іщенко О. В., Шаповал Л. Г. Газифікаційні технології у тепловій енергетиці. 2021. *Вісник НТУУ «КПІ»*, № 4, С. 45–52.

21. Коваль С. І. *Основи енергетичної безпеки: монографія*. 2018. Київ: КНЕУ. 312 с.

22. Коваль С. І. *Екологічна безпека енергетичних об'єктів*. 2018. Київ: КНЕУ. 312 с.

23. Крайнік Л. В., Гуляєва К. Ю. Аналіз впливу комунальної теплоенергетики на стан атмосферного повітря малих міст України. 2022. *Збірник наукових праць НУЦЗУ*, 1(8), С. 135–142.

24. Кузьменко Л. І. Проблеми утилізації золошлакових відходів теплових електростанцій. 2019. *Енергетична екологія*, № 1, С. 9–15.

25. Кузьменко П. М. *Основи теплоенергетики: навч. посібник*. 2020. Київ: НТУУ «КПІ». 276 с.

26. Кузьмін А. І., Свириденко В. В. Стратегічні напрями зниження екологічного навантаження від теплоенергетичного комплексу в умовах

децентралізації. 2017. *Проблеми екології та охорони навколишнього середовища*, Т. 2, С. 65–72.

27. Литвин В. Ф. Зниження викидів оксидів азоту при спалюванні природного газу. 2022. *Енергетика та екологія*, № 2, С. 51–58.

28. Мельник С. В., Ткаченко О. М. *Екологічний моніторинг та діагностика забруднення атмосферного повітря промисловими викидами*. 2021. Львів: Видавництво Політехніки.

29. Мельник Ю. С. Вміст сірки у паливі та його вплив на кислотність атмосферних опадів. 2020. *Хімія і технологія палива*, № 5, С. 61–68.

30. Міністерство енергетики України. *Концепція розвитку відновлюваної енергетики до 2035 року*. 2022. Київ. 64 с.

31. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні (видання за 2021–2023 роки). Київ: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.

32. Національна стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. 2021. Київ: Міндовкілля. 92 с.

33. Назаренко Г. М. *Проблеми золошлакових відвалів у теплоенергетиці*. 2018. Львів: ЛП. 128 с.

34. Назаренко Г. М. *Рекультивация золошлакових відвалів теплоенергетики*. 2018. Львів: ЛП. 164 с.

35. Пархоменко Д. О. *Енергетична стратегія України: екологічні аспекти використання викопного палива*. 2021. Київ: Інтерсервіс. 212 с.

36. Розпопа В. А. Викиди дизельних електростанцій та їх вплив на якість повітря. 2022. *Екологічний вісник*, № 2, С. 60–67.

37. Степаненко І. І. *Екологічний моніторинг і управління техногенними ризиками*. 2021. Київ: Інтерсервіс. 240 с.

38. Степаненко І. І. Управління екологічними ризиками теплоенергетичних об'єктів. 2022. *Наукові праці ОДАБА*, № 3, С. 93–101.

39. Шевченко В. О. Токсичні елементи у відпрацьованих газах мазуту. 2022. *Вісник технічних наук*, № 3, С. 27–34.

40. Шевчук В. Я. Золошлакові відходи ТЕС як джерело техногенного забруднення. 2018. *Екологія і природокористування*, № 1, С. 21–28.
41. ДСТУ 8302:2015. *Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання*. 2016. Київ: УкрНДНЦ. 16 с.
42. Andriienko, V. O. *Ecological aspects of liquid fuel combustion in energy production*. 2020. Kyiv: Naukova Dumka. 184 p.
43. Babenko, I. M. *The impact of natural gas combustion on urban air quality*. 2019. Kharkiv: KhNURE. 156 p.
44. Chen, S., & Li, M. Assessment and optimization of air pollution control strategies for small-scale urban heating plants. 2019. *Journal of Environmental Management*, 230, 201–210.
45. Dovhaniuk, T. L. *Monitoring of nitrogen oxide emissions during natural gas combustion*. 2021. Kyiv: NTUU “KPI”. 132 p.
46. European Environment Agency (EEA). *Air quality in Europe: Report 2023*. 2023. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
47. European Environment Agency (EEA). *Industrial air pollution in Europe: trends and impacts*. 2022. Copenhagen: EEA Report No. 5/2022. 132 p.
48. Hu, Y., & Zhang, Y. Emissions reduction potential and cost analysis of small-scale coal-fired boilers in urban areas. 2016. *Applied Energy*, 180, 715–725.
49. International Energy Agency (IEA). *Energy Technology Perspectives 2023*. 2023. Paris: IEA Publications. 624 p.
50. International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2023*. 2023. Paris: IEA Publications. 524 p.
51. IPCC. *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. 2022. Cambridge: Cambridge University Press. 2932 p.
52. Koppe, T., & Jager, A. The impact of local heating facilities on urban air quality and public health: A review of mitigation strategies. 2021. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054041.
53. Sokhan, S. E., & Smith, J. R. Integrated environmental diagnosis and

strategic planning for municipal energy systems. 2018. *Sustainable Cities and Society*, 43, 332–341.

54. UNEP (United Nations Environment Programme). *Global Environment Outlook 6*. 2019. Nairobi: UNEP. 745 p.

55. UNEP (United Nations Environment Programme). *Air Pollution and Clean Energy Transition*. 2021. Nairobi: UNEP. 175 p.

56. Wang, T., & Liu, P. Modeling and assessment of air pollutant dispersion from urban heat sources in small cities. 2020. *Atmospheric Environment*, 224, 117366.

57. World Bank. *Sustainable Energy Transition in Eastern Europe and Central Asia*. 2022. Washington: World Bank. 218 p.