

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури
Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет будівництва і архітектури

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

НЕГОДА НАЗАРІЙ В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 504.05:504.062:504:064

ДИСЕРТАЦІЯ
УПРАВЛІННЯ МЕДИЧНИМИ ВІДХОДАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ
МОБІЛЬНИХ ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

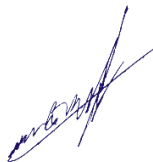
101 – Екологія

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Назарій НЕГОДА



Науковий керівник Жукова Олена Григорівна, канд. техн. наук, доцентка

Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Негода Н.В. Управління медичними відходами з використанням мобільних плазмових технологій

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки», за спеціальністю 101 – «Екологія». Київський національний університет будівництва і архітектури, МОН України, Київ, 2025.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню науково-прикладного завдання удосконалення наявних та розробки нових підходів безвідходної технології знищення небезпечних медичних відходів в місці їх накопичення за допомогою плазмохімічних піролізних технологій з метою блокування попадання їх в загальні муніципальних комунально-побутові потоки та їх фінішного накопичення на санкціонованих і не санкціонованих полігонах чи звалищах.

У розділі 1 згідно з документами ВООЗ, здоров'я орієнтоване місто (ЗОМ) визначається таким містом, в якому в основу міського розвитку, планування транспортної інфраструктури, архітектури, екології довкілля, охорони здоров'я та освіти вся політика створення та розвитку послуг і умов проживання організована для максимального забезпечення і підтримки фізичного, психічного та соціального здоров'я його мешканців на основі багатьох базових принципів.

Один з таких принципів акцентує на те, що ЗОМ повинне бути повністю вільним від будь-якого накопичення муніципальних та комунально-побутових твердих і рідких відходів виключаючи їх перевезення по території міста та утворення полігонів і сміттєзвалищ навіть поза міською смугою. Цей принцип є особливо болючим для громадян України і для її національної безпеки, що в умовах повномасштабної війни на території України породжує важкі і складні екологічні та медичні проблеми для вирішення яких необхідні нові технологічні підходи та

високоєфективні технології переробки, утилізації і знищення небезпечних медичних та фармацевтичних відходів (НМФВ). При цьому юридично НМФВ не входять у звичайну систему поводження з міськими ТПВ [1].

На сьогодні найпоширенішими методами фінішної утилізації будь-яких муніципальних та комунально-побутових відходів (МКПВ) є їх спалювання в інсинераторах або на відкритому повітрі, а також поховання на полігонах і сміттєзвалищах. Однак переважна більшість НМФВ попадає в загальні потоки МКПВ і потрапляє на сміттєзвалища і полігони, і таким шляхом далі вони можуть проникати в харчові ланцюги. Тому Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) не рекомендувала низькотемпературне спалювання будь-яких НМФВ і особливо в установках із низьким рівнем очищення вихлопних димних сумішей. Отже, рекомендації ВООЗ виключають застосування низькотемпературної інсинерації без належного екологічного очищення димових газів. В ідеалі температура згоряння відходів в первинній камері інсинератора повинна бути більшою за 800°C, а у вторинній камері допалювання — мінімум 1000°C.

У якості альтернативного підходу для формування здоров'яорієнтованих міст в роботі розглядається стратегія «Zero Waste» яка була реалізована в окремих містах - м. Любляна (Словенія), м. Сан-Франциско (США), м. Капанорі та м. Канберра (Австралія). Однак повної ліквідації або зупинки накопичення відходів поки що не досягнуто на жодному муніципалітеті. При цьому виявилось, що у більшості великих промислових міст і навіть країн важко і навіть неможливо створити повноцінну інфраструктуру для «Zero Waste». Тому на сьогодні ця стратегія залишається більше ідеологічним стратегічним орієнтиром, а не масштабною практичною реальністю. Однією з причин цієї ситуації є те, що технологічне наповнення стратегії «Zero Waste» не придатне для повноцінного медико-екологічного безпечного універсального впровадження його перш за все в системі поводження з НМФВ.

З метою подальшого удосконалення стратегії «Zero Waste» в системі поводження з НМФВ в м. Києві в роботі пропонуються високотемпературні плазмові дугові технології, зокрема, модульні повністю автоматизовані плазмохімічної установки які можуть оперативно доставлятися в місця вироблення або накопичення НМФВ. Впровадження таких установок в системі поводження з НМФВ дозволить: поступово збільшувати видалення і знищення НМФВ із загальних потоків муніципального та комунально-побутових відходів;

Екологічний та медико-біологічний ефекти впровадження Zero Waste для медичних відходів в м. Києві перш за все дозволяє зменшити частоту та кількість хронічних та інфекційних захворювань серед населення, а значить і зменшення кількості випадків госпіталізації громадян через хімічні ураження шкірні та респіраторні хвороби через зменшення забруднення повітря та ризиків забруднення поверхневих та підземних вод.

Тому нова стратегія Zero Waste в системі поводження з НМФВ повинна не просто зменшити кількість медичних відходів, а реально виключити усі ланки наявного ланцюга на якому вибудована вся система поводження з НМФВ: збирання → оброблення → утилізацію → можливість повторного несанкціонованого використання → небезпечного транспортування → утворення, накопичення та зберігання небезпечних концентрованих технологічно не перероблюваних залишків.

Реалізація муніципального проекту «Zero Waste» для медичних відходів у м. Києві на основі технології «Плазмон-3М» дасть можливість екологічно безпечно утилізувати усі 100% НМФВ шляхом їх високотемпературної трансформації на нетоксичні сполуки і значно спростити систему поводження з НМФВ, а також ліквідувати небезпечні численні транспортні операції з НМФВ і, як наслідок, усунути ризики медико-екологічного зараження довкілля і максимально зменшити логістичні витрати. Однак плазмові технології для виконання проектів

Waste-to-energy (WTE) все ще залишається на стадії досліджень і експериментів.

У розділі 2 здійснено оцінку антропогенного впливу умов урбоекосистем на здоров'я населення м. Київ. В ході досліджень було визначено та доведено, що формування здороорієнтованого міського простору неможливе без зменшення міських муніципальних відходів, особливої уваги потребує проблема утворення медичних відходів, що пов'язано із повномасштабним вторгненням, а також як наслідки — забруднення повітря, води та ґрунту, втрати біорізноманіття, руйнування екосистем та інше. Удосконалено методику оцінки ризиків для міського населення та запропоновано використання індексів ризиків небезпечних явищ на території урбоекосистем природного та техногенного характеру.

Стан та вплив наявних впливів характеризувався за допомогою оцінки та характеристики концентрацій забруднювальних речовин в складових навколишнього середовища, оцінці рівня та інтенсивності шуму, вібрацій та ін., порівняння їх з ГДК.

Відповідно до проведеної оцінки було доведено, що кількість утворених відходів на пряму залежить від рівня добробуту населення, а недосконалість та неорганізованість системи поводження з відходами прямо загрожує загальному стану здоров'я населення. При цьому було розраховано основні ризики (канцерогенні та неканцерогенні), які виникають в процесі життєдіяльності містян, що значною мірою пов'язані із забруднення атмосферного повітря.

Визначено, що одним з основних критеріїв оцінки рівня здоров'яорієнтованості міського середовища є відповідність міських інфраструктур потребам населення, рівень якого оцінюється на основі гігієнічного критерію міського середовища. При цьому показано, що ризики розвитку канцерогенних та неканцерогенних ризиків значною мірою пов'язані із забруднення атмосферного повітря, захворюваність населення в

антропогенно навантажених районах більша в 1,5 рази, ніж в районах з нижчим навантаженням.

У розділі 3 виконано аналіз світового та вітчизняного техно екологічного досвіду розробки, створення і застосування плазмових електродугових високо температурних технологій для утилізації НМФВ. Проведено дослідження техно екологічних та експлуатаційних параметрів плазмової установки для високотемпературної плазмохімічної утилізації токсичних речовин у польових умовах з дотриманням санітарно-гігієнічних вимог STANAG 2982 «Essential field sanitary requirements». Стандартизовані норми НАТО, визначають мінімальний набір санітарно-гігієнічних правил для військових у польових умовах.

Плазмохімічні технології здатні знищувати хлоровані органічні сполуки з ефективністю знищення до 99,9% з дуже високими характеристиками деструкції діоксинів та фуранів на рівні $(5-9) \cdot 10^{-3}$ нг/м³, що набагато менше за нормативні екологічні світові стандарти.

В Україні експериментальні мобільні плазмові дугові установки «Плазмон-1,2,3М» з максимальною електричною потужністю становить 90 кВт, були створені на базі вітчизняного плазмового генератора постійного струму ПУН-1 в якому плазмоутворювальним газом може бути повітря, а температура в реагентній зоні горіння (РЗГ) може підтримуватися на рівні (1500-4000) °С і забезпечувати ступінь молекулярної деструкції відходів до 99,%. і навіть більше. При цьому потужне ультрафіолетове випромінювання плазмової дуги значно прискорює деструкцію відходів з повним знищенням патогенних мікроорганізмів.

Експериментально-промислова мобільна плазмова електродугова установка «Плазмон-3М», на якій проводилися авторські дослідження процесів для переробки та утилізації медичних відходів має наступні характеристики: 10-12 т/добу; вологість — до 20%; неорганічна компонента — до 20%. При цьому установка «Плазмон-3М» також може застосовуватися для знищення практично всіх категорій лікарняних відходів: бавовняні

вироби, різні пластмаси, целюлозно-полімерні пов'язки, полівінілхлоридні пакети для крові, рукавички та катетери з поліуретану чи з силіконової гуми, поліетиленові та поліметилметакрилатні матеріали, скло та інші, а також для перероблення радіо фармацевтичних відходів.

У розділі 4 в роботі було запропоновано спрощену експрес-методику для оцінки енергетичного балансу і параметрів очищення фінішної димової суміші для оцінки ефективності роботи плазмової установки «Плазмон-3М» для визначення її енергетичного балансу та параметрів очищення продукт-сумішей.

У розділі описані результати експериментальних лабораторних вимірювань і заводських випробувань мобільної установки «Плазмон-3М». Зокрема представлено результати дослідження робочих характеристик плазмового генератора ПУН-1 та результати спектрофотометричних вимірювань складу фільтрувального змішаного розчину лабіринтного рідинного фільтра. Аналіз проб проводився за допомогою спектрофотометра FT-801.

В плазмохімічному реакторі при спалюванні твердих медичних органічних відходів з вмістом вуглецю також утворюється високоенергетичний синтез-газ який значно простіше, економніше і ефективніше використовувати цей синтез-газ в неочищеному вигляді для власних потреб плазмової установки з метою економії зовнішнього електроспоживання та «допалювання» утворюваних в димовій суміші небезпечних речовин з метою доведення вихлопних димових сумішей до екологічних вимог державних і міжнародних норм, правил та методів щодо безпечної утилізації медичних відходів, включаючи інфіковані відходи.

Результати експериментальних температурних вимірювань розподілу температури (температурний профіль реагентного простору реактора по висоті) уздовж центральної осі симетрії циліндричного реактора реакційної зони, від горизонтальної площини сопла плазмового струменя до виходу вихлопної димової газоаерозольної суміші дозволяють оцінити

ефективність процесу, стабільність роботи установки та рівень утворення побічних продуктів.

Під час роботи установки на потужності генератора плазми 12 кВт було виявлено температурні пульсації в інтервалі $\sim (1200-1600)$ °С виникнення яких можна пояснити залежністю відбору потужності плазмового струменю на прогрівання медичних відходів до температур, що забезпечують виникнення плазмохімічних деструкційних процесів інтенсивність яких залежить від швидкості та нерівномірності їх надходження в реагентну зону реактора та від потужності плазмового струменя, а також залежно від зміни речовинного складу та температури вхідних відходів.

В розділі також проведено порівняльний аналіз характеристик плазмових генераторів з метою їх вибору, охолодження та фільтрація димових та конденсованих сумішей. Описано переваги і недоліки плазмових генераторів постійного струму.

Кількість відходів, що пройшли через плазмохімічний реактор, скорочується від 50 до 400 разів.

Для удосконалення системи охолодження та очищення рідких і димових сумішей використано додатковий самопромивний блок фільтраційного очищення рідкого забрудненого залишку. Ще один додатковий зовнішній блок і використовується для допалювання газоаерозольного димового залишку з використанням синтез-газу утворюваного в плазмо хімічному реакторі установки.

На основі результатів отриманих в даному розділі надано описання теплофізичних, фізико-хімічних та плазмохімічних процесів і перетворень на етапах реакторного та після реакторного технологічних циклів

Для перевірки правильності теоретичних уявлень про механізм процесу плазмохімічної деструкції медичних відходів була розроблена й створена пілотна лабораторна установка «Плазмон-1», а згодом і дослідно-промислові установки «Плазмон-2» та «Плазмон-3М».

Було визначено температурні режими в різних зонах плазмохімічного реактора на початковій, робочій і завершальній стадіях процесу з метою уникнення різких змін теплових навантажень на конструкційні елементи.

Значення температури в камері допалювання становить 1200–1400 °C з часом перебування димових газів ~2с достатня для високоефективного знешкодження всіх токсичних органічних продуктів, зокрема й галогеновмісних.

При цьому в реакторі з генератором плазми ПУН-1 для створення стаціонарного стану та організації процесу із чітким розподілом зон горіння, відновлення, сухої перегонки і сушки потрібно підтримувати достатню висоту шару відходів.

Отримані результати та набутий практичний досвід дозволили перейти до вирішення конкретних завдань знищення відходів з метою захисту навколишнього середовища, розробки нових ефективних технологій та створення надійних установок для утилізації особливо токсичних видів відходів. При цьому специфічні властивості медичних відходів передбачають дотримання норм етики, епідеміологічних та екологічних стандартів при роботі з ними. Ці норми забороняють застосування загальних принципів поводження з відходами, таких як сортування, попередня переробка та використання як вторинної сировини. Крім того, категорично заборонено змішувати їх із побутовими відходами та захоронювати на міських звалищах.

На виході з газоходу, тобто на виході з рукавного фільтру за допомогою газоаналізатора MSI-2000 проводилися вимірювання вмісту оксиду азоту та оксиду вуглецю у димових аерозольних залишках. Діапазон вимірювання за оксидом азоту становив $NO \Rightarrow 0-1227 \text{ мг/м}^3$, для оксиду вуглецю - $CO \Rightarrow 0-2000 \text{ мг/м}^3$.

Найцікавішим є той факт, що в процесі експериментів, майже від початку процесу протягом стадій виходу летких та відновлювального етапу стадії вигорання вуглецю, оксид азоту в димових газах не виявлявся.

Газоаналізатор ОКСИ 5М використовувався для тестових вимірювань CO₂, викидів в атмосферу кисню O₂; окису вуглецю CO; оксиду азоту NO; діоксиду азоту NO₂; діоксиду сірки SO₂; тиску в газоводі (P); температури T°С димових газів під час тестового обслуговування установки.

Експериментальна установка «Плазмон-3» на базі вітчизняного генератора плазми отримала сертифікат на відповідність серійному впровадженню та пройшла заводські випробування і готова для серійного впровадження в системі поводження з небезпечними медичними відходами, а також для проведення лабораторних досліджень процесів високотемпературної плазмохімічної деструкції.

Досвід створення та експлуатації плазмохімічних установок різного призначення показує, що на сьогодні ця технологія ще не готова для широкомасштабного масового знищення потоків змішаних муніципальних та комунально-побутових відходів на полігонах та звалищах. Але при цьому вона є єдиною мобільною технологією здатною знищувати небезпечні медичні відходи безпосередньо на місцях їх утворення або накопичення з метою їх видалення із загальних міських потоків відходів.

Удосконалена схема зовнішнього блоку охолодження та очищення рідких та димових сумішей. У разі спалювання медичних відходів з непередбачуваним особливо небезпечним хімічним складом використовується додатковий зовнішній фільтрувальний блок.

Для зниження зовнішніх енерговитрат утворювану в плазмохімічному реакторі горюча продукт-суміш подається повторно в реагентну зону реактора або в зовнішній блок допалювання для покращення екологічних та економічних показників установки, що дає економію електроенергії до (20-40)%.

Ключові слова: здоров'яорієнтоване місто, урбоєкосистема, антропогенний вплив, небезпечні медичні та фармацевтичні відходи, муніципальні відходи, екологічні ризики, техногенний вплив, стратегія нуль відходів, екологічна безпека, плазмохімічний піроліз, плазмовий генератор.

ABSTRACT

Nehoda N. Medical waste management using mobile plasma technologies
Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 10
– “Natural Sciences,” specialty 101 – “Ecology.” Kyiv National University of
Construction and Architecture, Ministry of Education and Science of Ukraine,
Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to solving the scientific and applied problem of
reducing the negative impact of anthropogenic load of the population and city
infrastructure on its urban ecosystems.

In Chapter 1, according to WHO documents, a health-oriented city (HOC)
is defined as a city in which urban development, transport infrastructure planning,
architecture, environmental ecology, health care, and education, all policies for
the creation and development of services and living conditions are organized to
maximize and support the physical, mental, and social health of its residents based
on many basic principles.

One of these principles emphasizes that the ZOM must be completely free
of any accumulation of municipal and household solid and liquid waste, excluding
its transportation within the city and the creation of landfills and dumps even
outside the city limits. This principle is particularly painful for the citizens of
Ukraine and for its national security, as in the context of full-scale war on the
territory of Ukraine, it creates serious and complex environmental and medical
problems that require new technological approaches and highly efficient
technologies for the processing, disposal, and destruction of hazardous medical
and pharmaceutical waste (HMPW). At the same time, legally, HMW is not
included in the normal system of municipal solid waste management [1].

Currently, the most common methods of final disposal of any municipal
and household waste (MHHW) are incineration in incinerators or in the open air,
as well as burial in landfills and dumps. However, the vast majority of NMWs end
up in general waste streams and are sent to landfills and dumps, where they can

enter the food chain. Therefore, the World Health Organization (WHO) has not recommended low-temperature incineration of any MSW, especially in facilities with low levels of exhaust gas purification. Thus, WHO recommendations exclude the use of low-temperature incineration without proper environmental purification of flue gases. Ideally, the waste combustion temperature in the primary chamber of the incinerator should be above 800°C, and in the secondary afterburning chamber — at least 1000°C.

As an alternative approach to creating health-oriented cities, the paper considers the Zero Waste strategy that has been implemented in certain cities, such as Ljubljana (Slovenia), San Francisco (USA), Kapanori and Canberra (Australia). However, no municipality has yet achieved complete elimination or cessation of waste accumulation. At the same time, it has become apparent that in most large industrial cities and even countries, it is difficult or even impossible to create a full-fledged infrastructure for Zero Waste. Therefore, today this strategy remains more of an ideological strategic guideline than a large-scale practical reality. One of the reasons for this situation is that the technological content of the Zero Waste strategy is not suitable for full-fledged, medically and environmentally safe, universal implementation, primarily in the system of handling non-hazardous municipal waste.

As an alternative approach to creating health-oriented cities, the paper considers the Zero Waste strategy that has been implemented in certain cities, such as Ljubljana (Slovenia), San Francisco (USA), Kapanori and Canberra (Australia). However, no municipality has yet achieved complete elimination or cessation of waste accumulation. At the same time, it has become apparent that in most large industrial cities and even countries, it is difficult or even impossible to create a full-fledged infrastructure for Zero Waste. Therefore, today this strategy remains more of an ideological strategic guideline than a large-scale practical reality. One of the reasons for this situation is that the technological content of the Zero Waste strategy is not suitable for full-fledged, medically and environmentally safe, universal implementation, primarily in the NMW management system.

The environmental and medical-biological effects of implementing Zero Waste for medical waste in Kyiv will, first and foremost, reduce the frequency and number of chronic and infectious diseases among the population, and thus reduce the number of hospitalizations due to chemical skin and respiratory diseases by reducing air pollution and the risks of surface and groundwater contamination.

Therefore, the new Zero Waste strategy in the medical waste management system should not only reduce the amount of medical waste, but also effectively eliminate all links in the existing chain on which the entire medical waste management system is based: collection → processing → disposal → possibility of unauthorized reuse → hazardous transportation → formation, accumulation, and storage of hazardous concentrated technologically non-recyclable residues.

The implementation of the Zero Waste municipal project for medical waste in Kyiv based on the Plazmon-3M technology will make it possible to safely dispose of 100% of NMW by transforming it into non-toxic compounds at high temperatures, significantly simplify the system for handling hazardous MW, eliminate numerous dangerous transport operations involving NMW and, as a result, eliminate the risks of medical and environmental contamination and minimize logistics costs. However, plasma technologies for waste-to-energy (WTE) projects are still in the research and experimental stage.

Section 2 assesses the anthropogenic impact of urban ecosystem conditions on the health of the population of Kyiv. The research identified and proved that the creation of a health-oriented urban space is impossible without reducing municipal and household waste. with particular attention being paid to the problem of medical waste generation, which is associated with full-scale intrusion, as well as the consequences - air, water, and soil pollution, loss of biodiversity, destruction of ecosystems, etc. The methodology for assessing risks for the urban population has been improved and the use of risk indices for hazardous phenomena in the territory of urban ecosystems of natural and technogenic nature has been proposed.

The state and impact of existing influences were characterized by assessing and describing the concentrations of pollutants in the components of the environment, assessing the level and intensity of noise, vibrations, etc., and comparing them with MPCs.

According to the assessment, it was proven that the amount of waste generated directly depends on the level of well-being of the population, and the imperfection and disorganization of the waste management system directly threatens the general health of the population. At the same time, the main risks (carcinogenic and non-carcinogenic) arising in the course of urban life, which are largely related to atmospheric pollution, were calculated. An algorithm was also developed to study the cause-and-effect relationship between anthropogenic and climatic factors and their impact on the urban environment and public health.

It has been determined that one of the main criteria for assessing the health-oriented nature of the urban environment is the compliance of urban infrastructure with the needs of the population, the level of which is assessed on the basis of the hygienic criterion of the urban environment. At the same time, it has been shown that the risks of developing carcinogenic and non-carcinogenic risks are largely associated with atmospheric air pollution, and the incidence of disease among the population in anthropogenically loaded areas is 1.5 times higher than in areas with lower loads.

Section 3 analyzes global and domestic technological and environmental experience in the development, creation, and application of plasma arc high-temperature technologies for the disposal of NMW. A study was conducted on the technological, environmental, and operational parameters of a plasma installation for high-temperature plasma-chemical disposal of toxic substances in field conditions in compliance with the sanitary and hygienic requirements of STANAG 2982 “Essential field sanitary requirements.” The aim is to standardize the minimum sanitary standards to be observed by NATO forces during field operations. Standardized NATO standards that define the minimum set of sanitary

and hygienic rules for military personnel in field conditions - “Essential field sanitary requirements”.

At the same time, plasma chemical technologies are capable of destroying chlorinated organic compounds with an efficiency of up to 99.9% with very high destruction characteristics of dioxins and furans at the level of $(5-9) \cdot 10^{-3} \text{ ng/m}^3$, which is much lower than the regulatory environmental standards.

In Ukraine, experimental mobile plasma arc installations “Plasmon-1,2,3” were created on the basis of the domestic direct current plasma generator PUN-1, in which air can be used as a plasma-forming gas and its maximum electrical power is 90 kW and the temperature in the reagent combustion zone (RCZ) can be maintained at 1500-3500°C and ensure a degree of molecular destruction of waste up to 99.95%.

An important feature of plasma pyrolysis compared to traditional incineration of MSW is that preliminary waste sorting is greatly simplified or becomes completely unnecessary. At the same time, the high temperatures and powerful ultraviolet radiation of the plasma arc significantly accelerate the destruction of waste with the complete destruction of pathogenic microorganisms. And high temperatures in the reagent zone minimize the duration of heat treatment of waste and ensure high productivity in its processing/disposal.

The experimental-industrial mobile plasma arc installation “Plasmon-3M”, on which the author's research on the processes for processing and disposal of medical waste was carried out, has the following characteristics: 10-12 tons/day; moisture content - up to 20%; inorganic component - up to 20%; special additives - 1.5 tons/day; coke - 0.4 tons/day. At the same time, the Plasmon-3M unit can also be used to destroy virtually all categories of hospital waste: cotton products, various plastics, cellulose-polymer bandages, polyvinyl chloride blood bags, gloves and catheters made of polyurethane or silicone rubber, polyethylene and polymethyl methacrylate materials, glass and others, as well as for the processing of radioactive pharmaceutical waste.

The energy balance of smoke mixture purification processes in the plant is determined by comparing the energy consumption for plasma generation and reaction process maintenance with the amount of energy that can be obtained in the form of solid, liquid, or gaseous useful products. Plasmochemical pyrolysis technology eliminates virtually all the shortcomings of other existing waste disposal technologies and represents a comprehensive solution for the safe disposal of medical waste with over 99% conversion of organic matter into gas and no need for segregation of chlorinated hydrocarbons.

In Section 4 of the paper, a simplified express methodology was proposed for assessing the energy balance and purification parameters of the final smoke mixture to evaluate the efficiency of the Plazmon-3M plasma unit to determine its energy balance and purification parameters of product mixtures.

The section describes the results of experimental laboratory measurements and factory tests of the Plazmon-3M mobile unit. In particular, it presents the results of research into the operating characteristics of the PUN-1 plasma generator and the results of spectrophotometric measurements of the composition of the mixed solution filtered by a labyrinth liquid filter. The samples were analyzed using an FT-801 spectrophotometer.

In a plasma chemical reactor, when burning solid medical organic waste containing carbon, high-energy synthesis gas is also produced, which is much easier, more economical, and more efficient to use in its unpurified form for the plasma unit's own needs in order to save external electricity consumption and “afterburning” hazardous substances formed in the smoke mixture in order to bring the exhaust smoke mixtures into compliance with the environmental requirements of state and international standards, rules, and methods for the safe disposal of medical waste, including infected waste.

The results of experimental temperature measurements of temperature distribution (temperature profile of the reactor reagent space along the height) along the central axis of symmetry of the cylindrical reactor of the reaction zone, from the horizontal plane of the plasma jet nozzle to the outlet of the exhaust

smoke gas-aerosol mixture allow us to evaluate the efficiency of the process, the stability of the installation, and the level of by-product formation.

To improve the cooling and purification system for liquid and smoke mixtures, an additional self-cleaning filtration unit for liquid contaminated residue is used. Another additional external unit is used for afterburning gas-aerosol smoke residue using synthesis gas generated in the plasma chemical reactor of the installation.

Based on the results obtained in this section, a description of the thermophysical, physicochemical, and plasma-chemical processes and transformations at the stages of the reactor and post-reactor technological cycles is provided.

To verify the correctness of theoretical ideas about the mechanism of the plasma-chemical destruction of medical waste, a pilot laboratory installation “Plasmon-1” was developed and created, and later experimental industrial installations “Plasmon-2” and “Plasmon-3M”.

Temperature regimes in different zones of the plasma-chemical reactor were determined at the initial, working, and final stages of the process in order to avoid sudden changes in thermal loads on structural elements.

The temperature in the afterburning chamber is 1200–1400°C with a smoke gas residence time of ~2 s, which is sufficient for highly efficient destruction of all toxic organic products, including halogen-containing ones.

At the same time, in the reactor with the PUN-1 plasma generator, in order to create a steady state and organize the process with a clear distribution of combustion, recovery, dry distillation, and drying zones, it is necessary to maintain a sufficient height of the waste layer.

The results obtained and the practical experience gained have made it possible to move on to solving specific waste disposal problems with the aim of protecting the environment, developing new effective technologies, and creating reliable facilities for the disposal of particularly toxic types of waste. At the same time, the specific properties of medical waste require compliance with ethical,

epidemiological, and environmental standards when working with it. These standards prohibit the application of general waste management principles, such as sorting, pre-processing, and use as secondary raw materials. In addition, it is strictly forbidden to mix it with household waste and bury it in municipal landfills.

At the outlet of the gas duct, i.e., at the outlet of the bag filter, the MSI-2000 gas analyzer was used to measure the content of nitrogen oxide and carbon monoxide in the smoke aerosol residues. The measurement range for nitrogen oxide was $\text{NO} \Rightarrow 0\text{--}1227 \text{ mg/m}^3$, and for carbon monoxide - $\text{CO} \Rightarrow 0\text{--}2000 \text{ mg/m}^3$.

The most interesting fact is that during the experiments, almost from the beginning of the process, throughout the stages of volatile release and the carbon burnout stage, no nitrogen oxide was detected in the smoke gases.

The OKSY 5M gas analyzer was used for test measurements of CO_2 , oxygen O_2 emissions into the atmosphere; carbon monoxide CO ; nitrogen oxide NO ; nitrogen dioxide NO_2 ; sulfur dioxide SO_2 ; pressure in the gas duct (P); and the temperature $T^\circ\text{C}$ of flue gases during test maintenance of the installation.

The experimental installation “Plasmon-3” based on a domestic plasma generator has received a certificate of conformity for serial implementation, has passed factory tests, and is ready for serial implementation in the hazardous medical waste management system, as well as for conducting laboratory studies of high-temperature plasma-chemical destruction processes.

Experience in creating and operating plasma chemical plants for various purposes shows that this technology is not yet ready for large-scale mass destruction of mixed municipal and household waste streams at landfills and dumps. However, it is the only mobile technology capable of destroying hazardous medical waste directly at the site of its generation or accumulation in order to remove it from the general municipal waste streams.

An improved external cooling and purification unit for liquid and smoke mixtures. In the case of incineration of medical waste with an unpredictable, particularly hazardous chemical composition, an additional external filtration unit is used.

To reduce external energy costs, the combustible product mixture formed in the plasma chemical reactor is fed back into the reactor's reagent zone or into an external afterburning unit to improve the environmental and economic performance of the plant, resulting in energy savings of up to (20-40)%.

Keywords: *health-oriented city, urban ecosystem, anthropogenic impact, hazardous medical and pharmaceutical waste, municipal waste, environmental risks, technogenic impact, zero waste strategy, environmental safety, plasma chemical pyrolysis, plasma generator*

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

а) статті в наукових виданнях, внесених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» :

1. **Негода Н.В., Жукова О.Г.** Прогноз змін кліматичних факторів міста Київ та їх вплив на життєвий цикл будівель. *Екологічна безпека та природокористування*. 2022. №43. С.64–72. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.3.64-72>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні впливу кліматичних параметрів на забудову міських кварталів у складних природно-кліматичних умовах.

2. **Негода Н.В., Жукова О.Г.** Формування здоров'яорієнтованого міського простору як спосіб управління ризиками для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2023. №5 (50). С.166-174. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.24>

Особистий внесок здобувача полягає в пропозиції використовувати ряд показників для оцінки ступеня сформованості комфортного та екологічно безпечного середовища для життєдіяльності, встановлено залежність стану здоров'я міського населення від стану забруднення міського середовища.

3. **Негода Н.В.** Вплив урбанізованого середовища на стан здоров'я населення. *Техніка будівництва*. 2024. №40. С. 87-92. URL: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0309>

4. **Негода Н.В., Жукова О.Г., Кордуба І.Б.** Екологічні аспекти оцінки стану урбоекосистем та здоров'я населення. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2024. №3 (146). С.66-72. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.3.9>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні стану компонентів міського середовища кількісними показниками оцінки концентрації

шкідливих речовин, рівнів шумового, магнітного та радіаційного впливів та зіставлення їх із нормованими параметрами відповідних компонентів довкілля.

5. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Характеристика основних порушень функціонально-планувальної структури урбоєкосистем внаслідок антропогенного навантаження. *Техніка будівництва*. 2025. №42. С.137-145. URL: <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0516>

Особистий внесок здобувача полягає в оцінці рівня втрати якості міського середовища з надзвичайно високим рівнем фізико-хімічного забруднення атмосфери, шумовим, вібраційним і іншими видами техногенного впливу, а й з появою на території міст кліматичних аномалій.

6. **Негода Н.В.**, Ващенко В.М., Кордуба І.Б., Хафез Ненсі Махмуд. Технологічні та екологічні особливості установок для плазмохімічного піролізу медичних відходів. *Техніка будівництва*. 2024. №40. С.93–108. URL: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0310>

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі особливостей методів спалювання медичних відходів, продемонстровано, що плазмодугові технології та технології плазмохімічного піролізу є добре перевіреними і комерційно привабливими для їх застосування.

б) статті у закордонних виданнях

7. **Nehoda N.**, Vashchenko V., Korduba I., Hafez N. Engineering and physical basis for the design and development of plasma-chemical reactors for mobile medical waste disposal units. *Open Ecological Journal*. 2024. №14 (9). P. 651-662. URL: [DOI: 10.4236/oje.2024.149037](https://doi.org/10.4236/oje.2024.149037)

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні основних інженерно-фізичних параметрів плазмохімічних реакторів для мобільних установок призначених для утилізації медичних відходів.

8. **Nehoda N.**, Vashchenko V., Korduba I., Hafez N., Tsybitovskiy S., Trach Y. Engineering and physical bases and environmental safety of plasmochemical disposal of hazardous medical waste. *Acta Sci. Pol. Architectura*.

2024. № 24 (1). P.16–27. URL: <https://doi.org/10.22630/ASPA.2025.24.2>

Особистий внесок здобувача полягає в описі конструкції, принципу роботи, інженерних та фізичних принципів створення установки «Плазмон-3», призначеної для утилізації будь-якого типу та категорії медичних відходів шляхом їх знищення під дією високотемпературного плазмового напильника.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Будівельні матеріали та технології зниження забруднення навколишнього середовища в контексті змін клімату. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем: колективна монографія; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астроя», 2022. С.16-24. (ISBN: 978-617-7915-85-9). URL: https://www.researchgate.net/publication/367520848_Zahist_i_vidnovlenna_ekologicnoi_rivnovagi_ta_zabezpecenna_samovidnovlenna_ekosistem_Protecting_and_restoring_ecological_balance_and_ensuring_self-renewal_of_ecosystems

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі технологій зниження забруднення навколишнього середовища в контексті змін клімату

10. **Nehoda N. V.**, Zhukova O., Korduba I. B. Urban vulnerability to climate change and the methodology for assessing their vulnerability. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем: колективна монографія; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астроя», 2023. С. 242-250. (ISBN 978-617-8231-31-6). URL: https://www.researchgate.net/profile/Tetiana-Chaika-3/publication/375598510_Vidnovlenna_prirodno-resursnogo_potencialu_ta_stijkosti_ekosistem_Restoration_of_natural_resource_potential_and_sustainability_ecosystems/links/65520e7f3fa26f66f4fdcc31/Vidnovlenna-prirodno-resursnogo-potencialu-ta-stijkosti-ekosistem-Restoration-of-natural-resource-potential-and-sustainability-ecosystems.pdf

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методології оцінки вразливості міст до кліматичних змін.

11. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Вплив клімату урбанізованої території та основні параметри забудови. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2023. №65. с.119-128. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.119-128>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні організації урбанізованої території, впливу зміни кліматичних параметрів на будівлі та споруди, забруднення антропогенного та природного характеру.

12. **Негода Н.В.**, Волошкіна О.С., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Забруднення атмосферного повітря аерозольними частинками в світі і Україні, їх вплив на клімат і здоров'я. *Екологічна безпека держави: тези доповідей Другого всеукраїнського круглого столу* (м. Київ, 2022 р.), с.20-24. URL: https://itta.org.ua/wp-content/uploads/2022/01/ekologichna_bezpeka_derzhavi_tezi_dopovidej_drugo_go_vseukra%D1%97nskogo.pdf

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні впливу аерозольних частинок на здоров'я населення урбоекосистем.

13. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Роль будівель у контексті подолання наслідків зміни клімату. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: матеріали VII Міжнародного конгресу*, м. Київ, 2022 р., с. 86. URL: <https://science.lpnu.ua/uk/ekokongres-2024/zbirnyky-tez-2012-2022-rr>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні ролі будівель та споруд у контексті ефективного подолання наслідків зміни клімату.

14. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Вплив змін клімату на життєвий цикл будівель. *Екологія. Ресурси. Енергія. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях: робоча програма та тези доповідей III-ї міжнародної науково-практичної конференції*, м. Київ, 2022р. с.14-15. URL:

https://www.researchgate.net/publication/372779809_ERE-2022_Roboca_programa_ta_tezi_dopovidej_III-i_miznarodnoi_naukovo-prakticnoi_konferencii_Ekologia_Resursi_Energia_Bagatofunkcionalni_eko_-ta_energoefektivni_reursozberigaucci_tehnologii_v_arhitektur

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу впливу кліматичних факторів на життєвий цикл будівель.

15. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Фактори зміни кліматичних параметрів, які пов'язані із розвитком урбанізованої території. *International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2022»*, м. Київ, 2022 р., с.107-108. URL: https://drive.google.com/file/d/1bdS399kcf280b39UYVG3xFQlbPHy5Ht_/view

Особистий внесок здобувача полягає в визначенні основних кліматичних параметрів, які мають суттєвий вплив на розвиток урбоекосистем.

16. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. (2022) Причинно-наслідкова залежність негативного впливу кліматичних факторів на урбанізовану територію та здоров'я населення. *Матеріали VIII Міжнародного Молодіжного Конгресу*, м. Львів, 2022 р., с. 76. URL: <https://science.lpnu.ua/uk/ekokongres-2022/molodizhnyy-kongres-2022>

Особистий внесок здобувача полягає в оцінці причинно-наслідкових залежностей впливу кліматичних факторів на здоров'я населення

17. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Оцінка впливу екологічного стану урбоекосистеми на здоров'я населення та якість життя. *Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції*, м. Київ, 2023 р., с.119-121.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні екологічного впливу стану урбоекосистем та його вплив на стан здоров'я населення.

18. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. (2023) Задоволеність населення територією проживання, як фактор розвитку та формування екологічно безпечного міського середовища. *«Green Construction» («Зелене будівництво»):*

матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 2023 р., с. 354-356. URL:

https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні рівня задоволеності населення територією проживання.

19. **Негода Н.В.**, Кордуба І.Б., Жукова О.Г. Оцінка екологічного стану територій за допомогою ГІС-технологій. *Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: матеріали II Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених*, м. Луцьк, 2023 р., с. 114-117.

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні ефективності використання ГІС-технологій для оцінки екологічного стану території

20. **Негода Н.В.**, Кордуба І.Б., Жукова О.Г. Аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих територій. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Одеса, 2023 р., с. 139-140.

URL: <http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/12264/>

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні основних аспектів оцінки екологічного стану урбоекосистем.

21. **Негода Н.В.** Вплив будівельної галузі на довкілля. *Екологічна безпека держави: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*, м. Київ, 2023 р. Том 17, с. 81-82.

22. Voloshkina O., Efimenko V., Chornomordenko I., Zhukova O., Kaliukh I., **Nehoda N.** (2023) Geotechnical monitoring of the soil deformations influence on the post office building museum in the compacted urban development conditions. Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities. Lviv, 2023.

URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500001> (SCOPUS)

Особистий внесок здобувача полягає у оцінці впливу ущільненої міської забудови на стан будівель

23. Voloshkina O., Efimenko O., Sipakov R., **Nehoda N.**, Sviatohorov I.,

Shcherbakova O. (2023) Geodetic monitoring of the pit enclosure soil violations during the office center construction in Kyiv. XVII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”. Kyiv, 2023. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520057> (SCOPUS)

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні ефективності моніторингу для формування міського простору

24. **Негода Н.В.** Критерії формування здоров'яорієнтованого міського середовища. *Grundlagen Der Modernen Wissenschaftlichen Forschung: матеріали міжнародної конференції*, Schweiz «BOLESWA Publishers», Ukraine «UKRLOGOS Group». Zürich, 2024 p., с. 173-177.

25. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Еколого-гігієнічна оцінка факторів ризику для здоров'я населення урбоекосистем. *Технології та суспільство: взаємодія, вплив, трансформація: матеріали II Міжнародної наукової конференції*, м. Львів, 2024 p., с. 96-98.

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні методики еколого-гігієнічної оцінки для визначення ризиків

26. **Негода Н.В.** (2024) Соціально-екологічні проблеми великих міст та шляхи їх вирішення. «*Green Construction*»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 2024p., с. 253-256. URL:https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

28. **Негода Н.В.**, Кордуба І.Б., Ващенко І.В.(2025) Аналіз особливостей поводження з небезпечними медичними відходами в умовах війни в Україні: матеріали наукової конференції, м. Київ, 2025 p. с. 108-115.

Особистий внесок здобувача полягає у зборі моніторингових даних та їх аналізі.

29. **Негода Н.В.**, Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Методика визначення вуглецевого відбитку споруд очистки стічних вод: методичні рекомендації до виконання індивідуального завдання. Київ: КНУБА, 2023. 28 с.

URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/452b0050-681a-49af-8a7a-21177d7ae807/download>

31. Негода Н.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Методика визначення вуглецевого сліду від закису азоту процесу очистки стічних вод: методичні рекомендації до виконання індивідуального завдання. Київ: КНУБА, 2023.

12с. URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/452b0050-681a-49af-8a7a-21177d7ae807/download>

32. Негода Н.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Екологічне управління та планування в зеленому будівництві: методичні рекомендації до виконання практичних завдань. Київ: КНУБА, 2023. 44 с. URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/245b8a6d-2a6d-4253-9792-b0289fb53809/download>

33. Негода Н.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Стратегія сталого розвитку будівельної галузі в умовах кліматичних змін: методичні рекомендації до виконання практичних завдань. Київ: КНУБА, 2023. 32с. URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/11ea1a55-def0-4318-9377-50049c758ccf/download>

34. Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Негода Н.В., Старжинський П.С. Екологія людини: методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологія людини» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 «Екологія» у 2-х частинах (ч.1). Київ: КНУБА, 2025. 27 с.

35. Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Негода Н.В., Старжинський П.С. Екологія людини: методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологія людини» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 «Екологія» у 2-х частинах (ч.2). Київ: КНУБА, 2025. 27 с.

ЗМІСТ

	АНАТАЦІЯ.....	2
	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	32
	ВСТУП.....	33
РОЗДІЛ 1	ОГЛЯД СВІТОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ДОС- ВІДУ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВОДЖЕННЯ З МЕДИЧНИМИ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИМИ ВІД- ХОДАМИ В КОНТЕКСТІ СТВОРЕННЯ І РОЗВИ- ТКУ ЗДОРОВ'ЯОРІЄНТОВАНИХ МІСТ («HEALTHY CITIES»).....	42
1.1.	Аналіз екологічної небезпеки в системі поводження з відходами в Україні та світі, їх вплив на навколишнє середовище.....	42
1.2.	Ідея створення здоров'яорієнтованих міст («Healthy Cities») в документах ВООЗ.....	49
1.3.	Аналіз світового досвіду і особливостей базових технологічних принципів та результатів стратегії «Zero Waste».....	51
1.4.	Світовий досвід розробки та впровадження плазмодугових установок.....	56
1.5.	Про необхідність удосконалення стратегії «Zero Waste» в системі поводження з НМФВ в місті Києві на основі високотемпературних плазмохімічних тех- нологій.....	68
1.6.	Переваги та недоліки плазмодугових техноло- гій.....	75
1.7.	Екологічний ефект і значення стратегії «Zero Waste» «для поводження з медичними відходами у контексті	

	перетворення Києва у здоров'яорієнтоване місто.....	78
	Висновки до розділу 1.....	83
Розділ 2	ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ НЕГАТИВНИХ ВПЛИВІВ НА УРБОЕКОСИСТЕМИ ТА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ, АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ В СИСТЕМІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ У МІСТІ КИЇВ	85
2.1.	Оцінювання антропогенного екологічного впливу урбоекосистем на здоров'я населення.....	85
2.2.	Особливості формування здоров'яорієнтованого міського простору та управління ризиками здоров'я населення.....	104
	Висновки до розділу 2.....	117
Розділ 3	ТЕХНО-ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПЛАЗМОВОЇ ДУГОВОЇ УТИЛІЗАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕДИЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВІДХОДІВ.....	119
3.1.	Вибір, переваги і недоліки плазмових генераторів постійного струму, охолодження та фільтрація димових сумішей.....	113
3.2.	Плазмодугові технології як альтернативний метод перероблення та зниження впливу відходів медичної галузі на якість життя та функціонування населення.....	125
3.3	Оцінка енергетичного балансу і параметрів очищення вихлопних сумішей при плазмохімічній переробці медичних відходів.....	132

3.4.	Досвід спалювання медичних відходів в польових умовах під час війни.....	134
	Висновки до розділу 3.....	137
Розділ 4	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЬОВОЇ МОБІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ «ПЛАЗМОН-3М», УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ.....	140
4.1.	Спектрофотометричні вимірювання фільтрувального змішаного розчину лабіринтного рідинного фільтра.....	140
4.2.	Температурні вимірювання у плазмовому дуговому реакторі при спалюванні змішаних твердих медичних та фармацевтичних відходів.....	143
4.3.	Удосконалення системи охолодження та очищення вихлопних димових сумішей.....	146
4.4.	Теплофізичні, фізико-хімічні та плазмохімічні процеси і перетворення на етапах реакторного та після реакторного технологічних циклів.....	147
4.5	Вимірювання проведені за допомогою газоаналізатора MSI-2000.....	153
4.6	Головні результати лабораторних випробувань.....	155
	Висновки до розділу 4.....	157
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	158
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	160
	Додаток А. Перелік опублікованих праць.....	173
	Додаток Б. Довідки про впровадження.....	181
	Додаток В. Сертифікат відповідності.....	185

Додаток Г. Головні метрологічні характеристики вимірювального обладнання.....	186
Додаток Д. Досвід і рекомендації для практичного впровадження плазмохімічних установок в системах поводження з НМФВ.....	189
Додаток Е. Кліматична характеристика м. Київ.....	194

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НМФВ	– небезпечні медичні та фармацевтичні відходи;
ВООЗ	– Всесвітня організація охорони здоров'я;
ВМО	– Всесвітньої метеорологічної організації;
ГДК	– гранично допустима концентрація;
ДВ	– джерело викиду;
ЗОЗ	– заклад охорони здоров'я;
ЗОМ	– здоров'яорієнтоване місто;
МВ	– медичні відходи;
МОЗ	– Міністерство охорони здоров'я України;
ФВ	– фармацевтичні відходи;
МГЕЗК	– Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату;
ЛПЗ	– лікувальні та профілактичні засоби;
ПГ	– парникові гази;
ПУН-1	– плазма генератор універсальний;
ЦГО	– Центральна геофізична обсерваторія;
ЮНЕП	– міжурядова програма, створена з ініціативи Стокгольмської конференції ООН з довкілля (1972) і рішення Генеральної Асамблеї ООН (1973);
STANAG	– Standardization Agreement «Угода зі стандартизації». Це офіційні документи НАТО, які містять узгоджені стандарти між країнами-членами Альянсу у військовій сфері (наприклад, медична підтримка).

ВСТУП

Актуальність теми. У контексті глобальних екологічних змін концепція здоров'яорієнтованого простору набуває особливої актуальності. Важливою проблемою є оцінка ролі впливу антропогенно трансформованого урбанізованого середовища на здоров'я населення. В більшості випадків урбанізоване середовище є безпосередньою причиною збільшення ризику виникнення захворювань, порушення екологічної рівноваги та погіршення параметрів організації міської забудови. [1-5]

При цьому, формування безпечного та здоров'яорієнтованого міського середовища неможливе без зменшення міських муніципальних та комунально побутових відходів, кількість яких суттєво збільшилась за час повномасштабного вторгнення. А перевантаженість та недосконалість системи поводження з небезпечними відходами, особливо медичними, загрожуює здоров'ю громадян і критично посилює екологічну ситуацію. В Україні, через відсутність сучасних високопродуктивних та екологічно безпечних технологій перероблення та утилізації медичних відходів до 95% їх потрапляють на санкціоновані та несанкціоновані полігони та сміттєзвалища, створюючи при цьому важкі ризики хімічних, токсичних, медико-біологічних, канцерогенних, мутагенних, радіаційних та багатьох інших впливів на здоров'я громадян України. Багато таких відходів можуть містити активні їдкі, подразнювальні, сенсibilізаційні, горючі та вибухонебезпечні властивості

Концепція здоров'яорієнтованості передбачає створення сприятливого міського середовища, де фізичний, психічний та соціальний добробут людей стає пріоритетом. Здоров'яорієнтований дизайн міста повинен забезпечувати відновлювальний екологічний баланс між природними елементами та інфраструктурними потребами, надаючи мешканцям можливість жити в комфортних, безпечних і екологічно чистих умовах [6-7]

Отже, у здоров'яорієнтованому просторі як комплексного спроектованого міського дизайну – у якому пріоритет надається здоров'ю та добробуту населення через гарантії чистого повітря та води, зелених зон, комфортних і безпечних транспортних рішень, а також через інтегровану в міську інфраструктуру систему управління відходами з мінімізованим негативним впливом на довкілля. [8-12]

Екологічна криза, викликана накопиченням відходів потребує негайного та комплексного розв'язання. Наразі середня щоденна кількість відходів, яка утворюється на території міста досягає 11 тисяч кубометрів або близько 2300 тонн побутових відходів за рік їх кількість становить понад 1 млн тонн твердих побутових відходів (їх частка в загальному обсязі відходів може сягати 40%). При цьому органічні відходи є джерелом метану, одного з найпотужніших парникових газів, тоді як пластик завдає значної шкоди через свою тривалу деградацію [13]

Для подолання цих викликів необхідно впроваджувати інноваційні рішення, які включають створення санкціонованих полігонів для відходів із дотриманням екологічних стандартів.

Тому у роботі головна увага приділяється екологічно безпечній технології плазмового піролізу. Урбаністичні території мають стати прикладом інтеграції екологічних стандартів у щоденне життя, забезпечуючи комфортні умови для населення та сприяючи здоров'яорієнтованому суспільству [14].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційне дослідження виконано відповідно до «Стратегії розвитку Києва до 2030 року», а також у межах тематики науково-дослідної роботи Київського національного університету будівництва і архітектури «Вплив змін клімату на складові навколишнього середовища» (номер державної реєстрації 0121U111849), «Управління екологічною безпекою територій і акваторій» (номер державної реєстрації 0115 U005168).

Робота передбачає виконання техно-наукових досліджень процесів, що відбуваються на усіх ланках повного технологічного циклу який реалізується в мобільних плазмових електродугових установках «Плазмон-3М» для переробки та знищення небезпечних медичних і фармацевтичних відходів, і на основі отриманих знань створити оптимальну базу вихідних даних необхідних для концептуального, інженерно-фізичного і конструкторського проектування, а також для розробки практичних рекомендацій для технологів і інженерів у контексті здоров'яорієнтованого міста. Оскільки розуміння процесів та знання механізмів є серцем нашої роботи. Без наявності такої бази даних і знань проектувальники, інженери та експлуатаційний персонал не можуть здійснювати практичну реалізацію проекту і мінімізувати контакти із токсичними речовинами. Дослідження таких технологічних процесів відкриває законодавчі та інженерні основи для нових технологій з високою екологічно безпекою інновацій.

Мета дослідження: удосконалення наявних та розробка нових підходів безвідходної технології знищення небезпечних медичних відходів в місці їх накопичення за допомогою плазмохімічних піролізних технологій з метою блокування попадання їх в загальні муніципальних комунально-побутові потоки та їх фінішного накопичення на санкціонованих і не санкціонованих полігонах чи звалищах.

Об'єкт дослідження процеси в системі поводження з відходами - антропогенне навантаження на урбоекосистеми міста, зокрема система поводження з небезпечними медичними та фармацевтичними відходами (НМФВ) у контексті формування здоров'яорієнтованих міст (на прикладі м. Києва), з урахуванням екологічних, медико-біологічних та техногенних факторів, особливо в умовах війни.

Предмет дослідження в системі поводження з медичними відходами в Україні високотемпературні плазмові електродугові технології (зокрема, плазмохімічний піроліз на установках типу «Плазмон-3М») для утилізації та переробки НМФВ у рамках стратегії «Zero Waste», з метою зменшення

негативного впливу на урбоєкосистеми, забезпечення екологічної безпеки та оптимізації енергетичного балансу процесів.

Відповідно до мети роботи були поставлені наступні завдання досліджень:

1. Здійснити огляд світового досвіду розробки, проектування та реалізації здоров'яорієнтованих міст і визначити можливість реалізації стратегії перетворення міста Києва у здоров'яорієнтоване місто шляхом техно-екологічного оновлення системи поводження з небезпечними медичними та фармацевтичними відходами відповідно до рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) та міжнародних стандартів екологічної безпеки та охорони здоров'я для підвищення рівня екологічної безпеки в системі управління (НМФВ) як основного екологічного компонента здоров'яорієнтованого міста.

2. Розкрити переваги застосування високотемпературного плазмохімічного піролізу небезпечних медичних і фармацевтичних відходів для блокування їхнього попадання в загальні потоки муніципальних комунально-побутових потоків відходів і їх фінішного накопичення на санкціонованих і не санкціонованих полігонах і звалищах.

3. Дослідити можливість і доцільність застосування мобільних плазмодугових установок «Плазмон-3М» для знищення небезпечних медичних та фармацевтичних відходів (НМФВ) накопичуваних в результаті військової агресії.

4. Провести комплексні дослідження термічних процесів для розроблення і створення технологічної мобільної установки для плазмової ліквідації небезпечних медичних відходів на базі вітчизняного мультигазового плазмового генератора високо температурної плазми з температурою плазмового факела 1200-4000°C для випадку його роботи з повітрям у якості плазмоутворюючого газу.

5. Провести експериментальні дослідження особливостей систем, процесів та параметрів мобільної плазмодугової установки «Плазмон-3М»

для плазмового знищення небезпечних медичних та фармацевтичних відходів відповідно до міжнародних екологічних вимог.

6. Дослідити параметри міського середовища, які мають безпосередній прямий вплив на здоров'я та життєдіяльність населення, а також оцінити джерела утворення відходів та основні екологічні небезпеки в системі поводження з відходами в світі та в Україні.

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи системного аналізу та узагальнення, статистичні методи, методи науково-технічного обґрунтування вибору мобільних плазмових установок.

Матеріалом дослідження стали дані соціальних опитувань населення, дані надані Державною службою статистики України, Головним управлінням статистики у м. Києві, Центральної геофізичної обсерваторії, Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, інформація з відкритих джерел, результати досліджень вітчизняних та закордонних дослідників у фахових наукових виданнях.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційних досліджень полягає в наступному:

Вперше досліджено процеси видалення небезпечних медичних та фармацевтичних відходів у плазмовому дуговому реакторі з високотемпературним металокерамічним каталітичним фільтром та соплом Лавалю, відповідно, для первинного хімічного очищення та газодинамічного охолодження вихлопних газів після їх виходу з плазмодугового реактора, а також їх повного вилучення із загальних потоків муніципальних відходів.

Удосконалено математичну модель обміну забруднюючими сполуками в міських екосистемах шляхом окремого врахування техногенних та природних ризиків, яка дозволить характеризувати стійкість впливу складових антропогенно змінених екосистем відповідно до основних каналів масопереносу поллютантів.

Удосконалено математичну модель для визначення індексу ризиків небезпечних явищ на території урбоекосистем природного та техногенного характеру задля покращення системи управління ризиками в містах.

Набула подальшого розвитку система поводження з небезпечними медичними та фармацевтичними відходами в основу якої покладено базовий принцип - «технологія прямує за відходами», що дає можливість знищувати НМФВ безпосередньо на місці їх утворення, або накопичення, що є однією із складових здоров'яорієнтованого міського середовища.

Практична значимість полягає у науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні доцільності використання мобільної експериментально-промислової установки «Плазмон-3М» з вітчизняним генератором плазми ПУН-1 на постійному струмі для спалювання і піролізу твердих НМФВ, що дозволяє знешкодити і значно зменшити їх об'єми в 100-400 разів. Результати дослідження і удосконалення мобільної установки показали її технологічне завершення для вирішення задач екологічно безпечної ліквідації НМФВ як в стаціонарному, так і в мобільному варіантах, в тому числі і в умовах війни, про що свідчить Сертифікат відповідності на установку для плазмового дугового нагріву, деструкції та утилізації медичних і промислових відходів.

Установка є універсальним рішенням для оперативного реагування на екологічні виклики, пов'язані з накопиченням небезпечних відходів. Її використання сприяє формуванню здоров'яорієнтованого екологічно безпечного середовища.

Запропоновано удосконалену систему оцінювання ризиків на основі небезпечних явищ природного та техногенного характеру, що дозволить розробляти більш ефективні управлінські рішення для попередження деградаційних процесів.

Отримані результати використано: Київською клінічною лікарнею на залізничному транспорті №1 Філії "Центр охорони здоров'я" АТ "Українська залізниця" для розроблення СОПів - в частині правильного поводження з

медичними відходами; ТОВ "УКРЖИТЛОПРОЕКТ", ТОВ «Бюро інвестиційних проектів – проектний менеджмент» при проектуванні та відновленні міської інфраструктури; в навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури.

Особистий внесок здобувача полягає в оцінці сучасного екологічного стану міського середовища, удосконаленні системи формування екологічно безпечного, здоров'я орієнтованого міського середовища в умовах антропогенного навантаження, військової агресії шляхом підбору та адаптації сучасних досягнень науки, техніки, які спрямовані на покращення рівня комфорту для міського населення, удосконалення схеми ефективної експлуатації мобільних плазмових установок для ліквідації наслідків накопичення небезпечних відходів в результаті військових дій з хімічним та інфікуючим забрудненням територій України. Основні результати дисертаційних досліджень представлені в наукових працях, які опубліковані в міжнародних та вітчизняних журналах.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, методів, результатів і рекомендацій дисертаційної роботи відповідають логічній послідовності у вирішенні поставлених завдань з визначенням методики досліджень та теоретичної послідовності. Для досліджень використовувалися сучасні методи планування та оброблення результатів експериментів, вимірювальне обладнання.

Особистий внесок здобувача в кожній науковій праці зі співавторами наведені в додатку А.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи було викладено на: Другому всеукраїнському круглому столі (м. Київ, 15 грудня 2021 року), II Міжнародній науковій конференції «Комплексний підхід до модернізації науки: методи, моделі та мультидисциплінарність» (м. Чернівці, 26 серпня 2022 року), VII Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м.

Львів, 12-14 жовтня 2022 рік), III-й міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Ресурси. Енергія. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях (м. Київ, 23-15 листопада 2022 року), міжнародній науково-практичній конференції «BUILD-MASTER-CLASS-2022» (м. Київ, 30 листопада – 2 грудня 2022 року), VIII Міжнародному молодіжному конгресі (м. Львів, 2-3 березня 2023 року), Міжнародній науково-технічній конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів» (м. Харків, 19–20 квітня 2023 року), II Міжнародній науково-практичній конференції «Green Construction» (м. Київ, 13-14 квітня 2023 рік), II Всеукраїнській науковій конференції студентів та молодих вчених «Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді» (м. Луцьк, 2023 рік), XVII Міжнародній науково-практичній конференції “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment” (м. Київ, 7-10 листопада 2023 року), П’ятій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Євроінтеграція екологічної політики України» (м. Одеса, 2023 рік), Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2023 рік), Міжнародній науково-практичній конференції «GRUNDLAGEN DER MODERNEN WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG» (м. Київ, 2024 рік), II Міжнародній науковій конференції «Технології та суспільство: взаємодія, вплив, трансформація» (м. Львів, 26 липня 2024 року), III Міжнародній науково-практичній конференції «Green Construction» (м. Київ, 2024 рік), IV Міжнародній науково-практичній конференції «Green Construction» (м. Київ, 2025 рік).

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 35 наукових праць, з яких 11 статей, зокрема 7 –у фахових виданнях України, які входять до наукометричних бази, 2 стаття у міжнародних фахових виданнях, 2 статті в колективних монографіях, 6 навчально-методичних видання, 18 публікації в матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 198 сторінках і складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 160 сторінку друкованого тексту. Робота містить 13 таблиць, 29 рисунків, перелік використаних джерел із 105 найменувань на 12 сторінках, 6 додатків на 25 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СВІТОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ДОСВІДУ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОВОДЖЕННЯ З МЕДИЧНИМИ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИМИ ВІДХОДАМИ В КОНТЕКСТІ СТВОРЕННЯ І РОЗВИТКУ ЗДОРОВ'ЯОРІЄНТОВАНИХ МІСТ («HEALTHY CITIES»)

1.1. Аналіз екологічної небезпеки в системі поводження з відходами в Україні та світі, їх вплив на навколишнє середовище

На сьогодні перевантаженість та недосконалість системи поводження з небезпечними відходами, а особливо медичними загрожує здоров'ю громадян і критично посилює екологічну ситуацію (Рис. 1.1, Рис. 1.2). В Україні, через відсутність сучасних високопродуктивних та екологічно безпечних технологій перероблення та утилізації медичних відходів до 95% їх потрапляють на санкціоновані та несанкціоновані полігони та сміттєзвалища, створюючи при цьому важкі ризики хімічних, токсичних, медико-біологічних, канцерогенних, мутагенних, радіаційних та багатьох інших впливів на здоров'я громадян України. Багато таких відходів можуть містити активні їдкі, подразнювальні, сенсibilізаційні, горючі та вибухонебезпечні властивості.

Морфологічний склад медичних відходів не прогнозованим чином дуже залежить від специфіки та особливостей джерел їх утворення, а також від інших багатьох факторів. При цьому, неправильне поводження з небезпечними МВ та їх неконтрольоване поширення може призводити до інфікування медичного персоналу та населення через ураження шкіри, органів дихання, травлення.

На сьогодні, в результаті нестримного зростання та широкого застосування одноразових медичних матеріалів в умовах російсько-української війни на території України об'єми та темпи виробництва небезпечних медичних відходів (МВ) критично зростають. В Україні, усі

медичні відходи віднесені до класу небезпечних, а термін «медичні відходи» визначає повну сукупність усіх категорій та видів медичних відходів. Згідно з наказом [15] та з іншими правовими положеннями/рекомендаціями, медичні відходи в Україні класифікують за категоріями Рис. 1.3.

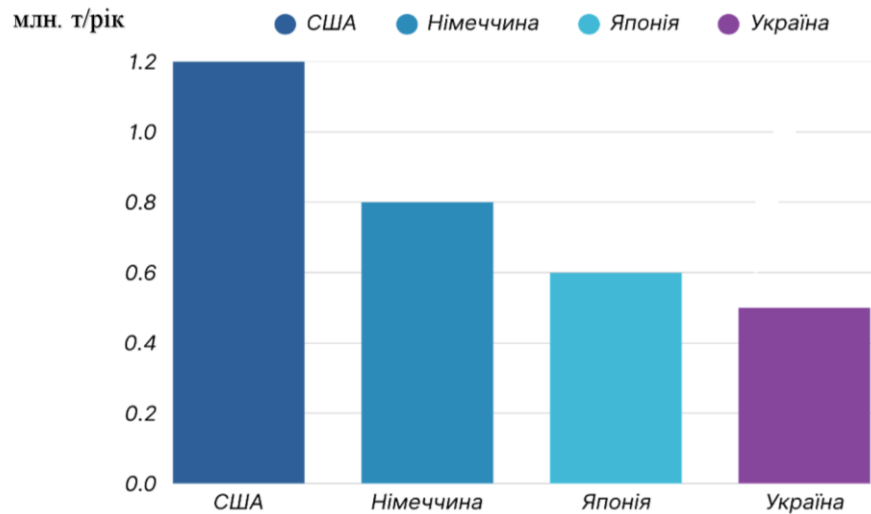


Рис. 1.1. Кількість медичних відходів в різних країнах світу та в Україні.

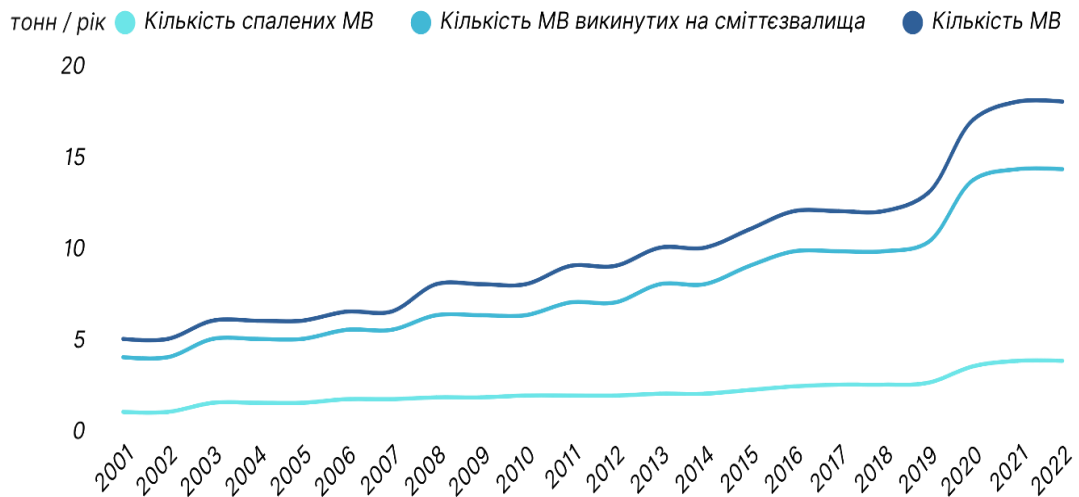


Рис. 1.2 Зростання об'ємів виробництва медичних відходів у світі

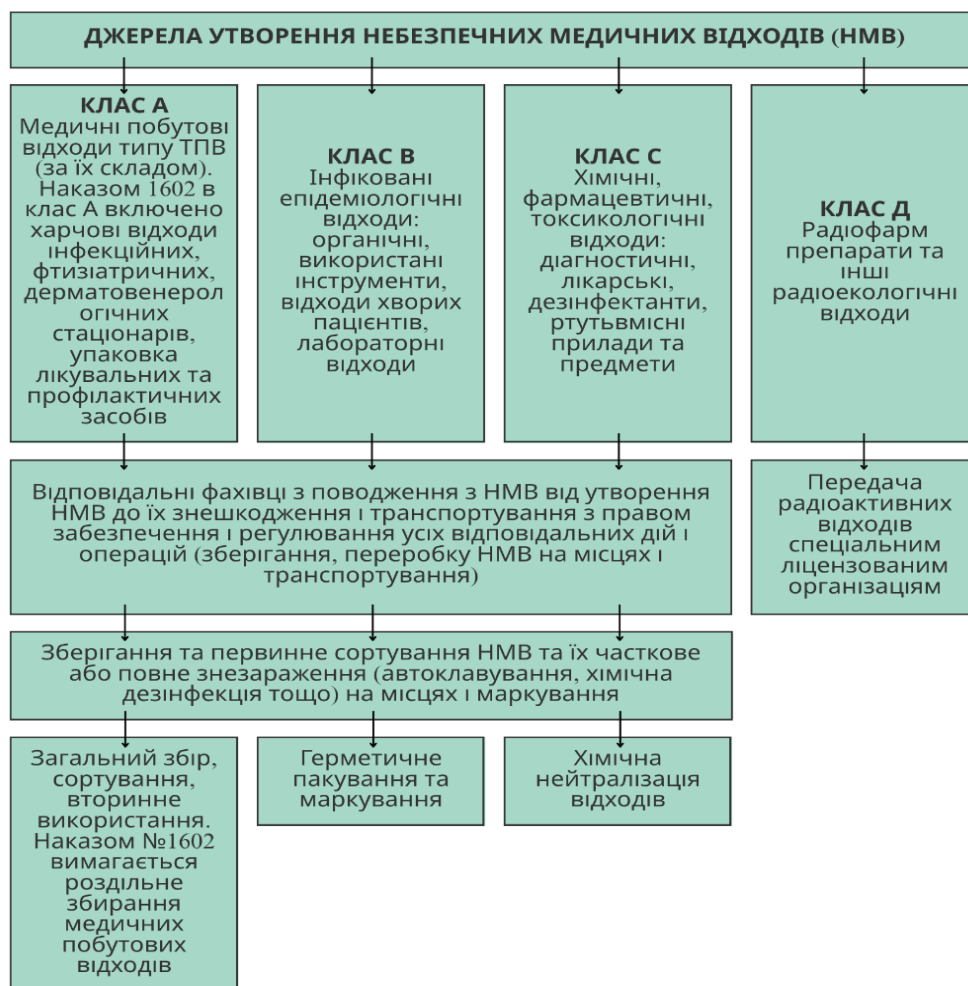


Рис. 1.3. Джерела утворення небезпечних медичних відходів класифікованих за категоріями.

За новими нормами для усіх медично-побутових відходів, окрім харчових, вимагається їх роздільне збирання з наступною частковою передачею для повторного використання та вторинного перероблення. Медичні та інші заклади охорони здоров'я теж мають право обробляти контаміновані біологічними рідинами негострі медичні відходи й передавати їх для вторинного перероблення. А якщо в медичному закладі немає відповідних умов для їх перероблення, то в такому випадку відходи потрібно заактувати й передати їх на спалювання.

Важливою екологічною новацією також є заборона процедур хімічної дезінфекції інфікованих небезпечних медичних відходів, що виключає операцію небезпечного замочування й ополіскування відходів.

З'явилась також нова норма, що вимагає призначення фахівців відповідальних за поводження з відходами у закладах охорони здоров'я (ЗОЗ) які зобов'язані займатися розробленням типових схем поводження з медичними відходами та регулюванням усіх дій при поводженні з медичними відходами в ЗОЗ від їх утворення і до їх знешкодження чи транспортування, а також відповідати за виконання цих схем.

З огляду на таку ситуацію МОЗ України своїм Наказом №1602 внесло важливі зміни до Державних санітарно-протиепідемічних правил та норм, щодо поводження з медичними відходами, зміни спрямовані на зменшення небезпечних ризиків та блокування шляхів потрапляння небезпечних речовин та матеріалів на побутові полігони/звалища та разом з тим запобігти негативному впливу на здоров'я населення.

Однак, за рамками Наказу №1602 залишається проблема забезпечення сучасними технологіями для повної екологічно чистої та безпечної утилізації медичних відходів через те, що чинна технологічна недосконалість системи поводження з медичними відходами загрожує здоров'ю громадян і критично посилює екологічну кризу. При цьому особливу увагу слід звернути саме на технологічний аспект утилізації відходів інфекційних та туберкульозних відділень, ветеринарних відходів та відходів з ризиками рівня біологічної зброї, а також медичних відходів заражених небезпечними хворобами (ВІЛ, гепатит тощо). При цьому, не дивлячись на значну громіздкість та перевантаженість системи поводження з медичними відходами більшість методів та засобів дезінфекції/знезараження медичних відходів все одно вимагають їх додаткового фінішного спалювання з наступним транспортуванням не спалюваних зольних залишків на сміттєзвалища та полігони. При цьому впроваджувані нові технології утилізації МВ до повного їх екологічно безпечного знищення повинні в повному масштабі охоплювати утилізацію всього асортименту небезпечних медичних відходів, що виробляються більше як у 70 тисячах українських лікарень, госпіталів та інших медичних

закладів та установ України. Небезпечні ризики також має хімічна дезінфекція/зnezараження різних медичних відходів перед їх офіційною передачею ліцензованим компаніям для утилізації.

В даному разі виникають додаткові екологічні ризики для здоров'я медичного та транспортного персоналу в результаті спільного синергетичного впливу МВ разом з хімічними дезінфектантами. І для розв'язання цієї проблеми потрібно створювати нові високотемпературні технології, здатні радикальним чином здійснювати управління медичними відходами з повноцінним гарантованим екологічним захистом при відновленні територій громад.

При цьому для створення адекватної ефективної інноваційної технологічної інфраструктури для правильного поводження з медичними відходами та для їх екологічно безпечної та ефективної утилізації, потрібен, перш за все, їх належний облік та екологічний моніторинг динаміки реальних масштабів окресленої проблеми.

Отже, на сьогодні ситуація, що склалася, не відповідає принципам державної регуляторної політики та прямим чином загрожує національній безпеці України та життю і здоров'ю її громадян.

Утилізація медичних відходів практично у всіх країнах світу найчастіше здійснюється шляхом їх спалювання на відкритому повітрі або в інсинераторах. На територіях медичних чи спеціалізованих ліцензованих закладів, як правило при температурах не вище 500-700°C, якої недостатньо для повної екологічно безпечної термічної утилізації та знищення МВ. Пояснюється це тим, що за таких низькотемпературних умов утворюються нові, не менш небезпечні, стійкі хімічні сполуки - діоксини, фурани, соляна кислота та інші токсиканти, що викидаються в довкілля у вигляді димових газоаерозольних залишків і які попадаючи в навколишнє середовище, накопичуються в харчових циклах.

Таблиця 1.1

Основні технології знешкодження та утилізації медичних відходів: характеристика, переваги й недоліки

Технологія	Опис	Переваги	Недоліки
Інсинерація (спалювання)	Високотемпературне спалювання відходів для зменшення об'єму та знищення патогенів	Значне зменшення об'єму (до 90%), економічно вигідно для великих обсягів	Викиди забруднювачів (діоксини, фурани) без фільтрації, екологічні ризики
Автоклавування (парова стерилізація)	Обробка парою під тиском (100–180°C) для дезінфекції інфекційних та гострих відходів	Ефективно знищує патогени, підходить для вологих середовищ, поширена технологія	Потребує демінералізованої води, не знищує всі хімічні забрудники
Мікрохвильова обробка	Дезінфекція за допомогою мікрохвильової енергії, що генерує вологе тепло	Екологічно чиста, підходить для країн, що розвиваються, швидка	Високі витрати на обладнання та електроенергію, обмежена для певних типів відходів
Піроліз та газифікація	Розкладання відходів при високих температурах без кисню (піроліз) або з обмеженим киснем (газифікація) для отримання енергії	Виробництво синтез-газу	Високі початкові інвестиції, потребує кваліфікованого персоналу

Технологія	Опис	Переваги	Недоліки
Плазмова газифікація/піроліз	Використання плазми для високо-температурного (1150–5000°C) розкладання відходів на газ	Повне знищення патогенів, мінімальні залишки, мобільні установки можливі	Дорого через високе споживання електроенергії
Хімічна дезінфекція	Хлорування, озонування тощо, для нейтралізації патогенів	Ефективна для рідких відходів, низька температура	Генерує токсичні залишки, обмежена кількість типів відходів які можна дезінфікувати
Анаеробне збро-дження	Біологічне розкладання органічних відходів без кисню для отримання біогазу	Виробництво теплової енергії	Повільний процес, обмежений для органічних компонентів
Компостування	Біологічне розкладання органічних відходів за допомогою мікроорганізмів тощо	Низьковитратне, перетворює відходи на добрива	Не придатна для інфекційних відходів, потребує контролювання запахів
Ультразвукова обробка	Використання ультразвуку для руйнування клітин патогенів	Швидка, без хімікатів	Обмежена масштабованість, висока вартість

Єдиним виходом з такої ситуації може бути додаткове допалювання таких залишків за допомогою спеціально встановлених в інсинераторах додаткових камер при температурах 1150-1250°C. Однак, застосування таких камер допалювання часто не дає бажаного ефекту доведення складу викидів в атмосферу димових газоаерозольних продуктів до норм та вимог чинного, оновленого за євро стандартами, законодавства України. Правила, методи та вимоги, щодо безпечної утилізації медичних відходів регулюються як державними, так і міжнародними нормами [16-21].

На сьогодні у світі застосовуються як традиційні, так і інноваційні технології, поділені на термічні та нетермічні (Таблиця 1.1).

1.2. Ідея створення здоров'яорієнтованих міст («Healthy Cities») в документах ВООЗ

Ідею створення і розвитку так званих здоров'яорієнтованих міст активно просувається Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) в рамках її ініціативи «Healthy Cities» [22].

За визначенням документів ВООЗ здоров'яорієнтоване місто є таким містом, в якому в основу міського розвитку, планування транспортної інфраструктури, архітектури, екології довкілля, охорони здоров'я та освіти вся політика створення та розвитку послуг і умов проживання організована для максимального забезпечення і підтримки фізичного, психічного та соціального здоров'я його мешканців на основі базових принципових тез згідно з якими в такому місті його мешканці повинні мати:

1) якісне здорове харчування і медичні та соціальні послуги для всіх без виключення мешканців, а також фізичну і соціальну безпеку в будь-якій частині міста і можливість екстреної допомоги;

2) всі умови для розвитку громадянського суспільства з правом його участі в прийнятті рішень для захисту власного здоров'я і належних умов для дітей, людей з інвалідністю, літніх людей та інших вразливих спільнот.

3) екологічно чисті і якісні повітря та воду, мінімальний рівень шумів, забруднень; комфортну інфраструктуру громадського транспорту, включаючи пішохідні зони та велосипедні доріжки, паркові зони, сквери, озеленені вулиці і прибудинкові території; і повну відсутність будь-якого накопичення муніципальних та комунально-побутових твердих і рідких відходів включаючи відсутність їх перевезення по території міста та утворення полігонів і сміттєзвалищ навіть поза міською смугою.

Остання теза про міські відходи є особливо болючою і небезпечною для громадян України і навіть для її національної безпеки.

У здоров'яорієнтованому мегаполісі, яким має бути місто Київ, система поводження з відходами повинна бути не просто інфраструктурним компонентом міської інфраструктури, а ключовим фактором громадського здоров'я, екологічної та урбаністичної безпеки. При цьому в документах ВООЗ увага акцентується на медико-екологічну небезпеку стрімкого збільшення кількості небезпечних твердих, рідких та змішаних медичних і фармацевтичних відходів (НМФВ) а також їх змішування та транспортування із загальними потоками муніципальних комунально-побутових відходів. Така ситуація, особливо в умовах повномасштабної війни на території України, створює важкі і складні екологічні та медичні проблеми для вирішення яких необхідні нові технологічні підходи та високоефективні технології переробки, утилізації і знищення НМФВ [23-24].

На сьогодні основними і найпоширенішими методами остаточної фінішної утилізації будь-яких муніципальних та комунально-побутових відходів (МКПВ) є їх поховання на полігонах і сміттєзвалищах. НМФВ найчастіше спалюються в інсинераторах або на відкритому повітрі. Але переважна більшість попадає в загальні потоки МКПВ і теж потрапляє на сміттєзвалища і полігони.

Наразі на території України існує понад 33 тисячі несанкціонованих сміттєзвалищ і 6 тисяч сміттєзвалищ, які складно вважати контрольованими. А з початком повномасштабного вторгнення їх кількість постійно

збільшується, що свідчить про відсутність контролю та регулярного моніторингу.

При цьому на сьогодні немає технологій які могли б екологічно безпечним чином знищувати будь-які самі НМФВ так і небезпечні тверді та рідкі токсичні залишки які утворюються після їх спалювання проникають в життєво важливі екосистеми і з рештою можуть проникати в харчові ланцюги. Тому Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) не рекомендувала низькотемпературне спалювання будь-яких медичних та фармацевтичних відходів в установках із низьким рівнем очищення димних вихлопних сумішей.

Для більш безпечного і ефективного спалювання ВООЗ надала конкретні рекомендації: контроль температури спалювання, наявність вторинної камери згоряння для допалювання не перегорілих залишків, правильне завантаження відходів в інсинератори та їх правильну експлуатацію. Інакше викиди з димоходу інсинераторної установки будуть забруднювати атмосферу димовими сумішами насиченими токсичними хімікатами і навіть мікро організмами.

В ідеалі температура згоряння відходів в первинній камері інсинератора повинна бути більшою за 800°C, а у вторинній камері допалювання — мінімум 1000°C. Інакше інсинераційні викиди в процесі спалювання НМФВ не будуть відповідати міжнародним стандартам безпеки та охорони здоров'я [25]

1.3. Аналіз світового досвіду і особливостей базових технологічних принципів та результатів стратегії «Zero Waste»

Екологічна ідеологія стратегії з назвою «Zero Waste» була сформульована на основі принципу дії так званого «екологічного капкана» ще 50 років тому Мак Донофом і Браунгартом. Цей «капкан» спрацьовує з двох сторін одночасно і сигнали в точку екологічної біфуркації або екологічного

колапсу надходять до нього з двох сторін із різними невідомими швидкостями які дуже залежить від багатьох і, в своїй більшості, ще не вивчених факторів. І на жаль цей процес здійснюється у формі екологічного аттрактора. Пояснюється це тим, що при споживанні природних ресурсів діє простий екологічний закон, згідно з яким виснаження природних ресурсів супроводжується одночасним пропорційним забрудненням довкілля небезпечними відходами на усіх без виключення рівнях навколишнього природного середовища та ланках суспільного споживання. При цьому, для утилізації, переробки або знищення будь-яких газових, аерозольних, рідких та твердих відходів необхідно витратити додаткові енергоресурси.

Практичний досвід стратегія «Zero Waste» розпочиналася з трьох R: reduce – скоротити споживання енергії і матеріалів, reuse – повторне використання, recycle – вторинна переробка, а з часом до цих екологічних заповідей додалося ще п'ять: rethink – екологічне переосмислення свого відношення до споживання, refuse – не споживай лишнього, repair – пробуй полагодити, re-gif – не викидай нового, а даруй, recover — відновлюй. Були розроблені також офіційні стандарти, наприклад, стандарт «Zero Waste» International Alliance (ZWIA) який визначає критерії для міст, компаній та організацій. Як видно, з цих восьми принципів в системі поводження з НМФВ придатний тільки один — rethink.

Застосування стратегії «Нуль відходів» в промисловості першими здійснили США і Канада у 1978 році з метою повністю ліквідувати скидання токсичних відходів в Атлантику до 2000 року. Ця стратегія була прийнята Осло-Паризькою комісією з питань охорони навколишнього середовища північно-східної Атлантики у 1992 році. Згодом найпершим європейським офіційно сертифікованим і визнаним «Zero Waste Certified» містом стала столиця Словенії Любляна в якому майже 70% муніципальних ТПВ переробляються без спалювання.

В американському місті Сан-Франциско також було прийнято муніципальне рішення про повну заборону поховання відходів на звалищах і

полігонах. При цьому понад 80% органічних відходів здійснюється шляхом переробки та компостування.

А в італійському місті Капанорі до 99% відходів проходять первинне сортування. В результаті на одного жителя міста в залишку утворюється всього 40 кг сміття за рік. Але повної ліквідації або зупинки накопичення відходів поки що не досягнуто на жодному з муніципальних рівнів. При цьому у всіх випадках реалізація стратегії «Zero Waste» в її рамках розв'язання проблеми екологічно та медично безпечного поводження з НМФВ не передбачалася.

Навіть великим компаніям Google, IKEA, Toshiba, Unilever та іншим, що прийняли стратегію «Zero Waste», поки що не вдається утилізувати більше як 90% власних відходів. І хоча уже сформувалися громадські нішеві спільноти, які прийняли принципи «Zero Waste», для життя більшої частини суспільства в містах це виявилось досить складним і незручним.

При цьому муніципалітети, сприймаючи відходи як вторинну сировину, почали розробляти нову екологічну політику впливу на промисловість шляхом певної промислової сміттевої революції на основі наступних жорстких екологічних принципів:

1. Стимування виробництва промислових відходів або їх нульове скидання, щоб за межі підприємств, які їх виробляють, виходили тільки хімічно стійкі, не токсичні і комерційно корисні відходи. Однак при цьому виникають загрози екологічного та медико-екологічного впливу так званих «малих токсичних доз» навіть тоді, коли концентрація токсикантів у довкіллі є меншою за інструментальний поріг їх виявлення. Але з часом їх локальна концентрація в довкіллі буде збільшуватися до небезпечних великих доз.

2. На кожному з таких підприємств «Zero Waste» також пропонує установлювати дорогі, складні і громіздкі очисні фільтрувальні споруди, не дивлячись на те, що на фільтрах та у відстійниках, знову ж таки, накопичуються відходи вищого порядку небезпеки які, своєю чергою, надалі теж

вимагають їх складного екологічно безпечного знищення та складної фінішної утилізації.

При цьому виявилось, що для комплексного системного управління усіма комерційними операціями «Zero Waste» з будь-якими відходами на основі розрахунків екологічних, соціальних та економічних вигод необхідна нова дуже складна інформаційно-фізична екологічна економіка і бухгалтерія з врахуванням динаміки розвитку технологій, і яка вимагає інституційного інфраструктурного підходу, відповідальності та дорогого екологічного та економічного реконструювання та екологічного моніторингу.

В результаті у більшості великих промислових міст і навіть країн важко і навіть неможливо створити повноцінну інфраструктуру для «Zero Waste», наприклад у секторах органіки та електроніки.

Отже, 50-и річний досвід реалізації стратегії «Zero Waste» виявив її багатокомпонентність, необхідність революційної технологічної та економічної трансформації системи поводження з муніципальними відходами і втому числі з НМФВ, а також нескінченну тривалість її реалізації в часі та дорожнечу. А відходи все одно продовжують накопичуються швидше ніж розвиваються методи і технології «Zero Waste» для їх екологічно чистого знищення та остаточної екологічно безпечної фінішної утилізації. Реально, в рамках найкращої реалізації стратегії «Zero Waste» переробляється і утилізується 70–90%, в основному промислових відходів, без їх поховання. Але повного «Zero Waste» ще ніхто не реалізував. Тому на сьогодні стратегія «Zero Waste» залишається більше ідеологічним стратегічним орієнтиром, а не масштабною практичною реальністю. Однією з причин цього є те, що традиційне технологічне наповнення стратегії «Zero Waste» не придатне для повноцінного медико-екологічного безпечного універсального впровадження його перш за все в системі поводження з НМФВ, незалежно від їх категорії.

До того ж у разі необхідності знищувати біологічні та інші промислові небезпечні відходи, які не мають вторинної технологічної та економічної

сутності, «Zero Waste» пропонує витіснити з промисловості не перероблювані матеріали іншими перероблюваними, наприклад, біологічними або ж такими як рослинні пластмаси. Але при цьому навіть самі лідери стратегії «Zero Waste» визнають той факт, що застосування відходів від біологічних циклів в технічних циклах може розв'язати проблему лише дуже повільним чином. Хоча при цьому екологічні забруднення повністю не зникають, а лише сповільнюється їх генерація, породжуючи нові, скрупульозні дослідження первинних і вторинних сировинних матеріалів для розробки і обґрунтування нових технологій і виробництв. Але і тут йдеться лише про орієнтацію акцентів на зменшення використання первинних матеріалів і речовин для зменшення відходів на виході кожного підприємства.

Але, не зважаючи на 50-и річний практичний досвід концепції «Zero Waste», відходи все одно продовжують накопичуватися незалежно від їх категорій. Це означає, що розвиток концепцій, методів і технологій для стратегії «Zero Waste» не встигає за динамікою накопичення відходів. Отже, на сьогодні і філософія, і базові постулати «Zero Waste» вимагають за велінням часу її значного техно-екологічного оновлення. Інакше, рано чи пізно, усі категорії НМФВ будуть концентруватися на звалищах та полігонах які в результаті впливу неконтрольованих природних та антропогенних явищ і процесів перетворюються в об'єкти з небезпечними екологічними та медико-екологічними наслідками які „виповзають на поверхню“ як фактори забруднення ґрунтів, повітря, підземних і поверхневих вод і впливу на харчові ланцюги. При цьому результати аналізу усього набору перелічених ключових лозунгів і постулатів на яких розбудовується стратегія «Zero Waste» приводять до висновку про те, що жоден з них, як і вся теоретична основа стратегії, в своїй більшості не є придатними для поводження з небезпечними медичними та фармацевтичними відходами.

Отже, радикальні системні зміни потрібні на всіх рівнях суспільства, промисловості і влади. При цьому радикальний революційний підхід «Zero Waste» однозначно викликає потужний спротив будь-якої системи.

Виробництво товарів із відходів сьогодні вкрай обмежене і не розв'язує проблеми екологічної та медико-екологічної небезпеки для населення і довкілля. А переробка вторинної сировини направлена сьогодні на те, щоб загнати проблему на територію виробника відходів з наступною їх передачею іншому новому підприємству-споживачу. Але такий підхід з самого початку є хибним.

Для іншого шляху розвитку «Zero Waste» потрібен принципово нові техно-наукові та технологічні кроки. І єдиною безальтернативною технологією, яка здатна оновити і значно спростити систему поводження з небезпечними та особливо небезпечними відходами, включаючи до їх списку медичні, фармацевтичні та радіоактивні відходи. Тому новий виток спіралі «Zero Waste», який вже насичений новими проблемами, невідворотно вимагає нових проривних і навіть революційних техно-екологічних рішень.

1.4. Світовий досвід розробки та впровадження плазмодугових установок

Американська компанія Westinghouse створила мобільну плазмохімічну установку [38] на основі вантажного трейлера разом з електрогенератором, системою газо- та водопостачання, подрібнювачем та розпилювачем, системою управління, та ін. Продуктивність переробки відходів на установці становила приблизно 2 тонни. На установці можна переробляти хімічні відходи з 99,99% деструкцією небезпечних хімічних забруднювачів.

Фірмою E.S.T. Ecological Systems Ltd спільно з ТОВ «Плазмактор» було виготовлено та введено в експлуатацію мобільну дослідно-промислову плазмову установку для утилізації токсичних хімічних відходів [38] змонтовану у 20-футовому автоконтейнері. Ця установка призначена для утилізації органічних та неорганічних відходів, і легко адаптується до утилізації різних категорій відходів в тому числі і медичних.

Є також досвід створення та експлуатації мобільних плазмових установок для утилізації медико-біологічних відходів у надзвичайних умовах [21].

Аналогічні показники має плазмове обладнання інших фірм, наприклад, RCL (Канада), Europlasma (Франція). Фірма SolenaGroup (США) розробила обладнання для плазмової газифікації твердих побутових відходів (ТПВ) для круїзних суден.

В Україні в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України та Інституту газу НАН України було розроблено стаціонарну плазмову технологію та обладнання для екологічно безпечної утилізації і знешкодження медичних відходів продуктивністю до 50 кг/годину [39].

На українському підприємстві UKRPLASMA розроблено плазмову технологію для високотемпературної плазмохімічної утилізації токсичних речовини шляхом їх розкладання за допомогою мікрохвильової плазми [40].

Відомі також розробки установок для плазмохімічного високотемпературного знищення боєприпасів з отруйними речовинами [41-42].

Отже, на сьогодні плазмові технології перероблення медичних відходів пройшли експериментальну стадію і готові до промислового впровадження, але поки що вони існують тільки в поодиноких експериментальних екземплярах або перебувають у режимі тестування [43]. При цьому плазмодугові технології є екологічно прийнятними технологіями за допомогою яких в реагентній зоні можна підтримувати високі температури понад 1250-3500°C, високу хімічну реактивність та щільність енергії для термічної обробки, перероблення або утилізації медичних та інших твердих, рідких та газоподібних відходів. При цьому розробка та створення нових економічно та екологічно доцільних високотемпературних технологій для екологічно чистої та безпечної переробки та утилізації усіх видів медичних відходів набула характеру критичної необхідності. І вже різні компанії у світі, наприклад: Pyrolysis Systems Inc., Канада; Siemens,

Німеччина; Plasma Energy Applied Technology Inc., США; Plasmapole, Франція та інші розробляють високотемпературні плазмодугові системи різного призначення.

Історично першу демонстрацію прототипного зразка електродугового інсинератора у 1987 р., здійснила компанія Westinghouse Environmental Services у США. А приблизно через рік у 1988 р., в угорському Інституті електротехнічної промисловості було розроблено нову пілотну установку плазмового реактора для знищення відходів хімічної промисловості. А ще через рік у 1989 році Retech Incorporation з Каліфорнії та Міністерство енергетики США ініціювали спільну програму знищення різноманітних відходів за допомогою плазмодугових технологій.

У 1994 році була створена перша обертальна плазмova піч для обробки хлорованих органічних сполук з ефективністю знищення органічних забруднень до 99,9% з дуже високими характеристиками деструкції діоксинів та фуранів на рівні $(5-9) \cdot 10^{-3}$ нг/м³, що набагато менше за нормативні екологічні світові стандарти.

Далі, протягом багатьох років в різних компаніях світу досліджувалися процеси плазмо-дугового очищення багатьох сотень різних типів відходів в промислових масштабах. При цьому ефективно перероблювалися та утилізувалися тверді побутові та медичні відходи, зола, автошини, вугільні та шламові відходи, поліхлорований біфеніл, небезпечні види золувиносів, фарби, розчинники, різні матеріали зі звалищ і полігонів, а також низько радіоактивні відходи та інше.

На заводі у Дефіансі в США експлуатується шість плазмових факелів загальною потужністю 2,5 мегавати для перероблення більше як 280 тонн металолому за одну робочу зміну.

Компанії CSIRO/Siddons Ramset Ltd's Plascon, Retech, Westinghouse Plasma Inc., Plasma Energy Corporation та інші компанії продовжують власні розробки великих систем для плазмової утилізації відходів.

Плазма є сумішшю нейтральних і заряджених частинок. Останні мають високу кінетичну енергію. Іонізовані заряджені частинки плазми здатні вступати в реакції рекомбінації з відірваними електронами та в цьому процесі виділяти значну енергію у формі ультрафіолетового випромінювання. Кінетична енергія частинок переходить в теплову енергію, якої достатньо для деструкції хімічних речовин. Завдяки присутності в плазмі заряджених і збуджених частинок плазмове середовище стає високо реактивним і здатним каталізувати гомогенні та гетерогенні хімічні реакції.

В Україні три покоління експериментальних мобільних плазмових дугових установок «Плазмон-1,2,3М» були створені на базі вітчизняного плазмового генератора постійного струму ПУН-1 розробленого в Інституті електрозварювання імені Є. О. Патона плазмоутворювальним газом в якому є повітря. Головні тактико-технічні характеристики установки «Плазмон-3М» на базі плазмового генератора ПУН-1 представлені та таблиці 1.2

Таблиця 1.2

**Основні техніко-експлуатаційні параметри плазмохімічного реактора
ПУН-1**

Назва параметра та одиниця вимірювання	Значення параметра
Максимальна електрична потужність плазмогенератора ПУН-1, кВт	90
Температура на виході з сопла Плазмогенератора, °С	≤ 6000
Температура повітряного струменю в реагентній зоні горіння (РЗГ), °С	$\leq 1500-5000$
Температура згоряння в РЗГ (залежно від складу медичних відходів), °С	1150-3500
Швидкість плазмоутворювального повітря на виході з компресора, м/с	50-90

Швидкість повітряного плазмового струменю на вході в реагентну зону реактора (РЗР), м/с	20-100
Час існування продуктів піролізу в реакторі до їх початку охолодження, с	≤ 2
Ступінь молекулярної деструкції відходів, %	99,95
Температура вихлопної димової суміші на виході з димової труби, °C	≤ 90
Витрати повітря для охолодження (загартування) продуктів спалювання МВ, м ³	≈ 150
Загальна кількість газів, утворюваних в результаті спалювання МВ, що поступають для охолодження та очищення, м ³ /годину	≤ 1000
Вміст забруднювальних речовин в очищених газоаерозольних димових залишках, що викидаються в атмосферу	на рівні ГДК
Питомі енергозатрати, кВт-годин/кг (без врахування рекуперації власного синтез-газу)	1-2
Кількість теплової енергії генерованої з відходів: кілокалорій/кг	1-3
Продуктивність на вході, при робочій потужності плазмового генератора 12-15 кВт, т/годину	0,3-0,5
Маса установки, кг	≤ 400
Габарити установки, м	3x2x1,5

У процесі плазмохімічного піролізу тверді медичні відходи з вмістом вуглецю газифікується, утворюючи газоаерозольні суміші, які піддаються охолодженню та очищенню. Очищену суміш можна використати для виробництва теплової чи електричної енергії, а також для виробництва різних палив — етанолу, водню, горючого газу. Неорганічні матеріали

розплавляються під дією плазмових факелів і відбираються окремо у формі склоподібного шлаку.

Високотемпературне тепло утворюваного в плазмохімічних реакторах горючого синтетичного газу можна застосувати у самому ж піролізному циклі для власних потреб установки з метою економії зовнішніх енергоресурсів. При цьому вплив плазмохімічного піролізу на навколишнє середовище з погляду екологічної безпеки та його технологічності перевершує інші методи та технології поводження з медичними відходами.

На сьогодні, на різних підприємствах світу технології плазмодугового нагрівання вже використовуються в цілодобовому промисловому режимі.

В процесах плазмохімічного піролізу основними сполуками, що утворюються з вуглецевої речовини є метан, монооксид вуглецю, водень, вуглекислий газ і молекули води. Плазмохімічний піроліз об'єднує термохімічні особливості плазми з процесом піролізу за допомогою високотемпературних плазмових дуг в середовищах з дефіцитом кисню для повної глибокої деструкції небезпечних речовин у відходах на простіші молекули. При цьому важливою особливістю плазми піролізу в порівнянні з традиційного спалювання НМФВ є те, що попереднє сортування хлорованих відходів значно спрощується або стає зовсім непотрібним.

Термін «плазмохімічний піроліз» визначає процес розкладу органічних сполук, що здійснюється в низькотемпературній плазмі із середніми енергіями молекул порядку (0,1-50)еВ. Плазмохімічний піроліз вуглеводнів може здійснюватися безпосередньо в електричній дузі, або в плазмовому струмені водню чи іншого газу. Будь-який матеріал під впливом термічної плазми з температурою до 10^4 °C, розкладається на свої елементарні компоненти. Саме цей ефект дає можливість організації технологічного процесу плазмового перероблення для руйнування стійких екологічно небезпечних хімічних сполук, що містяться в медичних відходах або утворюються в процесі їх спалювання. У порівнянні з теперішніми

технологіями, обробка медичних та інших відходів термічною плазмою має наступні переваги:

1. При високих температурах виникають реакції плазмохімічної деструкції небезпечних молекул та важких забруднювальних молекулярних комплексів, а також відбувається розплавлення та оскловування неорганічної частини медичних відходів, що дозволяє значно зменшити об'єми відходів і герметично коксувати забруднення, що важко руйнуються.

2. Висока щільність енергії в плазмовому факелі до 200 ГДж/м^3 , дає можливість створювати високопродуктивні мобільні та стаціонарні установки з меншими капітальними витратами. Компактні розміри та висока щільність енергії суттєво скорочують час виходу на режим та на включення/відключення установок.

3. Використання зовнішньої електричної дуги як джерела енергії дозволяє відокремити процес тепловиділення від процесу кисневого окиснення і при цьому він є незалежним від витрат окиснювача або повітря. Використання високотемпературних електричних дуг також знижує витрати різних, що утворюють плазму.

4. Потужне ультрафіолетове випромінювання плазмової дуги значно прискорює деструкцію відходів, що є особливо дієвим в процесах піролізу органічних хлоридів. Високі температури у реагентній зоні мінімізують тривалість термообробки та дозволяють досягти високої продуктивності при перероблюванні/утилізації відходів.

5. Економічну ефективність плазмохімічних засобів перероблення можна підвищити шляхом синтезу різних комерційних продуктів з високою доданою вартістю як для зовнішніх, так і для внутрішніх власних потреб. Однак, для ефективного управління плазмохімічними процесами потрібно контролювати певний список параметрів піролізу і застосовувати автоматизовані засоби контролю та штучний інтелект для керування процесами плазмового піролізу на усіх його технологічних етапах.

Результати порівняльного аналізу, теперішніх на сьогодні технологій утилізації комунальних, медичних та інших муніципальних і промислових відходів демонструють переваги плазмохімічного піролізу і роблять його поза конкурентним при утилізації небезпечних токсичних відходів, і, на відміну від димових аналогів, їх викиди в довкілля токсичних діоксинів і фуранів значно нижчі за прийняті стандарти, і не вимагає розділення небезпечних відходів. При цьому патогенні мікроорганізми знищуються повністю.

Технологія плазмового піролізу усуває практично всі недоліки інших чинних технологій утилізації відходів і являє собою комплексне рішення для безпечної утилізації медичних відходів з конверсією органічної маси в газ понад 99% і не потребує сегрегації хлорованих вуглеводнів. Після згоряння відходів токсичні гази на виході з установки присутні в незначній кількості та відповідають нормативним екологічним вимогам. При цьому висока температура та УФ-випромінювання плазмового струменю, повністю знищують бактерії/мікроорганізми. Нові високотемпературні технології, здатні радикальним чином здійснювати управління медичними відходами з повноцінним гарантованим екологічним захистом та відновленням територій громад.



Рис. 1.4. Загальний вигляд інсинератора «Мюллер» С.Р.50М
виробництва Франція

В Україні, для спалювання лікарняних біологічних відходів почали застосовувати відносно дорогі інсинератори які, згідно з висновками ВООЗ є технологіями, що можуть утилізувати високо небезпечні медичні відходи згідно з найжорсткішими у всьому світі вимогами нового євростандарту. Вважається, що такі інсинератори можна експлуатувати в радіусі 50 та 100 м від лікарень чи житлових будівель.

Для прикладу, французький інсинератор «Мюллер» С.Р.50М Рис. 1.4. для спалювання органічних твердих відходів повністю знищує мікроорганізми і якщо будь-який параметр викидів перевищує відповідний євростандарт, то робота інсинератора автоматично блокується. Глибина інсинсрації інфікованих медичних відходів досягає 95%, а решта 5 % зольного залишку може транспортуватись на сміттєзвалище. При середній питомій теплоті згорання відходів 3500 ккал/кг методом високотемпературного піролітичного спалювання при температурі до 850°C в камері піролізу, з подальшим допалюванням піролізних газів при 1100-1250°C в додатковій камері без утворення «чорного диму» і тонкодисперсного пилу продуктивність інсинераторів «Мюллер» становить 50-60 кг/годину.

В інсинераторі «Мюллер» С.Р.50М окрім радіоактивних, знищуються горючі медичні відходи, включаючи епідеміологічно небезпечні, а саме: небезпечні біологічні відходи, прострочені та браковані фармпрепарати, стійкі органічні забруднювачі, непридатні та заборонені пестициди, небезпечні біологічні відходи ветеринарії, тваринництва, птахівництва, м'ясопереробної промисловості, прострочені фармацевтичні препарати та відходів фармацевтичної промисловості, стійкі органічні забруднювачі. При незначній непромисловій продуктивності інсинератор «Мюллер» С.Р.50М має досить громіздкі габарити та високу матеріаломісткість, а принципова технологічна температурна обмеженість будь-яких інсинераторів полягає в тому, що для поглиблення «вигорання» екологічно небезпечних речовин, заново утворюваних в процесах горіння самих медичних відходів, потрібна

додаткова кількість повітря спрямованого в осередок горіння. Закачування додаткового “холодного” повітря в зону горіння знижує температуру в камері згоряння медичних відходів до 400-500°C, що не забезпечує гарантоване знищення патогенних екстремофільних мікроорганізмів. Застосування не спалювальних (не вогневих) засобів, таких як автоклави та гідроклави, для стерилізації відходів парою з прямим і непрямим нагріванням все одно вимагає подальшого додаткового спалювання оброблених таким чином медичних відходів у вогневих печах. В процесі тривалої експлуатації інсинератори самі стають джерелами екологічно небезпечних забруднень довкілля та негативного впливу на здоров'я населення.

Така ж ситуація поширюється і на дуже дорогі методи мікрохвильової дезінфекції — стерилізовані таким чином медичні відходи також транспортуються разом із комунальними відходами на звалища, або спалюються.

На цьому фоні єдиною технологією здатною легко створювати в камері згоряння медичних відходів температури до 5000°C і більше є плазмо-дугова технологія плазмохімічного піролізу. Технологія плазмохімічного піролізу медичних відходів, які легко масштабуються для їх застосування як в локальних місцевих, так і в промислових масштабах для утилізації, перероблення та знищення усіх видів медичних відходів. Усі переваги високотемпературного плазмохімічного піролізу та його екологічні вигоди роблять цю технологію з погляду екологічної безпеки та здоров'я орієнтованого поза конкурентною при обробці небезпечних токсичних відходів. І, на відміну від димових аналогів, плазмодугові технології знищують медичні відходи без утворення екологічно небезпечних залишків.

При застосуванні плазмохімічного піролізу для утилізації медичних відходів кількість токсичних діоксинів і фуранів значно нижча за прийняті стандарти викидів і не вимагає сортування/розділення небезпечних відходів. При цьому патогенні мікроорганізми знищуються повністю. І тому

удосконалення чинних та розроблення нових технологічних плазмо дугових засобів перероблення та утилізації медичних відходів є надзвичайно актуальною практичною науково-технологічною проблемою.

Відкрите традиційне спалювання медичних, біомедичних і хімічних відходів на повітрі має небезпечні екологічні наслідки на тривалих відрізках часу. Тому розробка та створення нових економічно доцільних технологій для екологічно чистої та безпечної утилізації усіх видів медичних відходів набула характеру критичної необхідності. І, на сьогодні вже багато компаній у світі, наприклад: Pyrolysis Systems Inc., Канада; Siemens, Німеччина; Plasma Energy Applied Technology Inc., США; Plasmapole, Франція та інші розробляють високотемпературні плазмодугові системи різного тематичного призначення.

Польова утилізація воєнних медичних відходів, утворюваних в результаті ведення війн, також потребує нових методів, підходів і технологій, тому що значна їх частина «закопується в землю» та спалюється.

В Афганістані, Іраку військові медичні та військові побутові відходи обливали токсичним авіаційним паливом і спалювали. В результаті утворювані канцерогенні продукти згоряння відходів призвели до масових захворювань військовослужбовців, включаючи й інфекційні захворювання. Тому у 2012 році Конгрес США вимушено прийняв законопроект про створення реєстру військових, які постраждали внаслідок такого спалювання медичних відходів. У 2014 році в реєстрі значилось більше як 90 000 хворих. Цей досвід наочно свідчить про масштабну небезпеку відкритого спалювання військових медичних та інших небезпечних відходів у разі недотримання температурних умов при відсутності відповідної системи нейтралізації та очищення димових та зольних продуктів згоряння. На сьогодні у країнах НАТО існують санітарні вимоги для поводження з медичними відходами військових медичних підрозділів/закладів [44-45].

Отже, вихідними умовами та даними для розробки, конструювання та створення мобільних польових плазмодугових установок для знищення

медичних військових відходів в їх основу зокрема доцільно покласти вимоги STANAG 2982. Згідно з положеннями цих вимог, за умови розгортання нестационарних медичних підрозділів слід дотримуватися наступних спеціальних конкретних санітарних вимог при поводженні з твердими медичними відходами:

1) дотримуватися загальних правил безпеки праці при наданні медичної допомоги пораненим/хворим, та при поводженні з відходами; (при цьому накопичуються рукавички, маски, фартухи, та інші, що перешкоджають передачі трансмісивних захворювань від пацієнтів - найчастіше такі предмети класифікують як загальні не медичні відходи;

2) сортувати/відокремлювати медичні відходи від загальних відходів на місці розташування медичного підрозділу/закладу та не змішувати медичні відходи з іншими загальними відходами;

3) зберігати медичні відходи в спеціальних червоних сумках/контейнерах стійких до проколів та витоків рідин або у відповідно маркованих сумках для відходів забруднених/просяклих кров'ю, або зі слідами запеченої крові. Якщо використовуються сумки/контейнери не червоного кольору, то інший колір повинен бути чітко зазначений на них, і на сумках (контейнерах) повинно бути зазначено «Небезпечні медичні відходи»;

4) гострі предмети - шприци, голки, скальпелі, вироби зі скла слід збирати в спеціальні міцні, стійкі до проколів та протікання рідин, пластмасові/металеві контейнери/відра з кришкою. При цьому забороняється: випорожнювати контейнери меншого розміру в контейнер більшого розміру, ламати голки - їх необхідно поміщати прямо в контейнери для гострих предметів. При від'єднанні голки від шприца дотримуватися правил техніки безпеки;

5) зібрані медичні відходи спалюються чи стерилізуються з їх подальшим захованням або утилізуються іншими альтернативними технологіями. Попіл спалених МВ засипають у відкритий циліндричний 200

літровий контейнер який після заповнення евакуують на санітарне звалище, обладнане відповідно до національних стандартів. Якщо в попелі немає гострих медичних голок, лез скальпелів і т.п., то попіл може вважатися загальним сміттям і його заховання можливе у спеціально визначеному місці в оперативній зоні.

У разі неможливості спалювання медичних відходів рекомендується їх стерилізація в автоклавах та парових стерилізаторах після чого МВ теж розцінюються як загальне сміття, що видаляється згідно з встановленим порядком та з дотриманням техніки безпеки при поводженні з гострими предметами. Забороняється використовувати польові хірургічні або стоматологічні стерилізатори для автоклавування медичних відходів. За відсутності способів видалення медичних відходів на місці (в оперативній зоні), вони евакууються за межі оперативної зони. Найменш бажаним варіантом видалення медичних відходів є їх поховання на місцевому санітарному звалищі без погодження з місцевими представниками охорони здоров'я.

У польових воєнних умовах найбільш актуальною, чисельною і небезпечною групою відходів є відходи групи В. Виходячи з відповідних вимог даного наказу, за таких умов можливе лише збирання, сортування та маркування відходів у відповідні ємності і їх подальша евакуація за межі оперативної зони з Рис 1.3 [46].

1.5. Про необхідність удосконалення стратегії «Zero Waste» в системі поводження з НМФВ в місті Києві на основі високотемпературних плазмохімічних технологій

З огляду тільки самого списку техно-екологічних проблем цілком очевидним є те, що впровадження стратегії «Zero Waste» в традиційному її розумінні для поводження з медичними та з іншими категоріями небезпечних відходів може бути реалізоване далеко не в кожній країні. Наприклад, дуже

невдалим виявився британський проект «Zero Waste». Результати аналітичного дослідження головних причин провалу цього проекту представлені в Таблиці 1.3 і показують, що вони мали системний, інституційний і поведінковий характер.

Таблиця 1.3

**Основні причини обмеженої реалізації стратегії «Zero Waste» у
Великій Британії**

Причини	Коментарі
Відсутність єдиного загально національного підходу	У Британії політика поводження з відходами децентралізована. Англія, Північна Ірландія, Шотландія і Уельс мають окремі стратегії, і через це відсутня узгоджена загальна національна програма «Zero Waste». У частині регіонів була амбіційна риторика не мала реальних механізмів реалізації.
Недостатня інфраструктура переробки	Переробна інфраструктура не встигала за накопиченням відходів, частина яких не перероблялися в Британії, а експортувалися зокрема до Китаю до 2018 р., тобто до заборони Китаєм імпорту брудної вторсировини.
Комерційні інтереси і домінування лінійної економіки	У виробників не було необхідної розширеної відповідальності (EPR) за упаковку та за продукти в кінці їх життєвого циклу. Одноразова упаковка залишалася дешевою й вигідною для бізнесу.
Слабка регуляторна політика	Британська система поводження з відходами була довго орієнтована на звалища та спалювання, а не на запобігання відходам. Низькі штрафи за порушення вимог, нагляд за поводженням з відходами.
Відсутність інноваційної підтримки	Недостатнє фінансування наукових досліджень та підтримки технологій «Zero Waste», включаючи розширене повторне використання, модульні системи тощо.

Брак просвіти та мотивації громадськості	Низьке число інформаційних кампаній про сортування і роздільний збір, про важливість зменшення споживання. Плутанина в правилах сортування в різних муніципалітетах, що знижувало довіру до системи.
Політична нестабільність і вплив Brexit	Brexit створив невизначеність екологічного законодавства, зокрема щодо узгодженості з політикою ЄС у сфері циркулярної економіки. А частина екологічних ініціатив були заморожені або перенесена.

Отже, невдачі стратегії «Zero Waste» у Великій Британії зумовлені системною несумісністю між декларованими цілями та реальними практиками: брак національної координації, слабка відповідальність виробників, переважання спалювання замість повторного використання, низький рівень громадської залученості та застаріла інфраструктура.

Однак, на сьогодні вже формуються тенденції, що сприяють впровадженню нових технологій здатних за короткі відрізки часу здійснювати переробку НМФВ відходів з максимальною екологічною ефективністю на основі застосування базового принципу - технологія прямує за відходами. При цьому найбільш привабливими є масштабовані мобільні модульні повністю автоматизовані плазмохімічної технології та установки які можуть оперативно доставлятися в місця вироблення або накопичення НМФВ як в сільських місцевостях, так і в промислових мегаполісах.

На сьогодні на шляху головної стратегічної мети впровадження «Zero Waste» в системі поводження з небезпечними медичними та фармацевтичними відходами слід дотримуватися наступних головних акцентів:

- поступово збільшувати вилучення і знищення НМФВ із загальних потоків муніципального та комунально-побутових відходів зменшуючи при цьому об'єми спалюваного сміття та посилюючи екологічний та медико-екологічний контроль над сміттєвими компаніями;

- забезпечувати пріоритети обробки та переробки НМФВ на місцях їх утворення;

- для реалізації сутність ідеології і філософії стратегії «Zero Waste» компаніям, які займаються відходами, потрібно надати більш екологічні і технологічно досконаліші методи і технології для знищення, в першу чергу, небезпечних відходів.

Аналіз цих акцентів дає можливість сформулювати новий погляд на подальший технологічний розвиток «Zero Waste» за принципом «технологія прямує за відходами», що може радикально змінити ситуацію в системі поводження з небезпечними медичними відходами і особливо в умовах війни.

За рівнем екологічної та медико-екологічної безпеки тверді (ТМВ) і рідкі медичні відходи (РМВ), відносяться до I та II класів безпеки, тобто до високо і середньо небезпечних класів, оскільки до їх складу часто попадають патогенні мікроорганізми - віруси, спори та бактерії, залишки антибіотиків, цитостатиків і гормонів, важких і токсичних металів - ртуті, апаратурного кадмію, різні небезпечні інструменти — скальпелі, голки та інші. Тобто, усі категорії НМФВ, що поступають в загальні потоки муніципальних та комунально-побутових відходів міста Києва, несуть найбільшу екологічну та медико-екологічну небезпеку і ризики, і тому вони повинні бути наділені найвищим пріоритетом в контексті формування міста Києва як здоров'яорієнтованого міста. Медичні відходи не можна обробляти, переробляти або зберігати за загальними стандартами за якими здійснюється поводження із іншими твердими міськими відходами. А їхня потенційна медико-екологічна небезпека вимагає: повної заборони їх поховання навіть на полігонах для медичних відходів і повного їх вилучення та надійної ізоляції на місці їх утворення від загальних потоків комунально-побутових відходів; термічної стерилізації в автоклавах або високо термічної плазмохімічної деструкції; цифрового маркування та строгого логістичного контролю з використанням GPS та блокчейн-реєстру.

Для забезпечення екологічної безпеки усіх категорій медичних відходів вимагається: нульовий рівень викидів патогенів, діоксинів та фармацевтичних залишків у довкілля; апаратурний контроль безпечності сумішей газів і аерозолів навіть зольних, конденсатних та відфільтрованих залишків після переробки та утилізації таких відходів. При цьому апаратурний контроль повинен бути інтегрованим в систему екологічного моніторингу міста. В цьому відношенні також дуже важливим є те, що висока інтенсивність УФ-випромінювання плазмового струменю, повністю знищує бактерії/мікроорганізми і значно прискорює деструкцію відходів, а високі температури до 4000°C) у реагентній зоні мінімізують тривалість термообробки медичних відходів всіх категорій без попередньої обробки.

Юридично НМФВ не входять у звичайну систему поводження з міськими ТПВ. Тому, спеціально для них, у загальній системі муніципального управління здійснюється автономна вертикаль поводження в якій використовуються: спеціальні контейнери і різні за вимогами до них пакувальні засоби; спеціальні ліцензовані транспортні перевезення; спеціалізовані методи, установки та інше обладнання. При цьому усі перелічені дії та засоби повинні бути узгодженими з протиепідемічною системою міста, тобто з ДСЕС та МОЗ повинна бути включеною в план цивільного захисту міста на випадок війни, пандемій або техногенних аварій.

Малотоннажні плазмохімічні модулі-автомати з продуктивністю до 1 т/добу для забезпечення медичних закладів будь-якого профілю; установки для фінішної плазмохімічної утилізації твердих та газоаерозольних енергетичних залишків в спеціальних технологічних блоках у складі мобільної установки «Плазмон-3М». Ці установки здатні переробляти усі категорії медичних відходів при 100% утилізації обсягів МВ без утворення будь-яких небезпечних залишків та сміттєзвалищ. Впровадження таких спеціалізованих електродугових плазмохімічних установок у вигляді локальних або мобільних переробних ліній та міні-заводів з оптимальними переробними потужностями безпосередньо на місцях утворення медичних відходів в

медичних закладах. Такий технологічний підхід є універсальним рішенням переробки і знищення змішаних потоків пластику, поліетилену та складних текстилів. Тому ця технологія є максимально практичним і реальним компонентом для створення реальної стратегії розвитку «Zero Waste» яка повинна бути забезпеченою цифровими технологіями моніторингу, обліку і трекінгу медичних відходів та мобільними додатками з використанням ШІ для відстеження відходів за типом і кількістю для модельного прогнозування виробництва медичних відходів, а також для розробки оптимальних маршрутів і таймінгу збирання і планування розкладу переробки або утилізації.

Загальний принцип плазмохімічного знищення відходів полягає в високотемпературній демолекуляризації небезпечних сполук при температурах більших за 1200°C . В таких умовах в плазмохімічних реакторах не утворюються смоли і діоксини, а будь-які завантажуванні відходи повністю розкладаються на прості безпечні сполуки. На виході плазмохімічного реактора після повного з плазмохімічного циклу залишаються лише суміш водню, моно оксиду вуглецю з домішками інших горючих газів та незначна частина твердих мінеральних коксованих матеріалів.

Викидання токсинів в довкілля при застосуванні плазмохімічних методів зменшується на 99%, а отримувані екологічно безпечні енергетичні речовини та їхнє тепло можна використовувати для власних потреб самої установки з метою економії електроспоживання.

Продуктом плазмової газифікації є висококалорійний горючий синтез-газ (суміш $\text{H}_2 + \text{CO}$) та нейтральний твердий залишок у вигляді застиглого шлаку який піддається гранулюванню і може використовуватися в будівництві. Результати випробувань показали, що при плазмовій газифікації концентрація токсичних викидів як у атмосферу, так і в твердому залишку, нижча за чинні екологічні стандарти. При цьому процес плазмової газифікації не чутливий до вологості та складу оброблюваних відходів.

Для роботи плазмохімічного реактора потрібні тільки повітря та електроживлення для утворення і підтримання електричної дуги. До складу установки входять: плазмовий генератор, реактор-газифікатор з ярусними дюзами для подачі водяної пари або інших реагентів та повітря, система допалювання та система очищення.

Для блокування можливого змішування речовин утворених в реакторі з атмосферними газами на виході реактора донна його частина ізолюється гідрозасувкою – резервуаром з водою. Утворюваний в реакторі шлак та інші негорючі неорганічні речовини виловлюються колосниками з чавуну і в процесі їх обертання, попадають на дно гідро затвора. Кількість утворюваного шлаку як правило не більше за 7% початкової маси відходів. Шлаки являють собою нетоксичну спечену масу з оксидів і карбонатів металів та кремнію і придатні для їх використання в будівництві.

Утворюваний плазмотроном факел іонізованого газу руйнує молекули органічної сировини з виділенням чистого водню та монооксиду вуглецю. Після фільтрації та осушування ці продукти можна знову направити в реактор для покращення енергетичного та економічного балансу установки або для синтезу вищих органічних сполук, які неможливо виробляти ніяким іншим методом.

Для енергетичного використання НМФВ найефективніше застосовувати їх плазмохімічну газифікацію з поверненням неочищених горючих газоаерозольних сумішей в технологічний плазмовий піролізний цикл для допалювання з метою спрощення систем очищення та економії електроспоживання. Саме плазмова дугова мобільна установка «Плазмон-3М» ефективно інтегрується як важливий елемент гібридних стратегій «Zero Waste» в першу чергу для остаточного знищення залишкових димних вихлопних сумішей.

Отже, серед усіх дозволених методів знешкодження НМФВ особливої уваги заслуговує електродугова плазмохімічна високотемпературна молекулярна деструкція і газифікація яка завдяки впливу плазмової дуги з

температурами в діапазоні 3000-10000°K здатна забезпечити розщеплення будь-яких речовин до електронів, іонів та радикалів. А складні полімери перетворюються на газоподібні вуглеводні та оксид вуглецю, що дозволяє скоротити утворення токсичних сполук на 99%. при цьому газифіковані залишкові горючі речовини можуть бути використані для власних потреб установки, зменшуючи споживання електроенергії [26].

На сьогодні у світі створено десятки видів нових електродугових плазмотронів з тривалим експлуатаційним ресурсом та потужністю від 1 кВт до 20 МВт, а також спеціалізовані плазмодугові стаціонарні та мобільні установки які здатні працювати в температурному діапазоні до 10000°С. Такі плазмогенератори придатні для їх спеціалізованого промислового застосування в установках для утилізації відходів практично усіх категорій. При цьому плазмовий генератор може працювати на різних плазмоутворюючих газах

1.6. Переваги та недоліки плазмодугових технологій

Плазмові дугові технології і установки на базі нових плазмових генераторів також можна застосовувати для стендового експериментального дослідження електродугових плазмових установок для утилізації відходів з тривалим експлуатаційним ресурсом роботи або для комплексних ресурсних і технологічних випробувань для технологічного і техніко-економічного обґрунтування технологічних і промислових процесів та циклів для відходів з різним складом і рівнем їх екологічної та медико-екологічної небезпеки (Таблиця 1.4).

При цьому плазмові дугові технології мають наступні додаткові переваги:

- здатність знищувати практично всі токсичні речовини;

- можливість рекуперації синтез-газу з високим енергетичним потенціалом (CO та H_2), що забезпечує створення замкненого, безвідходного і екологічно чистого циклу;
- досягнення коефіцієнта газифікації на рівні 93–95% з економією електроенергії до 40% та зменшенням об'єму відходів у 300–400 разів;
- спрощення процесів попереднього сортування та сушіння відходів;
- запобігання утворенню вторинних діоксинів навіть у присутності хлорвмісних компонентів завдяки високотемпературному плазмовому впливу ($>3000\text{ }^\circ\text{C}$) [27];
- мінімальний рівень концентрації NO_x , SO_x та CO_2 у вихлопних сумішах;
- радикальне розщеплення органічних молекулярних сполук та мінімальне утворення зольно-пилових викидів.
- здатність високо термічного знищення практично всіх токсичних речовин;
- можливість рекуперації утвореного синтез-газу, який містить до 40–50% енергії у вигляді оксиду вуглецю (CO) та водню (H_2), що відкриває перспективу створення замкненого безвідходного й екологічно чистого переробного та утилізаційного циклу;
- досягнення максимально високого, недосяжного для інших технологій, коефіцієнта газифікації на рівні 93–95% із одночасною економією електроенергії до 40% та зменшенням об'єму відходів у 300–400 разів;
- значне спрощення процесів первинного сортування та сушіння відходів;
- блокування утворення високотоксичних вторинних діоксинів у присутності сполук, що вміщують хлор завдяки високотемпературному ($>2000\text{ }^\circ\text{C}$) плазмовому впливу [28-29]

Завдяки переліченим перевагам плазмодугові технології здатні задовольняти найсуворіші екологічні стандарти, включно з вимогами G7 та Євро-6 [30].

Таблиця 1.4

Функціональні етапи переробки ТПВ у плазмохімічному реакторі

Назва етапу переробки твердих відходів	Функція плазмогенератора
Нагрівання	Нагрівання газу для підготовчого підігріву ТПВ
Газифікація	Газифікація продуктів переробки та посліду- ючої подачі синтез-газу в систему плазмохіміч- ного реактора
Плавлення	Плавлення мінеральних та металічних залишків утворюваних після спалювання ТПВ
Молекулярно деструк- ційне знищення токси- нів	Знищення небезпечних речовин в вихлопних димових та рідких сумішах
Допалювання небезпеч- них ново утворюваних залишків	В комбінації з понадзвуковим пальником із за- стосуванням виробленого в плазмохімічному реакторі синтез газу для власних потреб устано- вки з метою підвищення екологічної та еконо- мічної привабливості технології.

Технологічні недоліки технології полягають у необхідності попереднього подрібнення відходів та зовнішнього електроспоживання. Однак, можливість повертати в технологічний плазмохімічний процес теплову енергію вуглецевмісних відходів дозволяє економити понад 40% електроенергії.

Отже, найбезпечніше і найефективніше медичні відходи перетворювати в енергетичний продукт для власних потреб перероблювальної технології закладеної в основу мобільної високотемпературної плазмохімічної установки «Плазмон-3М», яка призначена для роботи в режимі економії

замкнутого циклу безпосередньо на місцях вироблення медичних та фармацевтичних відходів.

Однак, на сьогодні плазмовий електродуговий метод не має достатньо широкого поширення. При цьому стримуючими факторами є апаратурна складність і вартість. Але сучасні розробки плазмотронів постійного та змінного струму мають великий ресурс роботи електродів, значно простіші в керуванні та обслуговуванні. І, як уже було сказано, високі енергозатрати під час плазмової переробки можна компенсувати шляхом повторного споживання запасу теплової енергії у відходах для власних потреб плазмової електродугової технології, яку можна використовувати для підвищення екологічності, ефективності та економічності плазмохімічних установок з допалюванням вихлопних димових сумішей для запобігання потраплянню в навколишнє середовище таких екотоксикантів як діоксинів, фуранів, біфенолів тощо.

У Великій Британії завод компанії WPC Air Products також щомісяця переробляє понад 30 кілотонн відходів, у складі яких присутні: тверді побутові відходи (ТПВ), промислові та шлакові відходи, медичні та біологічні відходи, відходи роздрібної і оптової торгівлі, і продукти нафтопереробки [31]

1.7. Екологічний ефект і значення стратегії «Zero Waste» для поводження з медичними відходами у контексті перетворення Києва у здоров'яорієнтоване місто

Місто Київ є містом мегаполісом із великою кількістю та щільністю різних клінік, лікарень, госпіталів, фармацевтичних підприємств, аптек, лабораторій та інших медичних установ. Ефект впровадження «Zero Waste» для медичних відходів в місті Києві перш за все полягає в зменшенні частоти та кількості хронічних та інфекційних захворювань серед населення, а значить і у покращенні показників громадського здоров'я в результаті

зменшення кількості випадків госпіталізації громадян через хімічні ураження шкірні та респіраторні хвороби через зменшення забруднення довкілля, що підвищує якісні екологічні умови життя мешканців - чистіше повітря, менші загрози та ризики забруднення поверхневих та підземних вод. При цьому особливі екологічні та медичні вимоги постають перед необхідністю профілактичних заходів проти можливих епідемій за рахунок глибокої стерилізації та утилізації патогенних матеріалів.

Однак в Україні, не зважаючи на те, що усі медичні відходи, незалежно від їх категорії, є небезпечними, практично усі вони попадають в загальні потоки муніципальних відходів і нарешті виявляються на полігонах та на санкціонованих і не санкціонованих звалищах. При цьому їх неконтрольоване без облікове зберігання, спалювання або поховання призводять до забруднення повітря, води, ґрунту і нарешті, створюють усі види небезпеки для населення та довкілля - отруєння об'єктів довкілля та онкологічні, епідеміологічні спалахи, а також антибіотичні резистентні і ще дуже багато інших видів захворювання.

Тому нова стратегія «Zero Waste» в системі поводження з НМФВ повинна не просто зменшити кількість медичних відходів, а реально виключити усі ланки наявного ланцюга на якому вибудована вся система поводження з НМФВ: збирання → оброблення → утилізацію → можливість повторного несанкціонованого використання → небезпечного транспортування → утворення, накопичення та зберігання небезпечних концентрованих технологічно не перероблюваних залишків.

Чисельність населення Києва становить ~3,1 млн осіб. Середній щоденний обсяг медичних відходів за нормальних умов становить 0,5–0,8 кг/особу. Тому добовий загальноміський обсяг вироблених медичних відходів становить приблизно 3 тонни. Обсяги медичних відходів глобально зростають через війни, пандемії та кризи. В Україні з 2022 року, через війну, їх кількість різко збільшилася. У 2023 році у прифронтових областях (Харківська, Донецька, Херсонська, Запорізька) обсяги медичних відходів

збільшилися щонайменше в 4–5 разів у порівнянні з довоєнним періодом. А їх загальна кількість в Україні могла перевищувати 10 000 тонн на рік значна частина яких утворювалась у непристосованих для них умовах [32-34] є велика кількість поранених з урахуванням лікування яких фактичний обсяг виробництва МВ можна прийняти на рівні приблизно 17 тонн/добу. Отже, для реалізації стратегії створення системи повної ліквідації медичних відходів за стратегією «Zero Waste» на основі впровадження технологій плазмо-хімічної утилізації небезпечних МФВ необхідно мати пілотну установку, в якості центральної промислової одиниці з потужністю переробки приблизно 17 тонн/добу в логістично зручному місці для надання екологічного сервісу медичним установам Києва.

Для якісної оцінки екологічного ефекту технології «Zero Waste» можна порівняти блок-схеми наявної на сьогодні організації системи поводження з НМВ у м. Києві і представленої на Рис. 1.5 з блок-схемою муніципального проекту «Zero Waste» для медичних відходів у Києві (markdown) на основі технології «Плазмон-3М» представленою на Рис. 1.6.

Таким чином, реалізація муніципального проекту «Zero Waste», блок-схема якого показана на Рис. 1.6, для медичних відходів у м. Києві (markdown) на основі технології «Плазмон-3М» здатна дати наступні принципово нові результати:

1 - екологічно безпечно перероблювати усі 100% МФВ шляхом їх високотемпературної трансформації на нетоксичні екологічно безпечні сполуки та залишкові високоміцні і екологічно безпечні іммобілізуючі матеріали;

2 - значно спростити систему поводження з НМФВ шляхом ліквідації потреб у їх знезараженні в парових та газових автоклавах в етиленоксиді;

3 - ліквідувати численні транспортні операції з НМФВ в спеціальних герметизованих контейнерах для усунення ризиків медико-екологічного зараження довкілля і максимально зменшити логістичні витрати;



Рис. 1.5. Базова блок-схема інфраструктури наявної на сьогодні системи поводження з НМФВ у м. Києві.

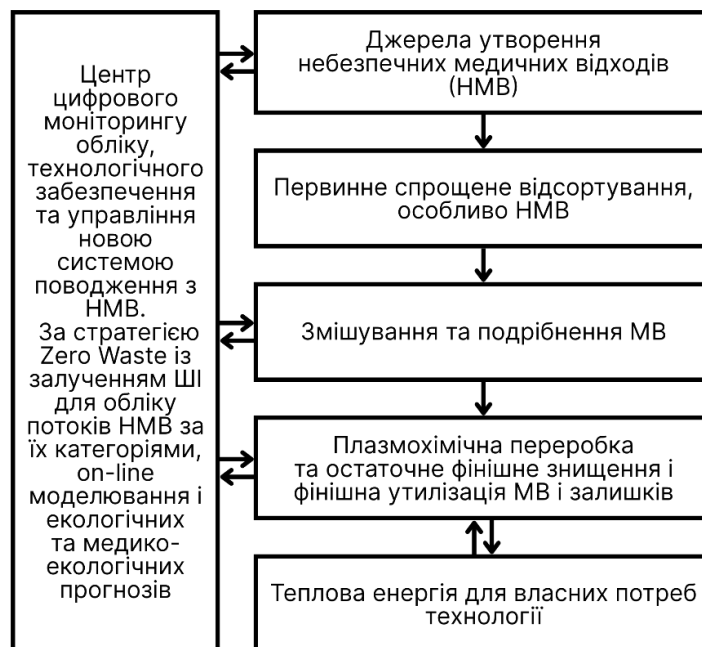


Рис. 1.6. Базова блок-схема інфраструктури муніципальної системи поводження з небезпечними медичними відходами при застосуванні стратегії Zero Waste у місті Києві (markdown) на основі високотемпературної плазмохімічної технології «Плазмон-3М».

Отже, впровадження технологічно оновленої стратегії «Zero Waste» шляхом використання мобільних плазмових установок «Плазмон-3М» для небезпечних медичних відходів здатне дати необхідні результати для формування міста Києва як сучасного і здоров'яорієнтованого мегаполіса з високими урбаністичними та екологічними показниками та стандартами в системі охорони здоров'я в результаті зниження рівня екологічної небезпеки населення і довкілля.

В результаті 100% переробки та утилізації НМФВ без полігонів і звалищ, ліквідації джерел різних інфекцій, формування нової культури відповідального екологічного поводження з медичними відходами та екологічної просвіти громадськості нова система захисту громадського здоров'я населення повинна запобігати епідеміологічним спалахам, онкологічним захворюванням, анти біорезистентності тощо. Як наслідок у місті Києві покращаться показники громадського здоров'я — зменшиться кількість випадків госпіталізації через хімічні ураження, шкірні та респіраторні хвороби, підвищиться якість життя громадян завдяки зменшенню ризиків забруднення води та повітря, покращиться ефективність профілактики проти епідемій.

І нарешті, плазмохімічні технології здатні найекологічнішим чином, при температурах 1200-1800°C і більше, компактизувати РАВ середньої і низької активності із забезпеченням знижених ризиків витікання радіації з відходів [35-37] та тверді матеріали з складними хімічними формулами тільки за одну стадію із зменшенням їх первинних об'ємів до 95%.

Виходячи з того, що тепло енергетичний потенціал органічних медичних відходів за синтез-газом становить $\sim 50\text{--}200\text{ м}^3/\text{т}$ за добу для власних потреб установок можна отримати до 1,8 МВт потужності на одну установку в перерахунку на електроенергію. При цьому інвестиційна вартість однієї повнокомплектної плазмохімічної установки з усім периферійним обладнанням ≈ 30 млн гривень орієнтовно. А ціна приймання усіх категорій медичних відходів на їх утилізацію ліцензованими компаніями становить в

середньому 50-60 тисяч гривень за одну тонну МВ. Тоді, для своєї самоокупності, кожна установка, з урахуванням експлуатаційних та управлінських витрат, у загальному повинна знищувати приблизно 1000 тонн МВ. Звідси термін самоокупності буде становити не більше одного року. До цього слід додати економію витрат на ліквідацію наслідків захворювань, зниження витрат на полігони та ліквідацію аварійних ситуацій, створення нових «зелених» робочих місць.

Шляхом реалізації пілотного об'єкту, місто Київ отримає першу в Східній Європі міську систему «Zero Waste» спеціалізовану і масштабовану для безвідходного екологічно чистого та медико-екологічно безпечного знищення медичних відходів за стратегією «Zero Waste» для реалізації програми перетворення Києва на здоров'яорієнтоване місто.

Отже, оновлена техно-екологічна модель «Zero Waste» повинна передбачати інтеграцію високотехнологічних рішень, здатних працювати на молекулярному й атомному рівні, з метою екологічно чистого та безпечного відновлення або радикальної трансформації матеріалів без медико-екологічних ризиків і загроз. Такий підхід теж закладає основу для впровадження локалізованих систем переробки небезпечних відходів, орієнтованих на децентралізовану утилізацію із поверненням енергії в комерційно та екологічно привабливі процеси утилізації та переробки.

Висновки до розділу 1

1. Реалізація стратегії перетворення Києва у здоров'яорієнтоване місто неможлива без технологічного оновлення системи поводження з медичними та фармацевтичними відходами, які в Україні, усі без виключення, належать до категорії небезпечних.

2. У світі поки що відсутні технології екологічно безпечного знищення НМФВ окрім їх спалювання. Але Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) не рекомендує низькотемпературне спалювання НМФВ при

температурах менших за 850°C без належного очищення димних сумішей від токсичних залишків здатних проникати в харчові ланцюги, щоб відповідати міжнародним стандартам безпеки та охорони здоров'я. При цьому практичний п'ятдесятирічний досвід «Zero Waste» показує, що нікому і на жодному рівні не вдалося дійти до реальної позначки «нуль».

3. Для забезпечення молекулярної деструкції токсичних сполук у МКПВ та НМФВ потрібні температури $1200\text{--}3000^{\circ}\text{C}$ які можна отримати в плазмодугових технологіях на базі вітчизняних генераторів плазми ПУН-1 які універсальним чином здатні переробити та знищити НМФВ з мінімальними медичними і екологічними впливами та збитками і отримати додаткову теплову енергію для підвищення економічної, екологічної та медичної ефективності технології.

4. У польових воєнних умовах найбільш актуальною, чисельною і небезпечною групою відходів є відходи групи В. Але в польових умовах можливе лише збирання, сортування та маркування відходів у відповідні ємності та їх подальша евакуація за межі оперативної зони згідно з нормативними рекомендаціями. При цьому плазмодугові дугові технології значно спрощують численні процеси поводження з НМФВ і являють собою комплексне рішення для екологічно безпечної утилізації медичних відходів в польових умовах війни. І створення автономних мобільних модульних плазмових дугових установок потужністю до 90 кВт на базі вітчизняних плазмових генераторів ПУН-1 дозволяє знищувати небезпечні медичні відходи на місці їх утворення або накопичення без їх детального сортування, просушування та транспортування.

РОЗДІЛ 2

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ НЕГАТИВНИХ ВПЛИВІВ НА УРБОЕКОСИСТЕМИ ТА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ, АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ В СИСТЕМІ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ У МІСТІ КИЇВ

2.1. Оцінювання антропогенного екологічного впливу урбоекосистем на здоров'я населення

Формування здоров'я орієнтованого міського середовища неможливе без зменшення міських муніципальних та комунально побутових відходів до складу яких сьогодні входять і багато небезпечних медичних відходів. При цьому прогнозування кліматичного стану природно-антропогенного міського середовища [60-61] у контексті управління екологічними та медичними ризиками для здоров'я населення означає, що стан екологічного простору міста слід орієнтувати і адаптувати на основі мінімізації впливу екологічних та медичних факторів на здоров'я городян. При цьому слід враховувати потужний фактор повномасштабної війни на території України і її наймасштабніші згубні фактори забруднення повітря, води та ґрунту, втрати біорізноманіття, руйнування екосистем, утворення значної додаткової кількості усіх видів медичних відходів [62- 64].

Якість міського середовища має ключове значення для забезпечення здоров'я та екологічної безпеки мешканців і також в управлінні екологічними ризиками в контексті здоров'яорієнтованого розвитку міст [61,65-67]

Ефективність захисту та оцінка ступеню впливу антропогенних факторів на безпеку здоров'я населення та формування комфортного середовища проживання та функціонування потребують розробки математичних методів ідентифікації, прогнозу змін ряду параметрів оточуючого середовища, яка дозволить якісно та кількісно визначити

величину небезпеки їх впливу. Саме тому розробка методологічних основ дозволить робити висновки про ступінь впливу негативних чинників, є основною задачею при опрацюванні методик та розробки управлінських рішень щодо зниження негативного впливу.

Критерії безпеки людини в умовах урбоекосистем передбачають визначення індикаторів безпеки об'єкта вивчення в ході дисертаційних досліджень. Для оцінки стану безпеки міського середовища для людини важливими є граничні величини показників, недотримання значень яких призведе до деградаційних процесів як на території міста, так і для організму людини.

Серед значної кількості математичних методів, які передбачають визначення основних ризиків найбільш перспективним є підхід В.Д.Фурасова, відповідно до якого передбачається розробка математичних моделей на основі моніторингових даних. Такий підхід дозволяє здійснити наукове обґрунтування характеру змін та тенденцій негативного впливу антропогенних чинників в умовах міського середовища будь-якого походження.

Також, даний підхід дозволяє встановити загальну структуру автономних авторегресивних нестационарних моделей, що збігаються з результатами спостережень.

Стан компонентів міського середовища визначається кількісними показниками для оцінки концентрації шкідливих речовин, рівнів шумового та магнітного забруднення, радіаційних впливів та їх порівняння із нормативними гранично допустимими концентраціями в різних заселених та промислових екологічних середовищах (ГДК).

У столиці України місті Києві проживає понад 2,6 млн жителів. [68]. При цьому з початком повномасштабної війни кількість населення в Україні скоротилася і станом на травень 2024 року поточне населення України, за оцінками УІМ, становить приблизно 26 млн осіб.

Нами було проведено соціальне дослідження, результати якого дозволило виявити отримати необхідну інформацію відповідно до мети дослідження.

Соціальне дослідження включало наступні основні етапи:

1. Збір даних. Під час цього етапу нами було підготовлено анкети, обрано категорії респондентів та отримано репрезентативні результати і проведено анкетування

2. Аналіз отриманих даних. На етапі аналізу даних нами було проведено перевірку відповідей на їх повноту та послідовність.

3. Результати аналізу. Статистичний аналіз отриманих даних дав можливість виявити основні закономірності і провести інтерпретацію результатів.

В соціальному опитуванні брали участь близько 1890 респондентів різного віку та статусу. Проте, для роботи було використано лише 1560 респондентів, які надали максимально повноту своїм відповідям. Пряме анкетування також передбачало записування анкетних відповідей власноруч самими опитуваними особами.

Основними інструментами для обробки та базового аналізу даних були програми Microsoft Excel та Google Sheets. Для більш глибокого аналізу використовувались програма Statistica

Узагальнені результати цих досліджень представлені на рис. 2.1.-2.12

Ваша стать

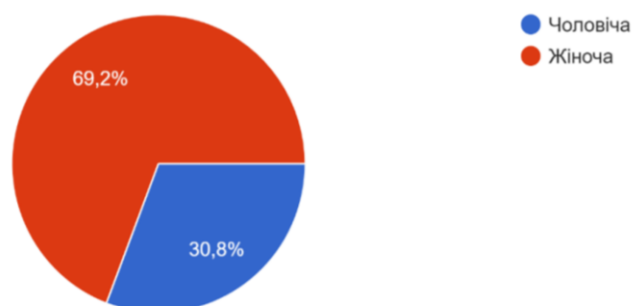


Рис.2.1. Результати опитування населення міста Київ

Ви ведете здоровий спосіб життя?

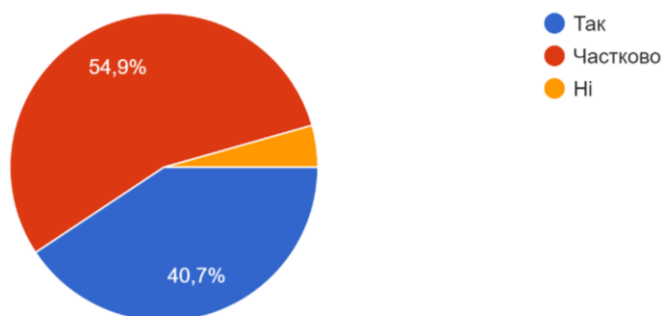


Рис.2.2 Результати опитування населення міста Київ

Ви відчуваєте себе щасливим?

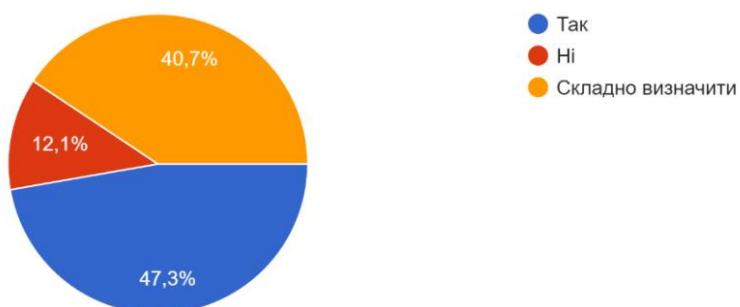


Рис.2.3 Результати опитування населення міста Київ

Ви працюєте / навчаєтесь у межах вашого району?

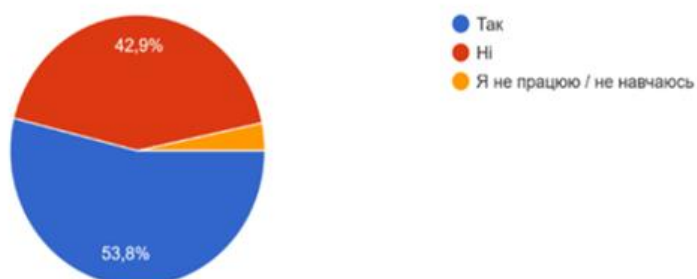


Рис.2.4.Результати опитування населення міста Київ

Як Ви оцінюєте розвиток інфраструктури вашого району?

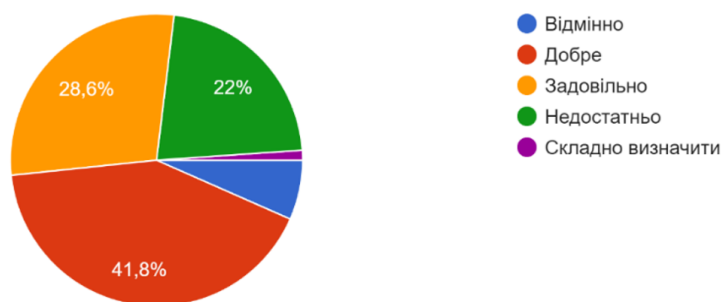


Рис.2.5 Результати опитування населення міста Київ

Чи достатньо зелених зон та парків у вашому районі?

§

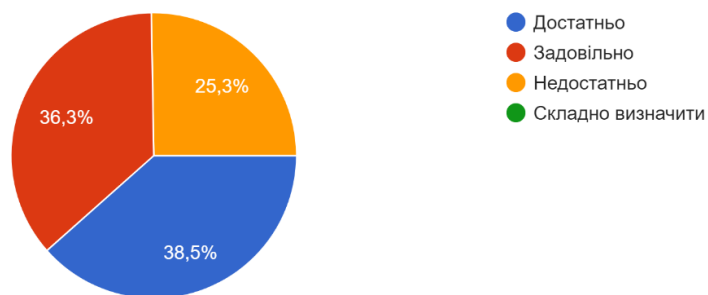


Рис.2.6 Результати опитування населення міста Київ

Чи функціонують на території вашого району проживання промислові підприємства?

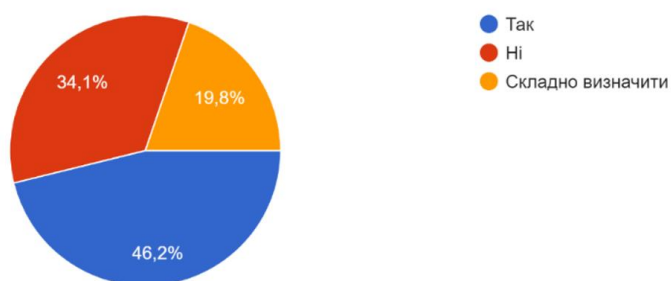


Рис.2.7 Результати опитування населення міста Київ

Як Ви оцінюєте планування міських територій у вашому районі?

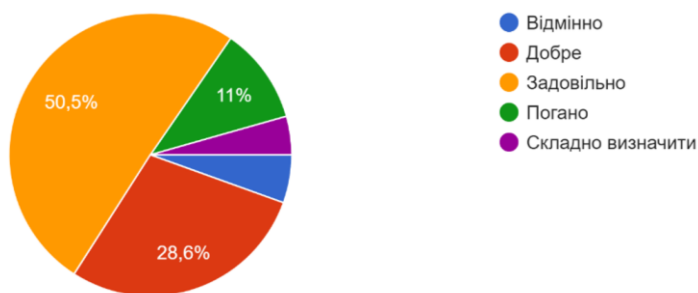


Рис. 2.8 Результати опитування населення міста Київ

Як Ви оцінюєте стан свого здоров'я?

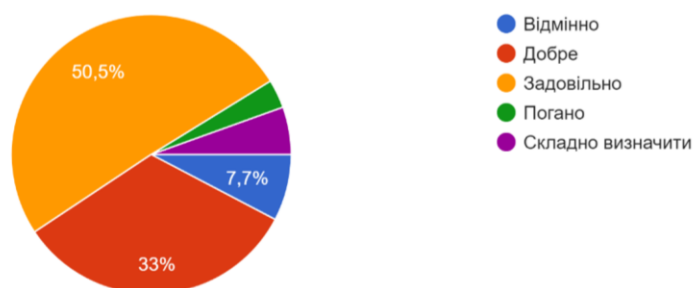


Рис. 2.9 Результати опитування населення міста Київ

Які у Вас та вашої сім'ї проблеми зі здоров'ям?

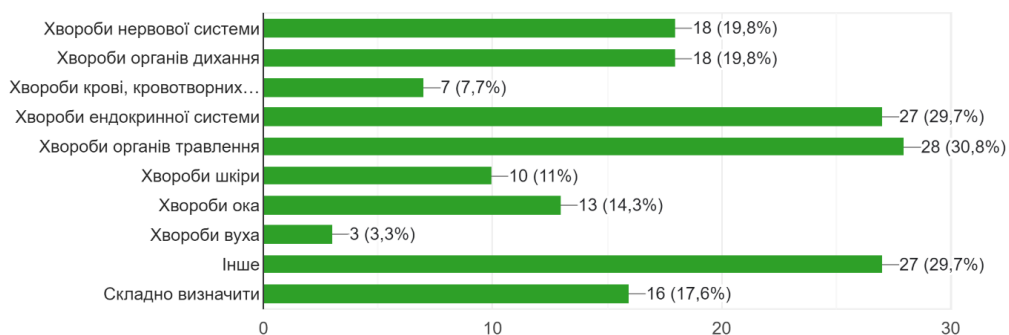


Рис. 2.10 Результати опитування населення міста Київ

Фактори, які впливають на стан вашого здоров'я?

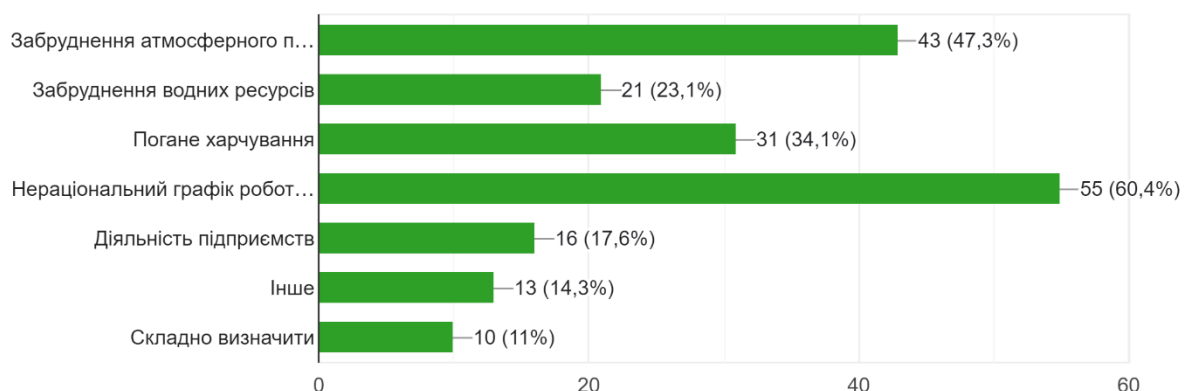


Рис. 2.11 Результати опитування населення міста Київ

Які зміни Ви б внесли у планування міських територій?

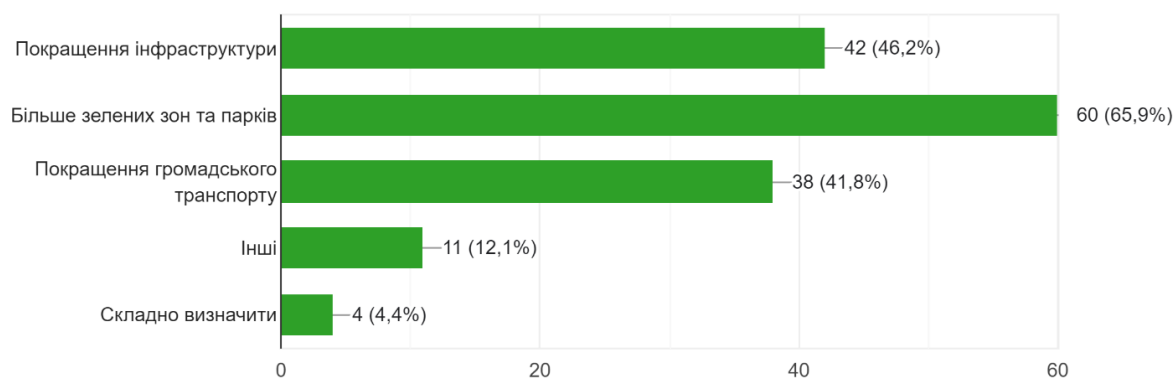


Рис. 2.12 Результати опитування населення міста Київ

Таблиця 2.1

**Інформація про кількість утворення та оброблення відходів I-IV класів небезпеки за категоріями відходів у м.
Київ за 2023 рік**

Обсяг утворених відходів	Обсяг утворених відходів	Обсяг відновлених відходів	Обсяг спалених відходів	У т.ч. з метою		Обсяг видалених відходів на полігони
				виробництва енергії або матеріальних продуктів	термічного оброблення відходів	
Усього	2339018,0	32054,0	163888,5	162744,6	1143,9	2022990,7
Використані розчинники	635,0	6,0	—	—	—	—
Відходи кислот, лугів чи солей	433,8	15,0	—	—	—	—
Відпрацьовані оливи	3503,8	257,3	260,6	148,2	112,4	—
Хімічні відходи	1628,7	623,2	887,7	710,1	177,6	38,0
Осад промислових стоків	30286,8	5216,4	1,9	1,9	0,0	20943,2
Шлами та рідкі відходи очисних споруд	127516,7	1105,3	8,2	0,0	8,2	112582,1
Відходи від діяльності бригад швидкої допомоги	139,8	—	782,6	624,4	158,2	—
Відходи чорних металів	42518,9	1346,8	—	—	—	—

Відходи кольорових металів	4798,2	745,6	—	—	—	—
Змішані відходи чорних та кольорових металів	103,5	0,2	—	—	—	—
Скляні відходи	5689,9	—	—	—	—	12,0
Паперові та картонні відходи	40417,0	—	142,2	76,0	66,2	326,2
Гумові відходи	1390,7	36,3	0,0	0,0	0,0	—
Пластикові відходи	8330,6	291,6	185,9	175,4	10,5	466,3
Деревні відходи	12871,8	16,8	3933,4	3918,9	14,5	7,5
Текстильні відходи	894,0	0,5	1,7	1,1	0,6	5,3
Відходи, що містять поліхлордифеніли	0,1	—	—	—	—	—
Непридатне обладнання	1842,7	—	—	—	—	0,1
Непридатні транспортні засоби	1,9	—	—	—	—	—
Відходи акумуляторів та батарей	1761,5	6806,0	—	—	—	—
Відходи тваринного походження та змішані харчові відходи	11333,0	12759,2	666,1	290,5	375,6	0,4

Відходи рослинного походження	173078,9	942,1	299,9	299,9	0,0	88,1
Тваринні екскременти, сеча та гній	19445,6	–	–	–	–	1,2
Побутові та подібні відходи	1037773,8	12,1	156277,4	156078,7	198,7	818370,3
Змішані та недиференційовані матеріали	23887,6	374,4	252,4	250,9	1,5	35,0
Залишки сортування	2276,1	–	–	–	–	–
Звичайний осад	16265,5	0,1	–	–	–	30,0
Мінеральні відходи будівництва та знесення об'єктів, у т. ч. змішані будівельні відходи	85026,8	0,4	20,0	0,1	19,9	585086,8
Інші мінеральні відходи	480040,6	21,1	168,5	168,5	0,0	470257,1
Відходи згоряння	189679,5	1474,0	–	–	–	14282,1
грунтові відходи	15291,9	3,6	–	–	–	459,0
Пуста порода від днопоглиблювальних робіт	–	–	–	–	–	–

Затверділі, стабілізовані або засклянілі відходи; мінеральні відходи, що утворюються після переробки	153,3	—	—	—	—	—
--	-------	---	---	---	---	---

Примітка: ¹Дані наведено за місцезнаходженням (реєстрації) підприємств. ²Інформація сформована на основі фактично поданих підприємствами звітів (рівень звітування становив 86,4%). Дані можуть уточнюватися.

Обсяг відновлених відходів (у тоннах) (показник характеризує кількість відходів, які зазнали будь-якої операції, у результаті якої відходи використовуються для корисливих цілей, замінюючи матеріали, які мали бути використані для виконання певної функції або які підготовлені для виконання цієї функції підприємством чи в іншій господарській діяльності, за винятком спалення відходів з метою виробництва енергії або матеріальних продуктів

Обсяг спалених відходів розраховується як сума відходів, спалених за місцем їх утворення, та відходів, спалених на спеціалізованих переробних підприємствах, які були отримані ними від утворювачів відходів для відновлення чи видалення.

Обсяг термічно оброблених відходів — кількість відходів, які пройшли технологічний процес з термічного оброблення відходів, який відповідає правилам технічної експлуатації відповідної установки.

Таблиця 2.2

Утворення та оброблення відходів

Рік	Обсяг утворених відходів ²	Обсяг відновлених відходів	Обсяг спалених відходів	Обсяг видалених відходів на полігони
1995	12,4	0,4	-	0,0
1996	26,6	2,4	-	0,0
1997	20,7	3,9	-	0,0
1998	35,9	2,0	-	0,0
1999	3,5	0,3	-	0,0
2000	4,7	2,5	-	0,1
2001	24,5	24,4	-	0,0
2002	3,7	1,4	-	0,0
2003	3,9	2,7	-	0,0
2004	3,0	1,3	-	0,0
2005	7,4	2,7	0,0	0,4
2006	8,9	5,6	0,0	0,1
2007	13,5	7,2	0,0	0,1
2008	10,9	5,9	0,0	0,1

2009	5,4	1,3	0,0	0,1
2010	731,6	15,4	162,3	321,3
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	14,0	0,4	0,0	0,0
2011	7190,1	6,0	154,9	6585,0
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	11,2	0,1	0,0	–
2012	1342,4	2,8	148,5	156,9
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	8,7	0,1	0,0	0,0
2013	976,0	1,3	146,4	105,2
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	12,8	0,1	0,0	0,0
2014	1548,0	13,1	150,3	317,7
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	4,7	0,2	1,3	–
2015	1610,3	0,2	255,4	360,7
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	6,0	0,1	1,7	–
2016	1668,7	1,9	258,6	286,6
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	7,1	0,4	0,0	–
2017	950,3	9,1	247,0	361,3
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	7,1	0,2	0,4	–
2018	973,7	2,1	212,1	474,2

у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	6,4	0,2	1,0	—
2019	999,1	0,8	200,3	605,6
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	4,6	0,0	0,0	—
2020 ³	3154,4	128,5	204,5	2268,3
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	44,2	1,8	1,1	0,9
2021 ^{3, 4}	2826,2	129,0	162,3	2422,8
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	44,2	20,1	0,2	0,2
2022 ^{3, 4, 5}	3012,4	751,9	155,0	1476,7
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	21,0	12,9	0,4	0,7
2023 ^{3, 4, 5}	2339,0	32,1	163,9	2023,0
у т.ч. відходи I-III класів небезпеки	22,5	10,1	0,3	0,2

Примітки:

¹За 1995–2009рр. відображаються дані по відходах I-III класів небезпеки; з 2010 р. – по відходах I-IV класів небезпеки.

²До 2009 р. відображаються дані від економічної діяльності підприємств та організацій, з 2010 р. – з урахуванням відходів, утворених у домогосподарствах.

³Дані наведено за місцезнаходженням (реєстрації) підприємств.

⁴Дані можуть бути уточнені.

⁵Інформація сформована на основі фактично поданих підприємствами звітів (рівень звітування у 2022 році становив 82,5%, у 2023 – 86,4%).

Загальну динаміку щодо природних та техногенних ризиків, які характерні для міського середовища наведені в таблицях 2.2.1 та 2.2.2, відповідно до проведених досліджень.

Таблиця 2.2.1

Небезпечні явища природного характеру

S	y_{s*}	2018	2019	2020
p_1	Геологічні небезпечні явища (землетруси, зсуви, провали)	13	17	15
p_2	Метеорологічні небезпечні явища	155	97	66
p_3	Гідрологічні небезпечні явища (повені, паводки)	33	65	46
p_4	Пожежі	300	322	150

Таблиця 2.2.2

Небезпечні явища техногенного характеру

S	y_{s*}	2018	2019	2020
t_1	Транспортні аварії	212	168	105
t_2	Пожежі, вибухи (побутового характеру та в наслідок повномасштабного вторгнення)	201	204	187
t_3	Аварії з викидом (загрозою викиду) сильнодіючих отруюючих речовин, аварії пов'язані із небезпечними відходами (в тому числі медичними)	26	26	15
t_4	Аварії з викидом (загрозою викиду) радіоактивних споруд	2	5	1
t_5	Руйнування споруд	81	65	71
t_6	Аварії на електромережах	120	160	90
t_7	Аварії на комунальних системах життєзабезпечення	120	95	88
t_8	Аварії на очисних спорудах	2	1	3
t_9	Гідродинамічні аварії	2	1	1

Слід зазначити, що жоден із небезпечних процесів на території урбоекосистем не задовольняє умов:

$$y_{s*}(2018) < y_{s*}(2019) < y_{s*}(2020) \quad (2.1)$$

Тобто, дана математична залежність не має ознак монотонного зростання.

Відповідно до запропонованого підходу до проблеми формування динамічної моделі в умовах обмеженості доступних даних моніторингу, що особливо важливо в умовах повномасштабного вторгнення, відповідно до врахованих процесів (p_1 - p_4 та t_1 - t_9) маємо наступне співвідношення:

$$y_{p1}(k), \dots, y_{p4}(k), y_{t1}(k), \dots, y_{t9}(k), k \in [2018, 2020] \quad (2.2)$$

на основі даних таблиці 2.2.1 та 2.2.2 може бути поставлена система нестационарних автономних моделей:

$$y_s(k+1) = \sum_{i=1}^n a_{si}(k) y_s(k+1-i), s=p_1, \dots, p_2, t_1, \dots, t_9 \quad (2.3)$$

$$a_{si}(k) = \check{\mu}(k) y_{s^*}(k+1-i) \quad (2.4)$$

$$\check{\mu}_s(k) = y_{s^*}(k+1) / \sum_{i=1}^n y_{s^*}^2(k+1-i) \quad (2.5)$$

Для процесів, які спостерігаються на проміжку $[k_0, k_1]$, рівняння 2.1 визначені при будь-якому $k \in [k_0 - n + 1, k_1 - 1]$ та будь-якому n , обраному з умови $n \in [1, n_{\max}]$, де $n_{\max} = k_1 - k_0$. У нашому випадку k_0 – це 2018 рік, k_1 – 2020 рік, тому $n_{\max} = 2$ і рівняння 4.1 можуть бути визначені тільки при $k \in [2018, 2020]$, якщо $n=1$, і тільки при $k=2019$, якщо $n=2$.

Індекси розвитку природних та техногенних ризиків пов'язаних з небезпечними ситуаціями в міському середовищі матимуть наступний вигляд:

$$ir_{p_1}^n(k) = \sum_{i=1}^n a_{p_1 i}(k), \dots, ir_{p_4}^n(k) = \sum_{i=1}^n a_{p_4 i}(k) \quad (2.6)$$

$$ir_{t_1}^n(k) = \sum_{i=1}^n a_{t_1 i}(k), \dots, ir_{t_9}^n(k) = \sum_{i=1}^n a_{t_9 i}(k) \quad (2.7)$$

Індекси розвитку процесів, які монотонно зростають повинні відповідати наступній вимозі:

$$ir_s^n(k) > 1 \quad (2.8)$$

Індекси розвитку процесів, які монотонно спадають повинні відповідати наступній вимозі:

$$ir_s^n(k) < 1 \quad (2.9)$$

На рисунках 4.1 та 4.2 наведено індекси розвитку ризиків пов'язані із природними та техногенними факторами міського середовища.

Серед індексів розвитку природних процесів дана умова виконується лише для p_2 , серед техногенних для t_1, t_3, t_5, t_7, t_8 , з решти семи показників жоден не задовольняє нерівність:

$$ir_s^n(2018) < 1 < ir_s^n(2020) \quad (2.10)$$

Шість індексів $p_1, p_3, p_4, t_2, t_6, t_9$ задовільняють наступну нерівність:

$$ir_s^n(2018) > 1 > ir_s^n(2020) \quad (2.11)$$

Також слід відмітити, що у нас за досліджуваний період відсутні показники, які б дорівнювали нулю.

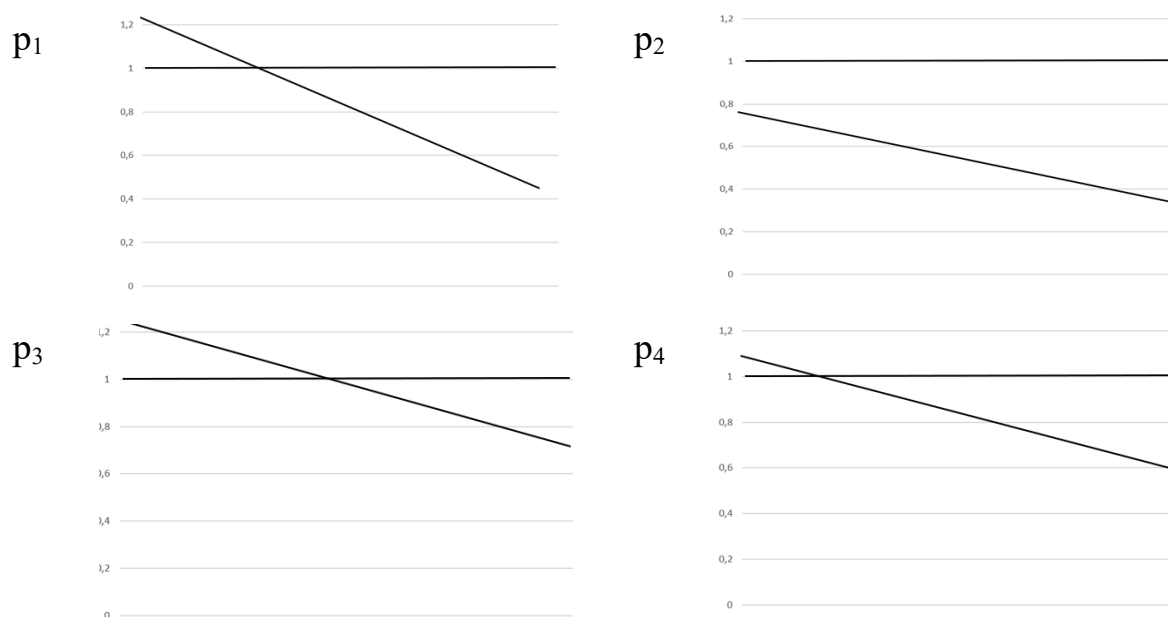


Рис.2.1. Індекси розвитку ризиків природного характеру

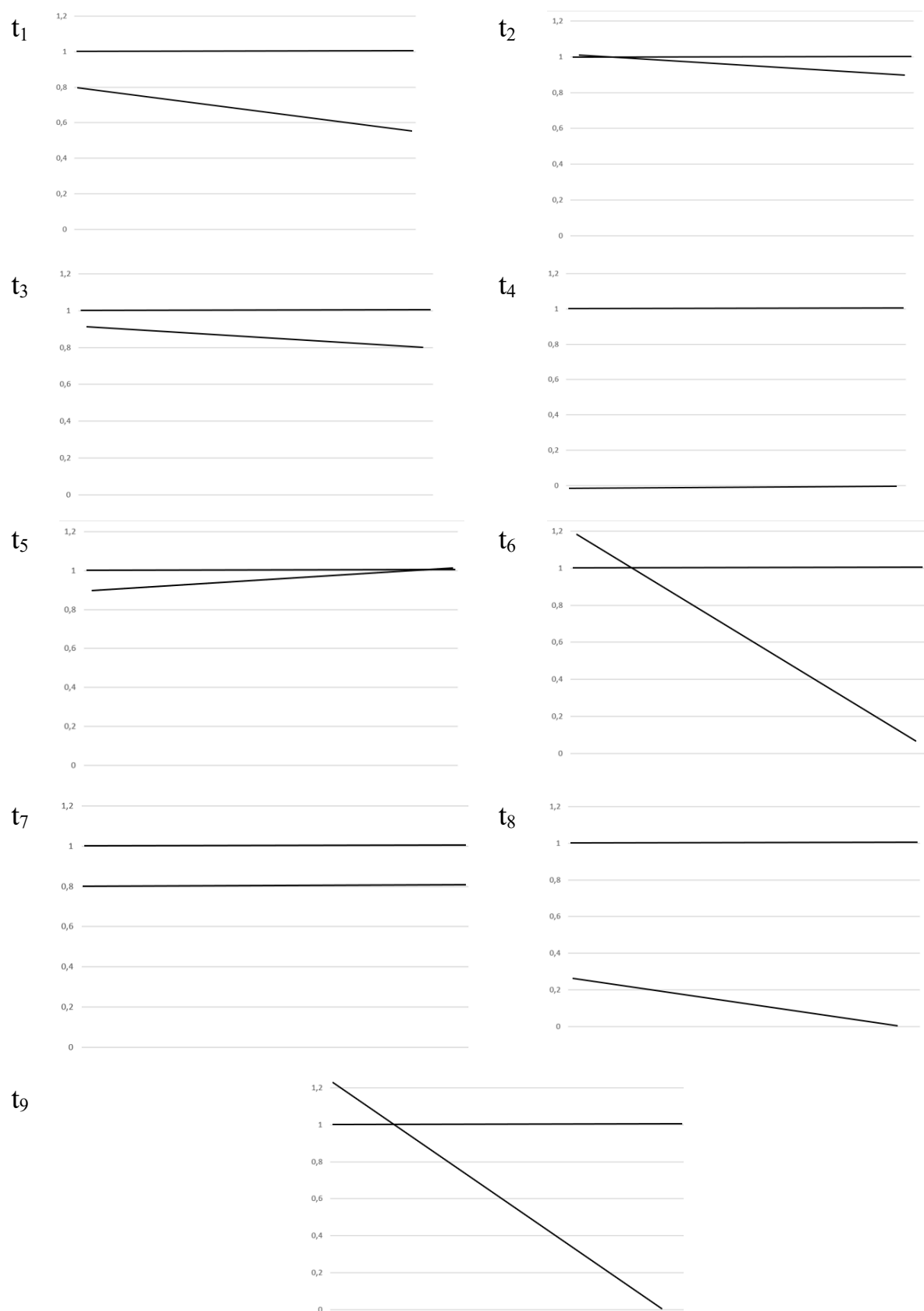


Рис.2.2. Індеси розвитку ризиків техногенного характеру

В таблиці 2.2.3 наводимо еволюційні індекси ризиків небезпечних явищ на території урбоекосистем природного та техногенного характеру.

Таблиця 2.2.3

**Індекси ризиків небезпечних явищ на території урбоекосистем
природного та техногенного характеру**

S	Y_{s*}	Індекс
p_1	Геологічні небезпечні явища (землетруси, зсуви, провали)	0,67
p_2	Метеорологічні небезпечні явища	0,34
p_3	Гідрологічні небезпечні явища (повені, паводки)	0,37
p_4	Пожежі	0,67
t_1	Транспортні аварії	0,55
t_2	Пожежі, вибухи (побутового характеру та в наслідок повномасштабного вторгнення)	0,9
t_3	Аварії з викидом (загрозою викиду) сильнодіючих отруюючих речовин, аварії пов'язані із небезпечними відходами (в тому числі медичними)	0,96
t_4	Аварії з викидом (загрозою викиду радіоактивних споруд	0,02
t_5	Руйнування споруд	0,91
t_6	Аварії на електромережах	0,22
t_7	Аварії на комунальних системах життєзабезпечення	0,74
t_8	Аварії на очисних спорудах	0,01
t_9	Гідродинамічні аварії	0,02

В даній роботі використано показники, які в своїй діяльності використовує британська компанія «Economist Intelligence Unit, (EIU)». Діяльність цієї компанії пов'язана з організацією міського середовища і вона щорічно формує рейтинг міст світу за «індексом безпеки середовища існування». При розрахунку даного індексу враховується ряд показників,

наприклад, доступність містян до якісного харчування, доступність закладів охорони здоров'я, якість повітря та води, а також інфраструктури. При цьому, виходячи з того, що структура захворюваності та смертності міського населення часто має виражений територіальний характер, формування здорового міського простору здійснюється з урахуванням особливостей конкретної території на якій проживають опитані громадяни [69-73].

Зі зростанням добробуту населення обсяги відходів продовжують збільшуватися і з'явилася величезна кількість сміттєзвалищ та полігонів для їх зберігання, що негативно впливає на стан навколишнього середовища, здоров'я населення.

Ситуація, що склалася з утворенням, використанням та утилізацією відходів, призводить до значних втрат природних ресурсів, незворотного забруднення довкілля та реальної загрози здоров'ю населення. Ситуація стає ще більш критичною, якщо взяти до уваги посилення факторів кліматичного нагрівання та факторів війни на території України. Бомбардування та обстріл великих промислових міст України значною мірою прискорює їх неконтрольовану екологічну деградацію.

2.2. Особливості формування здоров'я орієнтованого міського простору та управління ризиками здоров'я населення

У будь-якому місті велика концентрація населення, будівель, споруд, наземних та підземних комунікацій, інфраструктури тощо, породжує високе антропогенне екологічне навантаження на навколишнє середовище і призводить до негативних екологічних змін [72-74]

Для ефективного управління екологічним станом навколишнього середовища потрібна оптимізація заходів з його охорони, удосконалення систем оцінки його стану, система екологічного моніторингу, розробка ефективних методик та алгоритмів оцінки рівня його екологічної трансформації [75-78]

Через багатокomпонентний характер реальних потоків забруднювачів у містах важко об'єктивно оцінити екологічний стан урбанізованих і техногенно змінених екосистем лише на основі визначення концентрацій окремих інгредієнтів. За такого підходу залишаються не врахованими прямі кумулятивні впливи, синергічні взаємозв'язки між забруднювачами тощо. Об'єктивна та ефективна оцінка екологічного стану навколишнього середовища можлива лише за умов комплексного взаємопоєднання набору класичних методів.

Вплив забруднення атмосфери на здоров'я міського населення на сьогодні детально описаний в багатьох наукових роботах [79-81]

Природне середовище в межах великих міст характеризується специфічним характером та якістю його екосистем, що проявляється у наявності штучного рельєфу, характерного рослинного та тваринного світу, у формуванні особливого міського мікроклімату та ін. Основні напрями та інтенсивність екологічної деградації міст можуть залежати від комплексу різних факторів і насамперед від розмірів та віку міста, його функцій, галузевої структури промисловості, особливостей природних умов та ін. [82-85].

Важливими факторами високого рівня забруднення атмосфери у великих містах є значне збільшення чисельності транспорту і разом з цим погіршення стану зелених насаджень, розташованих уздовж доріг, скорочення їх площі та ін. Проблема забруднення атмосферного повітря вихлопними транспортними газами значною мірою пов'язана з серйозними прорахунками в містобудуванні – відсутністю екологічно грамотного функціонального зонування, незбалансованістю основних функціональних зон міста, підвищенням поверховості та ущільненням забудови, що супроводжується зменшенням провітрюваності автомагістралей. Забруднення атмосферного повітря робить значний внесок в екологічну захворюваність міського населення [86 -89]

Вміст багатьох забруднювальних речовин, у тому числі важких металів у міських ґрунтах нерідко в кілька разів перевищує ГДК, що веде до формування в різного ступеня виражених геохімічних аномалій. Найбільш значні геохімічні аномалії, як правило, формуються вздовж міських автомагістралей де концентрації у ґрунтах свинцю, цинку, міді, кадмію можуть зростати порівняно з природним тлом у 100–1000 разів [90-93]

В даній роботі оцінювання якості міського середовища запропоновано і виконано для трьох основних блоків: 1 - якість та ступінь розвитку інфраструктури міського середовища; 2 - якість міського геопростору; 3 - екологічна безпека перебування людей на кожній визначеній території міста.

Для гарантованого ефективного управління здоров'ям міського населення потрібні конкретні дієві інструменти (нормативно-правові документи, управлінські рішення) та системи показників. Одним із варіантів розв'язання цієї проблеми може бути система оцінки ступеня сформованості здоров'я орієнтованого міського середовища, заснована на оцінці ризиків для здоров'я населення [94-96].

В більшості випадків урбанізоване середовище є безпосередньою причиною збільшення ризику виникнення захворювань, а саме порушення екологічної рівноваги водно-ґрунтового балансу та погіршення параметрів мікроклімату забудови.

Одним з основних критеріїв оцінки рівня здоров'яорієнтованості міського середовища є відповідність міських інфраструктур потребам населення. Цей рівень можна оцінити на основі гігієнічного критерію міського середовища. Але повноцінна гігієнічна оцінка урбоекосистеми є досить складною задачею, тому важливо сформулювати модель дослідження причинно-наслідкової залежності впливу антропогенних та кліматичних факторів на міське середовище та здоров'я населення.



Рис. 2.3. Модель дослідження причинно-наслідкової залежності впливу антропогенних та кліматичних факторів на міське середовище та здоров'я населення (розроблено автором)

Розглянемо найбільш просту модель взаємодії «людина – міське середовище», яка дозволить характеризувати стійкість впливу складових відповідно до основних каналів масопереносу поллютантів у міській екосистемі (рис.2.4).

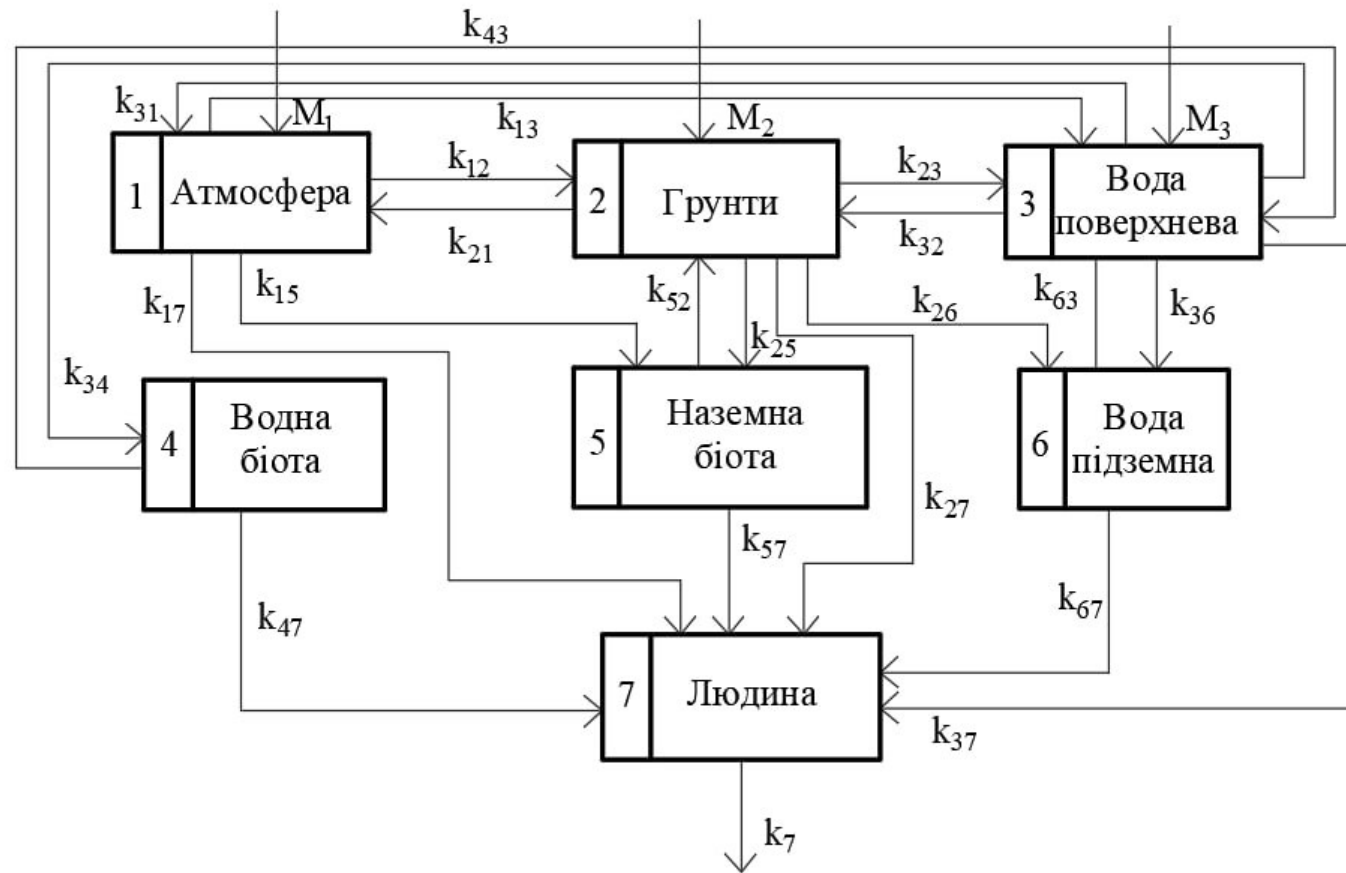


Рис.2.4. Схема переносу поллютантів в екосистемі міста

Функції $k_{ij}x_i(t)$ є інтенсивностями потоків техногенних сполук між складовими елементами міського середовища і у загальному залежать від низки ендегенних та екзогенних чинників.

$$\begin{aligned}\frac{dm_1}{dt} &= M_1 + k_{21}m_2 + k_{31}m_3 - (k_{12} + k_{13} + k_{15} + k_{17})m_1 \\ \frac{dm_2}{dt} &= M_2 + k_{12}m_1 + k_{32}m_3 + k_{52}m_5 - (k_{21} + k_{23} + k_{25} + k_{26} + k_{27})m_2 \\ \frac{dm_3}{dt} &= M_3 + k_{13}m_1 + k_{23}m_2 + k_{43}m_4 + k_{63}m_6 - (k_{31} + k_{32} + k_{34} + k_{36} \\ &\quad + k_{37})m_3 \\ \frac{dm_4}{dt} &= k_{34}m_3 - (k_{43} + k_{47})m_4 \\ \frac{dm_5}{dt} &= k_{15}m_1 + k_{25}m_2 - (k_{52} + k_{57})m_5 \\ \frac{dm_6}{dt} &= k_{26}m_2 + k_{36}m_3 - (k_{63} + k_{67})m_6 \\ \frac{dm_7}{dt} &= k_{17}m_1 + k_{27}m_2 + k_{37}m_3 + k_{47}m_4 + k_{57}m_5 + k_{67}m_6 - k_7m_7\end{aligned}$$

Математична модель обміну сполуками в міському середовищі вимагає в першу чергу врахування найбільш суттєвих причинно-наслідкових зв'язків.

Відповідно до результатів аналізу взаємодії міського середовища та людини можна зазначити наступне: визначення меж стійкості міських екосистем ускладнюється динамічними змінами в них, які є детермінантами в екологічних процесах. Тому, при довготривалому антропогенному впливі на рівні граничного навантаження виникають випадкові та періодичні зміни параметрів стану екосистеми, що можуть призвести до виникнення деградаційних процесів.

Таблиця 2.3

Показники ступеня сформованості здоров'яорієнтованого міського простору

Фактори ризику для здоров'я міського населення	Характеристика міського простору	Показники
Хімічне забруднення атмосферного повітря речовинами антропогенного походження	Ступінь озеленення території	Площа озелених територій загального користування, що припадає на одного жителя (м ²). Рівень озеленення територій (%). Коефіцієнт екологічної стабільності (умовні одиниці)
	Сформованість альтернативної транспортної інфраструктури	Частка доріг, обладнаних виділеними смугами для руху громадського транспорту, в загальній протяжності автомобільних доріг місцевого користування (%). Співвідношення протяжності доріг з облаштованими смугами для велосипедистів до загальної протяжності автомобільних доріг місцевого користування. Кількість громадських велопаркувальних місць на одного мешканця. Кількість місць для паркування на одного жителя
Хімічне забруднення водних об'єктів	Відповідність джерел водопостачання	Частка поверхневих джерел централізованого питного водопостачання без зони санітарної охорони (%)

речовинами антропогенного походження	санітарним нормам	
	Розвиненість системи водопостачання	Частка водопроводів, забезпечених технологіями очищення та знезараження води (%). Частка каналізаційних мереж, які потребують заміни (%). Частка очисних споруд, які потребують капітального ремонту (%). Частка очисних споруд каналізації, оснащених обладнанням для обробки опадів стічних вод (%)
Малорухливий спосіб життя	Ступінь розвиненості інфраструктури для занять спортом	Кількість спортивних споруд різного типу на 100 тис. населення. Одноразова пропускна спроможність спортивних споруд різного типу на 10 тис. населення
Відсутність здорового харчування	Ступінь розвиненості інфраструктури для здорового харчування	Забезпеченість площами для торгівлі та організації харчування з розрахунку на 1000 населення. Кількість підприємств громадського харчування, які надають послуги харчування

Таблиця 2.4

Перелік пріоритетних хімічних речовин, які негативно впливають на організм людини

Назва речовин	RfC, мг/м ³	SFi, (мг/кг- доба) ⁻¹	ГДКм.р., мг/м ³	ГДКс.д., мг/м ³	Вплив на органи та систем
Речовини у вигляді суспендованих твердих часток	0,12	-	0,5	0,15	Дихальна система
Оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту	0,035	-	0,2	-	Дихальна система
Монооксид вуглецю	4,7	-	5,0	3,0	Нервова система, серцево-судинна система
Діоксид сірки (діоксид та триоксид) в перерахунку на діоксид сірки	0,081	-	0,5	0,05	Дихальна система
Свинець та його сполуки в перерахунку на свинець	0,00016	0,04	0,001	-	Нервова система, серцево-судинна система, кровоносна система
Хром та його сполуки в перерахунку на триоксид хром	0,0001	40	0,002	-	Дихальна система
Бензопірен	-	2,8	-	0,00001	-
Аміак	0,1	-	0,2	-	Дихальна система

Бензол	0,05	0,024	1,5	-	Кровоносна система, нервова система
Фенол	0,006	-	0,01	-	Серцево-судинна система, нервова система

Таблиця 2.5

Ризики розвитку неканцерогенних ефектів для населення м. Київ

Назва речовин	RfC, мг/м ³	Усереднена річна концентрація (Ci), мг/м ³	Уразливість органів та систем	Індекс небезпеки (HQ)	Характеристика
Речовини у вигляді суспендованих твердих часток	0,12	0,055	Дихальна система	0,055	<1 – Ризик виникнення шкідливих ефектів вкрай малий
Оксид та діоксид азоту у перерахунку на діоксид азоту	0,035	0,003	Дихальна система	0,08	<1 – Ризик виникнення шкідливих ефектів вкрай малий
Монооксид вуглецю	4,7	0,01	Нервова система, серцево-судинна система	0,004	<1 – Ризик виникнення шкідливих ефектів вкрай малий

Діоксид сірки (діоксид та триоксид) в перерахунку на діоксид сірки	0,081	0,075	Дихальна система	0,86	<1 – Ризик виникнення шкідливих ефектів вкрай малий
Аміак	0,1	0,00000003	Дихальна система	0,00000003	<1 – Ризик виникнення шкідливих ефектів вкрай малий
Фенол	0,006	0,0005	Серцево-судинна система, нервова система	0,08	<1 – Ризик виникнення шкідливих ефектів вкрай малий

Таблиця 2.6

Ризики розвитку канцерогенних ефектів для населення м. Київ

Назва речовин	Канцерогенний ризик SF, мг/ (кг·доба)	Одиничний канцерогенний ризик UR, мг/м ³	Усереднена річна концентрація C _i , мг/м ³	Вплив на органи та систем	Ризик розвитку індивідуальних ефектів (ICR)	Рівень ризику
Свинець та його сполуки в перерахунку на свинець	0,03	0,0003	0,0000001	Нервова система, серцево-судинна система, кровоносна система	0,00000000004	Прийнятний

Хром та його сполуки в перерахунку на триоксид хром	3,1	0,02	0,000001	Дихальна система	0,0000003	Прийнятний
Бензопірен	2,8	0,0021	0,000003	-	0,000000005	Прийнятний
Бензол	0,03	0,0002	0,0003	Кровоносна система, нервова система	0,000000004	Прийнятний

Також для оцінки ступеня сформованості здоров'я орієнтованого міського геопростору на практиці в роботі запропоновано використовувати систему показників представлених в таблиці 2.3. Ця оцінка може здійснюватися в рамках моніторингу якості міського середовища або соціально-гігієнічного моніторингу та моніторингу факторів ризику неінфекційних захворювань [97-98]

Відсутність екологічних пріоритетів у визначенні стратегії розвитку міст, нераціональний підхід до використання окремих компонентів довкілля, неправильне поводження з відходами, особливо-небезпечними призводять до появи ряду складних, важко розв'язуваних, а іноді й тупикових екологічних проблем. [99-101]

Деградація природно-антропогенних комплексів міст супроводжується погіршенням якості міського середовища та, як наслідок, значним зниженням рівня комфортності проживання міського населення. Така ситуація вимагає розробки комплексу заходів, спрямованих на оптимізацію міських екосистем з метою вирішення прогресуючих екологічних проблем [102-106]

Якість навколишнього середовища проявляється опосередковано через стан здоров'я мешканців міст, що своєю чергою дозволяє вважати його інтегральним показником якості стану навколишнього середовища. Особливо антропогенно навантажене навколишнє середовище в містах з населенням, яке понад 250 тисяч жителів. Саме такі міста особливо швидко розвиваються.

Утворення відходів призводить до забруднення навколишнього середовища та загрожує здоров'ю населення.

В більшості випадків урбанізоване середовище є безпосередньою причиною збільшення ризику виникнення захворювань, а саме порушення екологічної рівноваги водно-грунтового балансу та погіршення параметрів мікроклімату забудови.

Одним з основних критеріїв оцінки рівня здоров'я орієнтованості міського середовища є відповідність міських інфраструктур потребам населення.

Встановлено, що збільшення щільності забудови та заселення до 300 - 500 чол/га в 1,2-1,5 рази збільшує загальні та дитячі інфекційні захворювання в 1,5-2,0 рази.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що концепція здоров'яорієнтованості міст, яка передбачає створення сприятливого міського середовища, де фізичне, психічне та соціальний добробут людей стає пріоритетом у формуванні сучасного міста, забезпечує баланс між природними елементами та інфраструктурними потребами, надаючи мешканцям можливість жити в комфортних, безпечних і екологічно чистих умовах.

2. Оцінка стану здоров'я населення міста Київ за результатами статистичного аналізу та літературних даних здійснено та за набором критеріїв показує, що основною причиною смертності серед міського населення є хвороби серцево-судинної системи - 16% (за останні 20 років збільшилась кількість з 3% до 16%) та онкологічні захворювання - 18% від загальної кількості смертей. Такий високий показник пов'язаний зі стресом, який виникає в результаті ненормованого графіка дня людини та нераціонального харчування.

3. Стан екологічних компонентів міського середовища може бути представлений кількісними та якісними показниками оцінки концентрації шкідливих речовин, рівнів шумового, магнітного та радіаційного впливів та зіставлення їх із нормованими параметрами відповідних компонентів довкілля. При цьому із зростанням рівня життя населення, обсяги відходів продовжують збільшуватися і функціонує величезна кількість несанкціонованих сміттєзвалищ та полігонів, що є джерелом забруднення

навколишнього середовища та негативно впливає на рівень захворюваності серед населення.

4. Ризики розвитку канцерогенних та неканцерогенних захворювань людського організму людини значною мірою пов'язані із забрудненням атмосферного повітря - у 43% випадків від загальної кількості опитаних респондентів м. Київ. Захворюваність населення в антропогенно навантажених районах більша в 1,5 рази, ніж в районах з нижчим навантаженням. Відповідно показники захворюваності органів дихання та нервової системи перевищують середньостатистичні показники в 1,5-2,5 рази. При цьому захворюваність дітей становить до 70% від загальної кількості опитаних респондентів м. Київ а ризики розвитку канцерогенних та неканцерогенних ризиків значною мірою пов'язані із забруднення атмосферного повітря, захворюваність населення в антропогенно навантажених районах більша в 1,5 рази, ніж в районах з нижчим навантаженням.

5. Удосконалення системи параметрів забезпечення екологічної безпеки урбоекосистем, як основи збереження та управління ризиками для здоров'я населення, дозволяє підвищити ефективність управління процесами розвитку урбанізованої території з урахуванням гігієнічних норм, економічних та соціальних аспектів; комплексного підходу для екологічних проблем.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНО-ЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПЛАЗМОВОЇ ДУГОВОЇ УТИЛІЗАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕДИЧНИХ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВІДХОДІВ

3.1. Вибір, переваги і недоліки плазмових генераторів постійного струму, охолодження та фільтрація димових сумішей.

Метод високотемпературної молекулярної деструкції відходів дозволяє реалізувати практично повну молекулярну деструкція органічної складової медичних відходів з утворенням мінеральних речовин і повним знезаражуванням газоаерозольних та мінеральних залишків. При цьому, кількість відходів, що пройшли через плазмохімічний реактор, скорочується від 50 до 400 разів.

Складні та різноманітні процеси, що відбуваються на кожному етапі плазмової переробки твердих медичних відходів, в своїй більшості залишаються недостатньо дослідженими. Тому у багатьох випадках вибір технологічних, конструктивних і режимних параметрів установки і, в першу чергу, плазмових генераторів, не може ґрунтуватися на строго математичних модельних розрахунках а вимагає великої кількості лабораторних, заводських та модельних досліджень. Без таких досліджень неможливо зробити інноваційні тематичні спеціалізовані розробки та проектування екологічно безпечних плазмових установок в першу чергу для утилізації, переробки і знищення високо небезпечних рідких і твердих відходів.

Метод високотемпературної мінералізації, особливістю якого є використання теплової енергії нагрітого в плазмотроні повітря, включає складний комплекс теплофізичних і фізико-хімічних перетворень: нагрівання, плавлення, випаровування, крекінг, вилучення летких компонентів, гомогенне та гетерогенне горіння, гартування, очищення, допалювання неспалених та заново утворюваних хімічних залишків. При

цьому газифікація органічних складових медичних відходів є само підтримуваним процесом в умовах нестачі кисню, а піроліз загалом є ендотермічним процесом. Все це вимагає введення значної кількості тепла, а отже, і підвищеної зовнішньої споживаної електричної потужності для роботи плазмових генераторів.

Використання плазмових генераторів, в яких у якості плазмоутворювального газу використовується повітря, для додаткового введення енергії вносить специфіку в організацію процесу, який називають високотемпературним окисненням.

Практично у всіх плазмових установках призначених для переробки відходів, застосовуються сильно струмові дугові розряди та створені на їх основі електродугові генератори плазми — плазмотрони або за іншою назвою — плазмові генератори. При цьому усі наявні конструкції плазмотронів можна розділити на дві основні групи: плазмотрони, що використовують для енергоживлення постійний струм, та плазмотрони на змінному струмі.

Використання плазмотронів постійного струму зазвичай потребує послідовного з дугою включення баластного опору для забезпечення стабільного горіння дуги при спадній вольт-амперній характеристиці та для регулювання струму дуги. Плазмотрони постійного струму знайшли найбільше застосування у технологічних процесах, де передбачено швидкий розігрів локальної зони реактора з поступовим утворенням розплаву з інертної маси відходів. При цьому продукти переробки взаємодіють із плазмовим струменем.

Реальне значення для нагріву має примусова конвекція або продув певної частини газу через дугу. Потім енергія плазмоутворювального газу, що продувається через генератор плазми, перерозподіляється серед решти маси робочого газу, що веде до нагрівання до середньої масової температури.

Для збільшення потужності плазмотронів постійного струму необхідно суттєво підвищувати падіння напруги на дузі, що вимагає

збільшення довжини корпусу плазмотрона, або підвищувати значення струму дуги. Це веде до зростання температури горіння дуги та додаткових втрат через інтенсивніше випромінювання.

Для організації неперервного плазмового дугового високотемпературного процесу температура в плазмохімічному реакторі повинна підтримуватися на рівні 1150-4000°C. Причому кожний локальний об'єм газу, що одержується в процесі перероблювання відходів, повинен перебувати у вказаній температурній зоні ≤ 2 с. У таких температурних умовах токсиканти повністю розкладаються, а хлор присутній у хлоридній кислоті (HCl) легко утворює солі в процесах очищення. Особливо інтенсивно екологічно небезпечні продукти піролізу утворюються в діапазоні температур 200-650 °C з максимумом при температурі ≈ 300 °C. Для блокування повторного утворення токсикантів продукти плазмопіролізу потрібно швидко охолодити. Найпоширенішим способом закалювання при плазмопіролізі є охолодження в теплообмінниках. Цей спосіб застосовують для охолодження газів із температурою до 3700 °C. Також широко використовується метод загартовування продуктів плазмохімічного процесу струменями води або іншого рідкого чи газового реагенту.

Отже, плазмовий генератор є центральним елементом кожної плазмової дугової установки. Історично впровадження плазмових технологій розпочалося в умовах недостатності детальних знань про хімічні особливості взаємодії плазми з різними матеріалами. Винятковим було застосування плазми в електрометалургії.

В результаті подальших розробок і створення нових, ефективніших плазмових генераторів плазмові технології почали застосовуватися для екологізації процесів деструкції високотоксичних і туго плавких сполук. В плазмохімічних реакторах почали обробляти тверді, газоподібні та рідкі речовини. При цьому потужність ультрафіолетового випромінювання в плазмовому струмені виявилася здатною дегідратувати органічний хлор. Подальший потужний імпульс для свого технологічного розвитку плазмові

генератори отримали в результаті розвитку космічних та ядерних технологій у 1960-х роках.

Конструктивно плазмовий генератор являє собою електророзрядне джерело, через яке під тиском прокачується плазмоутворювальний газ для утворення плазмового струменю, який з катодно-анодного простору плазмового генератора виводиться назовні. В електродугових плазмових генераторах плазмоутворювальні гази можна швидко нагрівати до тисяч градусів. Для охолодження конструкційних високотемпературних елементів плазмотрону використовують повітря або воду. І хоча водяне охолодження ускладнює конструкцію плазмотрона, зате воно підвищує робочий ресурс його катоду.

Дослідження, випробування та застосування плазмового дугового нагрівання у світі почали швидко розвиватися у 1970-1980 роках. Плазмові генератори набули широкого практичного застосування: зварювання, різання та напилювання металів; електродугова обробка поверхонь; нагрівання матеріалів в плазмових печах; підвищення хімічної чистоти металів і сплавів; наукові дослідження плазмових фізичних та плазмохімічних процесів; плавка металевого пилю; виробництво хімічно високо чистого кремнію і багато іншого.

При цьому понад 10% електричної потужності струменю плазми витрачаються у водоохолоджувальній системі. Але, якщо в певному діапазоні швидкостей частинок плазми для охолодження гарячого газо-аерозольного потоку, утвореного на виході з плазмового піролізного реактора, застосовувати фізичні аеродинамічні методи, наприклад, у вигляді сопла Лавалю, то теплові втрати стають значно меншими.

Додатковим тепловим резервом для підвищення ефективності, стійкості та екологічної безпеки плазмового піролізу є утворення синтез-газу та його зворотне спрямування в технологічні процеси, що протікають в плазмохімічному реакторі.

Стійку роботу плазмового генератора також часто забезпечують шляхом вихрового закручування плазмового факела поблизу холодного або точкового катода, затопленого у мідь. При цьому діаметр каналу, для виведення плазмового факела з плазмового генератора назовні, повинен бути в п'ять-шість разів більшим за діаметр анода. За таких умов плазмові частинки матимуть середні значення швидкостей приблизно 200 м/с. Це надзвичайно важливий параметр який має конструктивне значення. За його значенням розраховується довжина ефективної реагентної зони плазмохімічного реактора.

Плазмові генератори з прямою та з непрямою електродугою застосовуються з термостійкими або з «холодними» (водоохолоджуваними) катодами. Застосування спеціальних електродних сплавів для їх виготовлення збільшує їх робочий ресурс при роботі на відкритому повітрі більше як до 1000 годин.

Сучасні плазмові генератори, придатні для утилізації відходів, в основному працюють на постійному струмі, що дозволяє реалізацію кращого контролю поведінки електричної дуги як в потоці, так і в точці анодної прив'язки. Ці плазмові генератори також скорочують процес корекції коефіцієнта потужності та встановлення фільтрів для захисту від завад від зовнішніх електромереж. Інколи з метою досягти великої напруги горіння електродуги для підвищення ККД плазмового генератора застосовують вуглекислий газ або азот.

Для гарантованого інтенсивного перемішування плазми та відходів в реагентному просторі реактора потрібні високі вхідні швидкості та малі діаметри сопла в реакторній камері змішування. Тоді такі плазмові генератори становляться придатними для перероблення та утилізації газів та рідин.

Отже, високі температури в плазмовому струмені роблять можливим застосування плазмових генераторів для перероблення медичних та інших відходів з невідомим чи змінним складом. Надзвичайно короткий час

протікання плазмохімічних реакцій в плазмохімічному реагентному просторі реактора створює певні проблеми з очищенням продуктів плазмового дугового спалювання, утворюваних у швидкісному прямому чи турбулентному потоці утворюваної в процесі горіння газоаерозольної димової суміші, яка підлягає її екологічному очищенню за допомогою складних і дорогих систем.

Іще одним методом забезпечення інтенсивного змішування є створення турбулентних плазмових струменів. При цьому відходи для перероблення інжектуються в компактний плазмохімічний реактор, а не безпосередньо в зону навколо плазмового факела.

Ідеальний плазмоутворювальний газ для спалювання медичних відходів та інших матеріалів не повинен створювати додаткові забруднення; не вимагати додаткової сепарації продуктів реакції та спеціальних запобіжних екологічних заходів; мати високу тепломісткість; повинен підвищувати ефективність всього технологічного процесу спалювання; не збільшувати швидкість зношування електродів; не утворювати похідних токсичних сполук; збільшувати ефективність роботи реактора; бути доступним і дешевим.

В практичній площині жоден з чинних плазмоутворювальних газів не відповідає повноті цих вимог. Наприклад, високий вміст азоту, який безпосередньо не бере участі в плазмохімічній деструкції, вже є технологічним та екологічним недоліком. Чистий кисень суттєво збільшує коефіцієнт деструкції, а сам кисень прискорює деградацію матеріалів обладнання. Утворюваний атомарний водень теж дуже сприяє деструкції галоген вуглецевих зв'язків та пришвидшує руйнування вуглеводнів.

Енергоефективність перероблення відходів значно прискорюється при застосуванні водяної плазми. При цьому водяна пара грає велику роль у теплоперенесенні. Молекулярний водень має велику енергію зв'язку і тому його рекомбінація призводить до виділення великої кількості теплоти з утворенням хімічно високоактивного атомарного водню.

Деградації електродів у плазмовому генераторі можна запобігти якщо застосовувати радіочастотний індукційний плазмохімічний реактор у якому складний плазмовий факел створюється струмом високої частоти в діапазоні 2-27 МГц, що протікає в котушці навколо робочої камери. Для такого плазмового генератора потрібен спеціальний спосіб введення відходів у деструкційну камеру згоряння.

В порівнянні з плазмовими генераторами постійного струму тепловий ККД плазмових ВЧ-генераторів може мати значення 40-60%. При цьому основні втрати відбуваються на джерелі живлення. Також ще є втрати на індукцію між плазмою та індукційною котушкою, які є функцією відношення між радіусом плазми та радіусом індукційної котушки. Також є втрати при передачі енергії стінкам обмежувальної трубки. При одній і тій же величині втрат внутрішній діаметр плазмового ВЧ-генератора приблизно на порядок більший за діаметр газового тракту плазмового генератора постійного струму.

У ВЧ плазмових генераторі значення робочих температур знаходяться в діапазоні 6000-10000°C. У плазмових генераторах постійного струму – в діапазоні 7000-14000°C. Швидкості плазми у плазмових ВЧ генераторах не перевищують 100 м/с, що значно менше ніж у плазмових генераторах постійного струму.

Внаслідок скін-ефекту нагрівання головним чином здійснюється в поверхневому шарі плазми. При цьому електропровідність плазми пропорційна концентрації електронів і для більшості газів, окрім чистого гелію, провідність суттєво зростає до температур 6000-7000°C при нормальних значеннях атмосферного тиску.

3.2. Плазмодугові технології як альтернативний метод перероблення та зниження впливу відходів медичної галузі на якість життя та функціонування населення

Єдиними технологіями, здатними екологічно безпечним чином утилізувати медичні відходи при температурах понад 1150-5000°C, можуть бути плазмові технології. Увесь комплекс технологічних переваг таких високотемпературних технологій знищення та утилізації практично будь-яких категорій небезпечних відходів, без утворення екологічно небезпечних залишків, роблять ці технології, з точки зору їх екологічної безпеки, поза конкурентними.

Для організації неперервного плазмового дугового процесу температура в плазмохімічному реакторі повинна підтримуватися на рівні 1150-5000°C. Причому кожний локальний об'єм газу, що одержується в процесі перероблювання відходів, повинен перебувати у вказаній температурній зоні ≤ 2 с. У таких температурних умовах токсиканти повністю розкладаються, а хлор присутній у хлоридній кислоті (HCl) легко утворює солі в процесах очищення. Особливо інтенсивно екологічно небезпечні продукти піролізу утворюються в діапазоні температур 200-650°C з максимумом при температурі $\approx 300^\circ\text{C}$. Для блокування повторного утворення токсикантів продукти плазмового дугового спалювання потрібно швидко охолодити. Найпоширенішим способом загартовування при плазмовому дуговому спалюванні є охолодження в теплообмінниках. Цей спосіб застосовують для охолодження газів які мають температуру до 3700°C. Також широко використовується метод загартовування продуктів плазмохімічного процесу струменями води або іншого рідкого чи газового охолоджувача.

У перших генераторах плазми в 1960-х роках застосовувалися вугільні електроди. Але короткий робочий ресурс таких електродів блокував розвиток та поширення плазмохімічних піролізних технологій. В результаті подальших розробок і створення нових, ефективніших плазмових генераторів плазмові технології почали застосовуватися для екологізації процесів деструкції високотоксичних і туго плавких сполук. В плазмохімічних реакторах почали обробляти тверді, газоподібні та рідкі

речовини. При цьому виявилося, що потужне ультрафіолетове випромінювання плазмового струменю здатне дегідратувати органічний хлор. Подальший потужний імпульс для свого технологічного розвитку плазмові генератори отримали в результаті розвитку космічних технологій у 1960-х роках.

Сучасні плазмові генератори, які придатні для утилізації відходів, в основному працюють на постійному струмі для реалізації кращого контролю поведінки електричної дуги як в потоці. Ці плазмові генератори також знижують/скорочують процес корекції коефіцієнта потужності та встановлення фільтрів для захисту від завад від зовнішніх електромереж. Інколи з метою досягти великої напруги горіння електродуги для підвищення ККД в плазмових генераторах застосовують вуглекислий газ або аргон. При цьому для гарантованого інтенсивного перемішування плазми та відходів в реагентному просторі реактора потрібні високі вхідні швидкості та малі діаметри сопла в реакторній камері змішування.

Дуже високі температури в плазмовому струмені роблять можливим застосування плазмових генераторів для перероблення медичних та інших відходів з невідомим чи змінним складом. Надзвичайно короткий час протікання плазмохімічних реакцій в плазмохімічному реагентному просторі реактора створює певні проблеми з очищенням продуктів плазмового електродугового спалювання, утворюваних у швидкісному прямому чи турбулентному потоці заново утворюваної газоаерозольної димової суміші, що підлягає її екологічному очищенню за допомогою складних і дорогих систем. Іншим методом забезпечення інтенсивного перемішування відходів в реагентній зоні реактора є створення турбулентних плазмових струменів.

Ідеальний плазмоутворювальний газ для спалювання медичних відходів та інших матеріалів не повинен створювати додаткові забруднення; не вимагати додаткової сепарації продуктів реакції та спеціальних запобіжних екологічних заходів; мати високу тепломісткість; повинен

підвищувати ефективність всього технологічного процесу спалювання; не збільшувати швидкість зношування електродів; не утворювати похідних токсичних сполук; збільшувати ефективність роботи реактора; бути доступним і дешевим. Але в практичній площині жоден з чинних плазмоутворювальних газів не відповідає повноті цих вимог. Наприклад, високий вміст азоту, який безпосередньо не бере участі в плазмохімічній деструкції, вже є екологічним недоліком. Чистий кисень суттєво збільшує коефіцієнт деструкції, а сам кисень прискорює деградацію матеріалів обладнання. Утворюваний атомарний водень теж дуже сприяє деструкції галоген вуглецевих зв'язків та пришвидшує руйнування вуглеводнів.

Енергоефективність перероблення відходів значно прискорюється при застосуванні водяної плазми. При цьому водяна пара грає велику роль у теплоперенесенні. Молекулярний водень має велику енергію зв'язку і тому його рекомбінація призводить до виділення великої кількості теплоти з утворенням хімічно високоактивного атомарного водню.

В результаті плазмохімічних процесів в реакторі в процесі згоряння відходів утворюються молекули CO , H_2 та вуглеводні. Згорання утворюваних синтезованих горючих газів у реагентній зоні реактора дозволяє підтримувати стабільну температуру вище 1200°C . А для того, щоб блокувати виникнення плазмохімічних реакцій рекомбінації газоподібних молекул, які призводять до утворення діоксинів і фуранів, гарячі гази охолоджують приблизно до $450\text{-}70^\circ\text{C}$. І тоді кількість токсичних газів в димових залишках, перебуває в межах норм дозволених для атмосферних викидів.

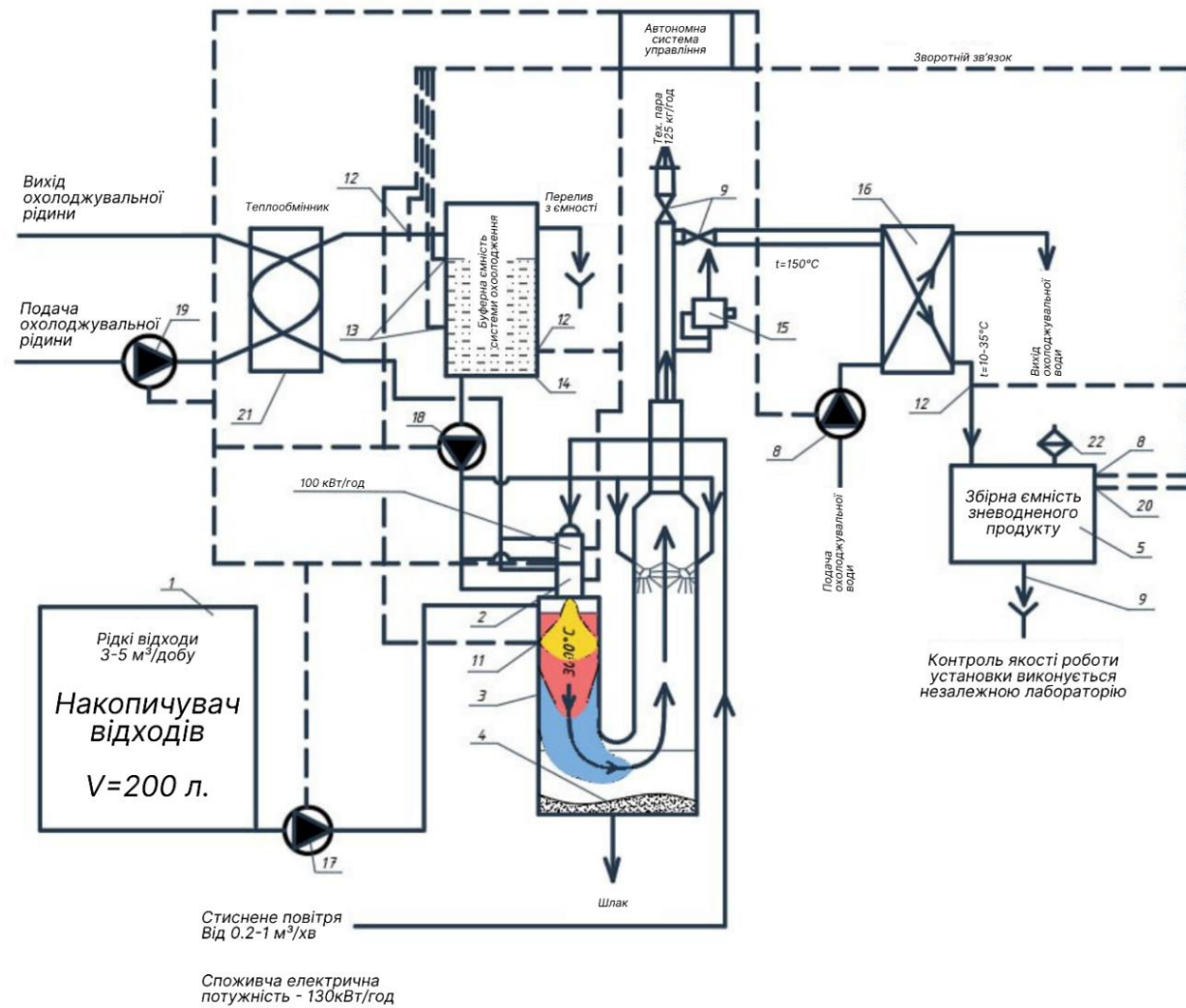


Рис.3.1. Принципова схема промислово-експериментальної плазмопіролізної установки «Плазмон-3М».



Рис. 3.2. Загальний вигляд мобільної установки «Плазмон-3М» на базі 20 футового контейнера. На верхньому фото (зліва) показано фронтальний вигляд плазмодугової установки «Плазмон 3М». На верхньому фото з права показано реакторне відділення установки. На фото внизу з ліва - панель керування установкою. На нижньому фото з права – мобільний 20-футовий контейнер, на даху якого розташовані охолоджуючі системи та димохідна труба

Головними компонентами конструкції кожної плазмової дугової установки є: плазмовий генератор, блоки електроживлення та охолодження

плазмового генератора, плазмохімічний реактор, компресор для подачі плазмоутворювальних газів у плазмовий генератор, система підготовки медичних відходів та їх подачі у плазмохімічний реактор, система охолодження для загартовування продуктів спалювання, комунікаційний системний блок, пульт керування, блок накопичення не спалюваного залишку, система очищення вихлопних димових сумішей, інші допоміжні та контрольні системи (Рис. 3.1.)

Слід зазначити, що ця установка «Плазмон-3М» також може застосовуватися для перероблення різних радіо та фармацевтичних відходів (Рис.3.2).

В результаті плазмохімічного піролізу хлорованих відходів утворюються молекули хлоридної кислоти (HCl) які присутні в газоподібній суміші. Для очищення суміші від них здійснюють гасіння лужним розчином, який блокує рекомбінаційні молекулярні процеси та значно знижує кількість заново утворюваних токсичних хімічних сполук. Залишкові аерозольні димові гази видуються в атмосферу через димову трубу.

Отже, у порівнянні з наявними на сьогодні на ринку технологіями, обробка медичних та інших відходів термічною плазмою має наступні додаткові унікальні переваги:

1. Високотемпературна плазма може повністю знищувати та утилізувати практично всі категорії лікарняних відходів: бавовняні вироби, різні пластмаси, целюлозно-полімерні пов'язки, полівінілхлоридні пакети для крові, рукавички та катетери з поліуретану чи з силіконової гуми, поліетиленові та поліметилметакрилатні матеріали, скла та інші, а в результаті впливу потужного ультрафіолетового випромінювання повністю знищувати патогенні мікроорганізми, інфіковані біомедичні відходи, патологічні відходи та тканини. При цьому медичні відходи обробляються в реакторі без їх детального сортування та без всякої сегрегації і їх попередньої обробки.

2. Потужне ультрафіолетове випромінювання плазмової дуги значно прискорює деструкцію відходів, що є особливо дієвим в процесах піролізу органічних хлоридів. А високі температури у реагентній зоні мінімізують тривалість термообробки відходів і дозволяють досягти високої продуктивності при їх переробленні/утилізації.

3.3. Оцінка енергетичного балансу і параметрів очищення вихлопних сумішей при плазмохімічній переробці медичних відходів

Гази, що утворюються в результаті плазмохімічного піролізу та відповідних реакцій молекулярної деструкції в високотемпературному реагентному просторі плазмохімічного реактора, підлягають обов'язкового екологічного очищення від токсичних сполук, таких як фурани, діоксини, важкі метали та інші сполуки типу HCl , HF , NO_x , SO_x .

Для оцінки енергетичного балансу та параметрів очищення газів при плазмохімічній переробці медичних відходів потрібно врахувати кілька основних аспектів:

Енергетичний баланс процесів очищення димових сумішей визначається порівнянням витрат енергії на генерацію плазми та підтримку реакційного процесу з кількістю енергії, яка може бути отримана у вигляді твердих, рідких чи газоподібних комерційних або взагалі корисних продуктів. Для проведення цієї процедури для розрахунку необхідні наступні основні вихідні параметри:

- потужність плазмотрону (P , кВт);
- ККД плазмохімічного реактора (%);
- енергетична цінність відходів (Q , Мдж/кг);
- кількість витраченої електроенергії (E , кВт·год);
- баланс надходження і витрат тепла в реакторі.

Далі необхідно скласти рівняння енергетичного балансу:

$$Q_{\text{відходів}} + Q_{\text{електроенергії}} = Q_{\text{реакцій}} + Q_{\text{вихлопн.газів}} + Q_{\text{втрат}} \quad (3.1)$$

де: $Q_{\text{відходів}}$ - теплота, яка вивільняється при термічному розкладі відходів,

$Q_{\text{електроенергії}}$ - енергія, що вводиться через плазмовий факел,

$Q_{\text{реакцій}}$ - енергія, витрачена на хімічні реакції,

$Q_{\text{вихлопн.газів}}$ - теплова енергія газоподібних продуктів,

$Q_{\text{втрат}}$ - енергетичні втрати на охолодження стінок реактора, випромінювання, конвекцію.

Плазмохімічний після реагентний цикл складається з наступних процесів:

- 1) швидке загартування (охолодження) газоаерозольних сумішей – до температур $<200-400^{\circ}\text{C}$ для запобігання повторного утворення діоксинів та інших небезпечних сполук;
- 2) нейтралізація кислотних газів і аерозолі HCl , HF в скруберах або в адсорбційних фільтрах;
- 3) фільтрація дрібнодисперсних частинок на тканинних або керамічних фільтрах;
- 4) фільтрація залишкових діоксинів і фуранів шляхом застосування активованого вугілля для їх сорбції (поглинання);
- 5) каталітичне або термічне допалювання для знищення залишкових вуглеводнів і CO .

Для проведення оцінки енергетичного балансу і параметрів очищення вихлопних сумішей при плазмохімічній переробці медичних відходів необхідно також контролювати наступні фізичні та хімічні параметри:

- 1 - концентрацію CO , NO_x , SO_x , HCl , HF , діоксинів, фуранів (мг/м^3);
- 2 - температуру газів на виході з реактора (ТТТ);
- 3 - ефективність очищення димових сумішей (%).

Висока температура в камері допалювання та достатній час перебування димових газів сприяють розкладанню стійких органічних сполук і запобігають утворенню високотоксичних сполук – діоксинів. Температурний режим у камері допалювання також підтримується за рахунок тепловмісту димових газів і гарячого повітря, нагрітого в плазмотроні.

На другому етапі технологічного процесу відбувається охолодження вихлопних димових сумішей які з камери допалювання надходять у загартовувальний блок в якому вони швидко охолоджуються завдяки зрошенню водою та відновленню оксидів азоту водним розчином карбонату. Далі димові суміші проходять процес загартовування шляхом зниження їхньої температури, для чого зазвичай використовується введення розпиленої води. Використання додаткового блока дозволить продовжити час перебування димових газів в оптимальному температурному діапазоні.

Наступним блоком технологічної схеми є теплообмінник-рекуператор головним завданням якого є утилізація частину тепла димових сумішей для підігрівання утворюючих плазму газів, що подається в реактор і камеру допалювання. Застосування рекупераційного блока дає можливість скоротити витрати додаткової енергії від плазмотронів і тим самим зменшити вартість переробки відходів.

Після рекупераційного блоку димова суміш поступає в багатоступеневу систему для її подальшого очищення від леткої золи, кислих газів і парів важких металів. Ця система є комбінацією труби Вентурі (для мокрої газоочистки), ємності із зрошувальним розчином і насадкового скрубера. Для зрошування використовується циркулюючий содовий розчин який розпилюється форсунками.

3.4. Досвід спалювання медичних відходів в польових умовах під час війни.

Для прикладу екологічної небезпеки такого спалювання медичних відходів важливо навести інформацію про екологічний та медичний інцидент після якого у 2012 році Конгрес США був вимушений прийняти законопроект про створення реєстру військових, які постраждали внаслідок стихійного низькотемпературного спалювання медичних відходів в зонах розташування військових підрозділів. У 2014 році в у цьому реєстрі значилось більше як 90000 хворих. Цей досвід свідчить про масштабну небезпеку відкритого спалювання військових медичних та інших небезпечних відходів у разі недотримання температурних умов при відсутності відповідної системи нейтралізації та очищення димових продуктів згоряння.

На сьогодні у країнах НАТО існують санітарні вимоги для поводження з медичними відходами, що утворюються у військових медичних підрозділах/закладах .

В російській окупаційній армії використовується багатофункціональний серійний мобільний інсинератор УУМО-01 [47]

Вихідними умовами та даними для розробки, конструювання та створення мобільних польових плазмових піролізних установок для знищення медичних військових відходів в країнах НАТО існують вимоги STANAG 2982 [48-49] Згідно з положеннями цих вимог при розгортанні нестационарних медичних підрозділів, при поводженні з твердими медичними відходами слід керуватися спеціальними санітарними вимогами:

- 1) дотримання загальних правил безпеки праці при наданні медичної допомоги пораненим/хворим та при поводженні з накопичуваними відходами типу рукавичок, масок, фартухів тощо; найчастіше такі предмети класифікують як загальні не медичні відходи, що перешкоджають поширенню інфекційних захворювань від і серед пацієнтів.

- 2) відокремлення і сортування медичних відходів від загальних змішаних потоків відходів у безпосередньо на місці розташування медичного підрозділу/закладу;

3) зберігання твердих медичних відходів в спеціальних червоних сумках або контейнерах стійких до проколів, фільтрації або витоку рідин, або у маркованих сумках для відходів забруднених кров'ю, або із слідами запеченої крові; при використанні сумок або контейнерів не червоного кольору, інший колір повинен бути чітко зазначений на них разом із позначкою - «Небезпечні медичні відходи»;

4) гострі предмети - шприци, голки, скальпелі, вироби із скла повинні збиратися в спеціальні міцні, стійкі до проколів, до фільтрації та протікання рідин або в пластмасові чи металеві контейнери/відра з кришкою; при цьому забороняється випорожнювати контейнери меншого розміру в контейнер більшого розміру, ламати голки - їх необхідно поміщати прямо в контейнери для гострих предметів а при від'єднанні голки від шприца дотримуватися правил техніки безпеки;

5) зібрані медичні відходи повинні спалюватися або стерилізуватися з їх подальшим поховання, або утилізуються іншими альтернативними технологіями; зольні залишки спалених ТМВ засипають у відкритий циліндричний 200 літровий контейнер який після заповнення евакуюють на санітарне звалище, обладнане відповідно до національних стандартів; якщо в зольних залишках немає гострих медичних голок, лез скальпелів тощо, то попіл може вважатися загальним сміттям і його поховання можливе в оперативній зоні у спеціально визначеному місці;

У разі неможливості спалювання медичних відходів рекомендується їх стерилізація в автоклавах та парових стерилізаторах після чого ТМВ теж розцінюються як загальне сміття, що видаляється згідно з встановленим порядком та з дотриманням техніки безпеки і в тому числі при поводженні з гострими предметами. При цьому для автоклавування медичних відходів забороняється використовувати польові хірургічні або стоматологічні стерилізатори.

За відсутності способів та засобів видалення медичних відходів на місці (в оперативній зоні), вони евакуюються за межі оперативної зони.

Найменш бажаним варіантом видалення медичних відходів є їх поховання на місцевому санітарному звалищі після погодження з місцевими представниками охорони здоров'я.

У польових воєнних умовах найбільш актуальною, чисельною і небезпечною групою відходів є відходи групи В. Але в польових умовах можливе лише збирання, сортування та маркування відходів у відповідні ємності та їх подальша евакуація за межі оперативної зони згідно з рекомендаціями описаними в роботі [50]

Отже, плазмові дугові технології здатні значно спростити численні процеси поводження з небезпечними медичними відходами і являють собою комплексне рішення для екологічно безпечної утилізації медичних відходів. При цьому умовах війни найоптимальнішим варіантом є створення автономних мобільних модульних плазмових дугових установок потужністю до 90 кВт на базі вітчизняних плазмових генераторів ПУН-1 з температурою плазмового струменю на виході із сопла плазмотрона в діапазоні 1200-3500°C. Мобільність таких установок дозволяє знищувати медичні відходи на місці їх утворення або накопичення без їх детального сортування, просушування та транспортування.

Технологія плазмохімічного піролізу усуває практично всі недоліки інших чинних технологій утилізації відходів і являє собою комплексне рішення для безпечної утилізації медичних відходів з конверсією органічної маси в газ понад 99% і не потребує сегрегації хлорованих вуглеводнів. Після згоряння відходів токсичні гази на виході з установки присутні в незначній кількості та відповідають нормативним екологічним вимогам.

Висновки до розділу 3

1. Порівняльний аналіз різних видів плазмотронів показує переваги вітчизняного плазмового універсального генератора ПУН-1 джерелом енергії в якому є зовнішня електрична дуга, що дозволяє відокремити процес

тепловиділення від процесу кисневого окиснення і при цьому він є незалежним від витрат окиснювача або повітря. При цьому потужне ультрафіолетове випромінювання плазмової дуги значно прискорює деструкцію відходів, що є особливо дієвим в процесах піролізу органічних хлоридів а високі температури у реагентній зоні мінімізують тривалість термообробки та дозволяють досягти високої продуктивності при перероблюванні/утилізації відходів.

2. Електродуговий процес плазмохімічного піролізу відповідає всім технічним вимогам що стосуються обробки небезпечних медичних відходів і його легко підтримувати в реакторному реагентному безкисневому середовищі. Також можна змінювати газ утворюючий плазму, що подається в плазмовий генератор і, тим самим, змінювати хімічні особливості процесів, що протікають в реагентному середовищі плазмохімічного реактора.

3. Створено конструкцію системи охолодження димових газів для агресивних середовищ при температурі 1200–4000°C. Визначено параметри апаратів системи охолодження та очищення димових газів. Розроблено загальну компоновку та основні принципи роботи установки для знищення небезпечних медичних відходів продуктивністю 1000-3000кг/годину.

4. Технологія плазмохімічного піролізу усуває практично всі недоліки інших технологій утилізації відходів і являє собою комплексне рішення для безпечної утилізації медичних відходів з конверсією органічної маси в газ понад 99% і не потребує сегрегації хлорованих вуглеводнів. При цьому висока температура та УФ-випромінювання плазмового струменю, повністю знищують бактерії/мікроорганізми і значно прискорює деструкцію медичних відходів всіх категорій без їх попередньої обробки.

5. У польових воєнних умовах найбільш актуальною, чисельною і небезпечною групою відходів є відходи групи В. Але в польових умовах можливе лише збирання, сортування та маркування відходів у відповідні ємності та їх подальша евакуація за межі оперативної зони згідно з нормативними рекомендаціями. При цьому плазмодугові дугові технології

значно спрощують численні процеси поводження з НМФВ і являють собою комплексне рішення для екологічно безпечної утилізації медичних відходів в польових умовах війни. І створення автономних мобільних модульних плазмових дугових установок потужністю до 90 кВт на базі вітчизняних плазмових генераторів ПУН-1 дозволяє знищувати небезпечні медичні відходи на місці їх утворення або накопичення без їх детального сортування, просушування та транспортування.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЬОВОЇ МОБІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ «ПЛАЗМОН-3М», УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ФІЛЬТРАЦІЇ

4.1. Спектрофотометричні вимірювання фільтрувального змішаного розчину лабіринтного рідинного фільтра

Аналіз проб проводився за допомогою спектрофотометра FT-801 (рис.4.1).

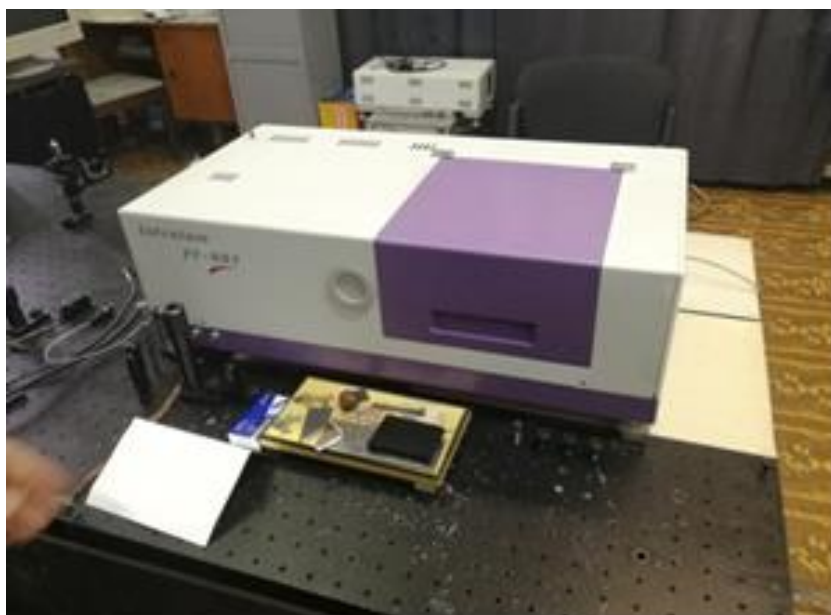


Рис. 4.1. Загальний вигляд спектрометра FT-801.

Спектр «вихлопної» газо-аерозольної суміші, утвореної в результаті плазмової деструкції змішаних фармацевтичних відходів і яка пройшла через металокерамічний фільтр, сопло Лавалю та через рідкий фільтр з розчином вапна представлено на Рис. 4.1 крива червоного кольору - спектр пропускання «вихлопної» газо-аерозольної суміші. Для тестового порівняння на графіку представлено спектри для дистилату H_2O (синій колір) і етилового спирту (чорний колір).

Отримані спектри газо-аерозольного залишку, який залишається після

високо температурної деструкції суміші фармацевтичних відходів, показали, що вихлопна суміш являє собою водну суміш з «недопалений» вуглець – 8%.

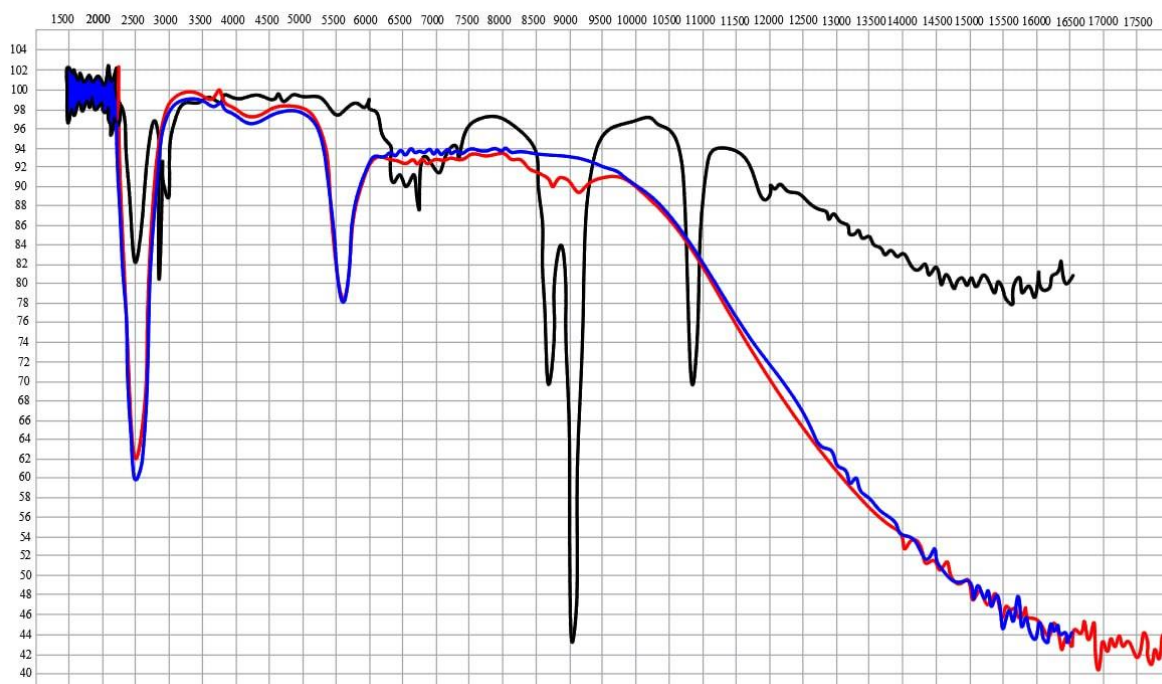


Рис. 4.2. Спектр димової вихлопної суміші, отриманий на спектрометрі FT-801 в спектральному діапазоні $(470-5700) \text{ cm}^{-1} = (2-18) \text{ мкм}$ з спектральною роздільною здатністю $(0,5-8) \text{ cm}^{-1}$, утвореної в результаті високотемпературної деструкції змішаних фармацевтичних відходів після 5-и годинного робочого циклу установки «Плазмон-3М». По горизонталі – робочий діапазон довжин хвиль спектрометра. По вертикалі – оптичне пропускання в %.

Похибка вимірювання хвильового числа: за реперною лінією пари води 1554.35 cm^{-1} : $\pm 0.05 \text{ cm}^{-1}$; загальна допустима: $\pm 1.0 \text{ cm}^{-1}$; СКВ положення піка (1554.35 cm^{-1}): 0.02 cm^{-1} ; нерівномірність лінії 100% пропускання $\leq 0.2 \%$. рівень шуму цієї лінії ≤ 0.005 . Для димових газів зазвичай застосовують спеціалізовані FTIR-CEMS/портативні системи та методики (US EPA Method 320, UK TGN M22 тощо). Фактична невизначеність концентрацій залежить від матриці газу, довжини оптичної кювети, якості

калібрувань/еталонних газів, температури/вологості та перехресних завад. Типові орієнтири за нормативними джерелами:

1. Загальна невизначеність вимірювань FTIR (Method 320, з урахуванням внесків витрати, калібрувальних газів, шуму тощо): зазвичай кілька відсотків до $\sim 15\text{--}20\%$; нижня межа для добре каліброваних вимірювань може бути $\sim 2\text{--}5\%$.

2. Вклад окремих компонентів невизначеності (приклад): витратомір $\pm 1\%$ від діапазону $\rightarrow \sim 5\%$ при роботі на 1/5 шкали; типова невизначеність сертифікованих калібрувальних газів $\pm 2\%$ тощо. Це входить до балансу загальної похибки.

Спектрометр FT-801 має високу точність за хвильовим числом (до $\pm 0.05\text{ см}^{-1}$ на реперній лінії), але похибка визначення концентрацій у димових газах задається не лише приладом, а всім вимірювальним ланцюгом. Для контролю викидів при спалюванні медичних відходів очікуйте загальну відносну невизначеність порядку $5\text{--}20\%$ (за правильною методикою, калібруванням і підготовкою проб). Для регламентного моніторингу краще використовувати FTIR-системи, що прямо відповідають.

Практична оцінка для кожного з ваших аналітів з урахуванням того, що мова про витяжну (extractive) FT-IR (тип застосування для контролю викидів при спалюванні) і що реальна чутливість/похибка сильно залежить від: конфігурації приладу (детектор MCT vs DTGS), довжини оптичного шляху, температури і підігріву пробовідбірного тракту, калібрування (сертифіковані еталони) і методики (наприклад EPA Method 320). Нижче — оцінки LOD (межі виявлення) і орієнтовної відносної невизначеності для типового FTIR-вимірювання (добре налаштована установка, MCT-детектор, нагрітий трасер відбору, коректні калібрування).

Слід зауважити, що FTIR не зовсім вдалий прилад для виявлення слідів фуранів (PCDD/PCDF). Хоча фурани мають ІЧ-«відбиток», але в дуже низьких концентраціях на пікограмових / на норамо́вих рівнях. Тому FTIR як правило не досягає таких меж чутливості. При цьому типова LOD

(витяжний FTIR, МСТ, нормальна конфігурація): $\approx 0.02\text{--}0.1$ ppm ($0.03\text{--}0.15$ mg/m³). Як еталонний приклад у дослідженнях FTIR оцінювали LOD ≈ 0.05 ppm. (0.05 ppm ≈ 0.075 mg/m³ або ≈ 75 µg/m³). Тому приблизна відносна невизначеність (AUI) при валідації становить $\sim 5\text{--}15\%$ за сприятливих умов; у поганих/нерегульованих умовах може сягати $20\text{--}30\%$. Для HF типова LOD (МСТ) $\approx 0.02\text{--}0.2$ ppm і залежить від довжини шляху та від способу і якості підготування проби. В одиницях маси: 1 ppm HF ≈ 0.82 mg/m³ $\rightarrow 0.05$ ppm ≈ 0.041 mg/m³. При цьому невизначеність подібна як і для HCl — $\sim 5\text{--}20\%$ при коректній калібровці.

Для SO₂ типова LOD (МСТ): $\approx 0.1\text{--}1$ ppm (1 ppm SO₂ ≈ 2.62 mg/m³). Менші значення досяжні при довшому шляху/оптиці та гарному калібруванні. Невизначеність становить $\sim 5\text{--}15\%$ у робочих межах; при дуже малих концентраціях — відносно більша.

Для NO з МСТ $\sim 1\text{--}2$ ppm (DTGS може давати $10\text{--}15$ ppm для NO). Для NO₂, типова LOD порівнянно $0.5\text{--}2$ ppm залежно від налаштувань. Невизначеність: $\sim 5\text{--}20\%$, але залежить від інтерференцій (CO, CO₂, волога) і корекції за CO₂/H₂O. Для CO типова LOD: $\approx 0.5\text{--}3$ ppm, але з МСТ краще. 1 ppm CO ≈ 1.15 mg/m³. Невизначеність: $\sim 5\text{--}15\%$ у робочому діапазоні; при низьких концентраціях — більша.

FTIR-підхід для фуранів (PCDD/PCDF): технічно вони мають ІЧ-сигнатури, але чутливість FTIR зазвичай НЕ достатня для регуляторних меж (пікограм-на-м³ рівні). Регулярний моніторинг діоксинів/фуранів здійснюють відбір часток/адсорбент + HR-GC/HRMS (EPA Method 1613/Method 23/23A). Тобто для фуранів FTIR не рекомендується як основний метод якщо потрібні низькі межі виявлення/регуляторна відповідність.

4.2. Температурні вимірювання у плазмовому дуговому реакторі при спалюванні змішаних твердих медичних та фармацевтичних відходів

Отримані результати експериментальних температурних вимірювань дозволяють оцінити ефективність процесу, стабільність роботи установки та рівень утворення побічних продуктів.

На Рис.4.3. показано розподіл температури (температурний профіль реагентного простору реактора по висоті) уздовж центральної осі симетрії циліндричного реактора реакційної зони, від горизонтальної площини сопла плазмового струменя до виходу вихлопної димової газоаерозольної суміші.

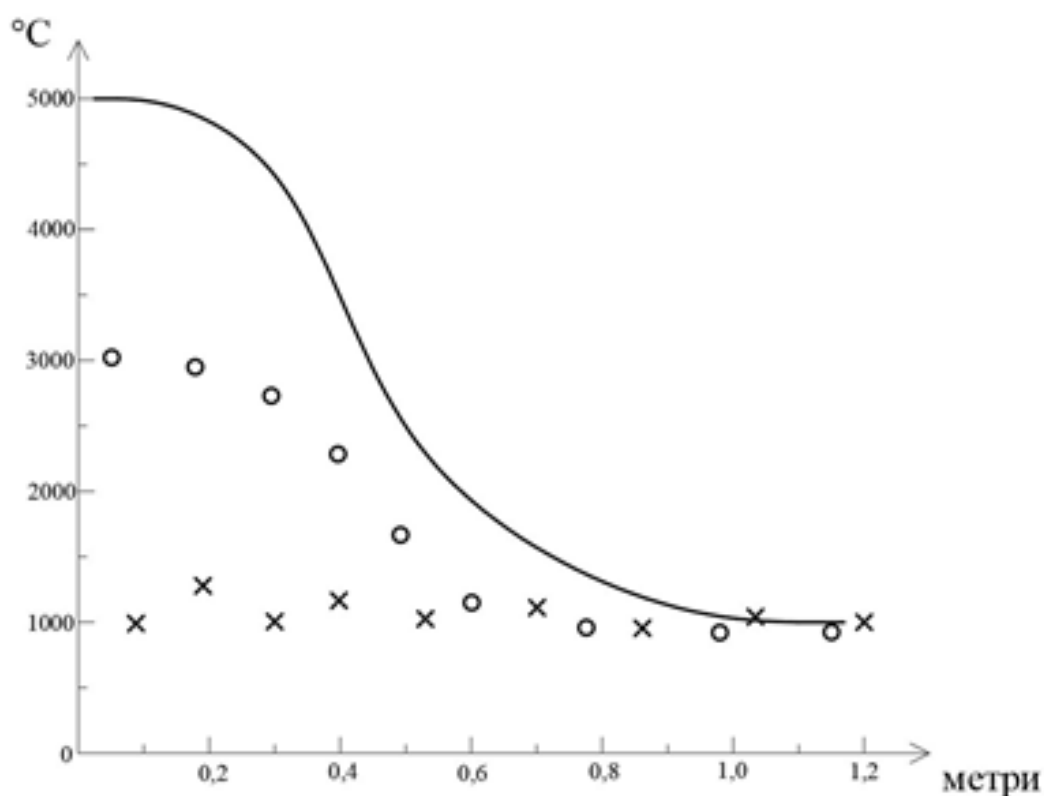


Рис. 4.3. Температурний профіль вповдовж центральної осі циліндричного плазмохімічного реактора (неперервна крива) в напрямку від площини виходу сопла генератора плазми ПУН-1 до площини виходу утвореної плазмохімічної суміші з реактора в систему охолодження та очищення: х — температура стінки циліндричного реактора, о — температура на уявній коаксіальній поверхні яка знаходиться на середній відстані від головної осі циліндричного корпусу реактора до поверхні внутрішньої стінки реактора.

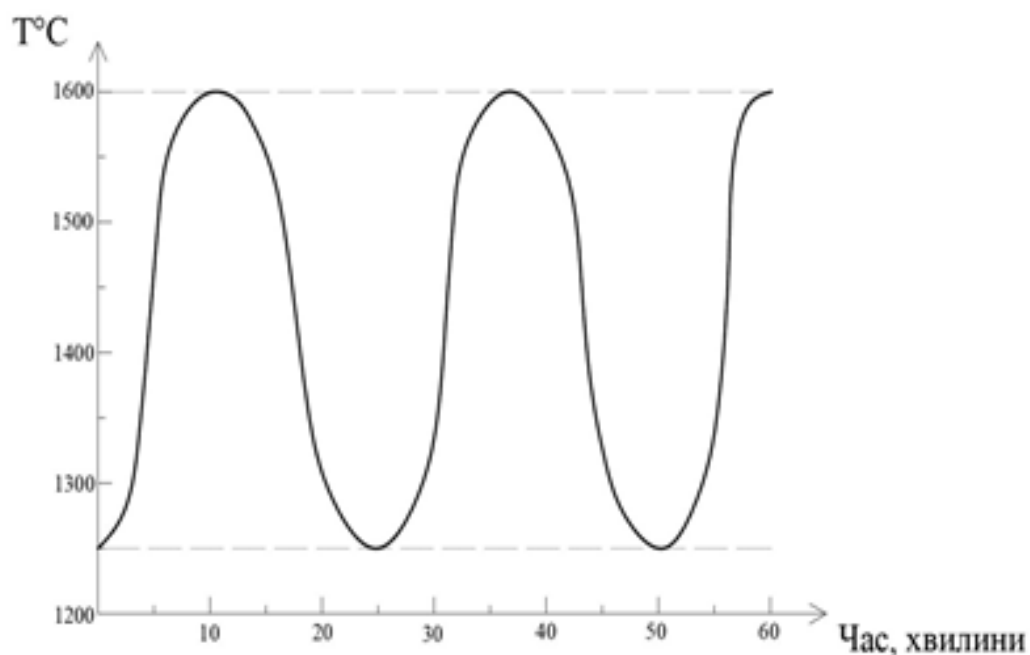


Рис. 4.4. Графік температурних пульсацій в реактентній зоні плазмового дугового реактора у часі. Температура вимірювалася за допомогою цифрових термометрів компанії Silver Crest

Вимірювання показали, що найвища температура (4000–5000)°C утворювалася у реактентній зоні дії плазмової дуги приблизно на усій її довжині з подальшим плавним зменшенням приблизно до 1000°C в нижній частині реактора на вході в систему охолодження та фільтрації. Характер отриманого температурного розподілу дає можливість оцінити температурні умови та ефективність розкладу складних органічних сполук і можливість утворення токсичних проміжних продуктів.

Під час роботи установки на потужності генератора плазми 12 кВт було виявлено температурні пульсації Рис. 4.4 в інтервалі ~ 1250–1600°C. Їх виникнення можна пояснити залежністю відбору потужності плазмового струменю на прогрівання відходів до температур, що забезпечують виникнення плазмохімічних деструкційних процесів інтенсивність яких залежить від швидкості та нерівномірності їх надходження в реактентну зону реактора та від потужності плазмового струменя, а також залежно від зміни

речовинного складу та температури вхідних відходів.

Від амплітуди температурних пульсацій залежить також стабільність плазмохімічних процесів та якість утилізації небезпечних речовин. Це означає, що тип відходів впливає на термодинаміку плазмохімічних процесів. При збільшенні частки пластику або сухих органічних матеріалів можливе короточасне зростання температури. А збільшення вологості відходів знижує температуру в реагентній зоні. Отже, для стабілізації та підтримання необхідних для стійкої молекулярної деструкції медичних речовин температур необхідно підвищувати температуру плазмового струменю шляхом підвищення потужності генератора плазми та гомогенізувати склад відходів для стабільного процесу, наприклад подрібнювати відходи.

З підвищенням потужності генератора плазми до 25-30 кВт пульсації температури зникають для будь-якої суміші твердих медичних відходів.

Вимірювання температури в поза осьових точках реактора - навколо плазмового факела та навколо реагентної зони, на стінці реактора та в площині виходу димової суміші з реактора, проводилися з метою отримання вихідних даних для проектування теплоізоляції корпусу реактора та системи охолодження димової суміші. Результати температурних вимірів у плазмохімічному реакторі під час спалювання твердих медичних відходів (ТПВ) також дозволяють оцінити ефективність процесу, стабільність роботи установки та умови утворення побічних продуктів.

4.3. Удосконалення системи охолодження та очищення вихлопних димових сумішей

Схема удосконаленої системи охолодження та очищення димових вихлопних сумішей є невід'ємним компонентом установки. Ця система складається з керамічного каталітичного високотемпературного фільтру встановленого перед соплом Лавалю, яке своєю чергою встановлене перед 2-

х ступеневим коаксіальним рідинним фільтром заповненим розчином поташу або негашеного вапна через систему якого пропускаються вихлопні гази. Після рідинного фільтра залишкова димова газоаерозольна суміш потрапляє для остаточного очищення в фільтр НЕРА а після нього в рукавний фільтр.

У разі накопичення залишкових забруднюючих продуктів у рідинному охолоджуючому фільтрі, для очищення фільтрувальних рідин використовується додатковий зовнішній блок фільтрації Рис. 4.5. [51-52]



Рис. 4.5. Загальний вигляд додаткового само промивного блоку фільтраційного очищення рідкого забрудненого залишку.

4.4. Теплофізичні, фізико-хімічні та плазмохімічні процеси і перетворення на етапах реакторного та після реакторного технологічних циклів

Для перевірки правильності теоретичних уявлень про механізм процесу плазмохімічної деструкції медичних відходів була розроблена й створена пілотна лабораторна установка «Плазмон-1» а згодом стаціонарна дослідно-промислова установка «Плазмон-2» та мобільна

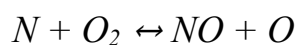
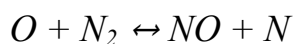
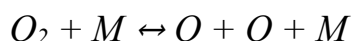
експериментально-промислова «Плазмон-3М». На цих установках в першу чергу проводились температурні вимірювання в реагентній зоні плазмохімічного реактора. Інші експерименти проводилися для хімічного аналізу проб залишкових недопалених рідких та газоаерозольних залишків у вихлопних димових сумішах. Установа «Плазмо-3М» пройшла заводські випробування на фармацевтичному підприємстві і отримала сертифікат відповідності (Додаток Б).

Температурні та інші вимірювання проводилися з метою визначення особливостей процесів деструкції різних видів НМФВ, можливості відновлення оксидів азоту в реакторі, вимірювання потоків матеріалів, що надходять у реактор, дослідження складу твердих і газоподібних продуктів переробки, а також фото- й відеозйомка впливу плазмової струменя на процеси «загоряння» та деструкції відходів.

Було визначено температурні режими в різних зонах плазмохімічного реактора на початковій, робочій і завершальній стадіях процесу з метою уникнення різких змін теплових навантажень на конструкційні елементи.

Оперативне керування роботою плазмового генератора і технологічними потоками дозволило створювати в реакторному реагентному просторі різні температурні зони та контролювати температуру в цих зонах.

За високих температур у повітряній плазмі синтезується значна кількість оксидів азоту. Реакція між азотом і киснем відбувається за ланцюговим механізмом, що включає такі три основні елементарні стадії:

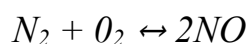


При температурах > 2400 °С процес практично миттєво досягає

рівноваги, а рівноважна концентрація оксидів азоту може бути визначена за рівнянням:

$$[NO] = \{ K \cdot [O_2] \cdot [N_2] \}^{1/2}$$

де $[NO]$, $[O_2]$, $[N_2]$ — рівноважні концентрації оксиду азоту, кисню і атомарного азоту, K — залежна від температури константа рівноваги реакції:



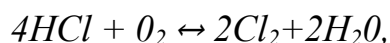
При температурі 2500°C концентрація NO в газі на виході з плазмового генератора може досягати 50 г/м³. Щоб запобігти наднормативним викидам оксидів азоту з димовими газами в атмосферу, необхідно передбачати технічні рішення для їхньої нейтралізації. Одним із таких рішень є організація процесу спалювання за умови нестачі повітря. При цьому за нестачі повітря та з утворенням водяної пари процес плазмохімічного горіння відбувається з утворенням значних кількостей CO і H₂. Внаслідок значно вищої швидкості реакції при невеликій залишковій концентрації кисню у димових газах водень згорає, а оксид вуглецю виходить із димовими газами. Для допалювання оксиду вуглецю (CO), залишкових кількостей вуглеводнів та залишкових або синтезованих у процесі органічних сполук використовується камера допалювання.

Водень і діоксид вуглецю є ефективними відновниками оксидів азоту, а процес відновлення відбувається за температури 900–1100°C. За таких умов плазмове спалювання медичних відходів із нестачею кисню призводить до значного зниження концентрації оксидів азоту на виході. Однак спалювання з нестачею кисню може спричиняти утворення сажі. Проте при правильній організації процесу плазмового спалювання кількість утвореної сажі буде незначною. Підвищений вміст води у димових газах знижує її вихід. Запобігати викидам сажі в довкілля також можна шляхом

введення каталізаторів, наприклад, водного розчину $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Наявність у складі установки камери допалювання також сприяє зменшенню вмісту сажі у димових газах. За температури $1150\text{--}1200^\circ\text{C}$, і коефіцієнта надлишку повітря 1,15–1,2 ступінь вигорання сажі становить (97–99)% за проміжок часу перебування 1,5–1,7 с.

У процесі спалювання медичних відходів також не можна виключати утворення незначних кількостей елементарного хлору Cl , який утворюється в результаті реакції Дікона [53]



Хлорорганічні сполуки, органічні сполуки більш складного складу – діоксини, а також термічно стійкі газоподібні сполуки CF_4 , C_2F_6 і H_2S повністю перетворюються в CO_2 , H_2O , HCl , HF , SO_2 у камері допалювання.

Найважливішими характеристиками блока допалювання (рис. 3.6), що визначають повноту згоряння органічних і горючих неорганічних речовин, є температура, час перебування в камері, залишковий вміст кисню та водяної пари.

Температура в камері допалювання повинна підтримуватися в діапазоні $1200\text{--}1400^\circ\text{C}$ з часом перебування димових газів ~ 2 с достатнього для знешкодження всіх токсичних органічних продуктів, зокрема й галогеновмісних.

Завантаження однорідних так і неоднорідних твердих медичних відходів може значно змінювати температурний режим плазмохімічних процесів, що можна коригувати роботою плазмового генератора. Було виявлено, що неоднорідність складу відходів, що подаються в реактор, та значення швидкості їх подачі спричиняють пульсації температурного режиму в реагентній зоні і у всьому реакторі.

Використання плазмотрона для нагріву дуттьового повітря при знешкодженні твердих відходів дозволяє ініціювати їх займання незалежно

від початкового стану, але при дотриманні умови займання, що визначаються температурою прогрівання відходів та виходом необхідної кількості летких речовин. Термічне знешкодження твердих відходів в один етап без допалювання призводить до неприпустимо високого рівня викидів вуглеводнів і чадного газу в димових газах.

Наявність відновних стадій або зон у процесі спалювання відходів дозволяє майже повністю відновити оксиди азоту, що вводяться з плазмоутворювальним повітрям.

Реалізація процесу газифікації також залежить від співвідношення введеної потужності (кВт) до поданого потоку повітря ($\text{м}^3/\text{год}$), що є технічною характеристикою використовуваного плазмотрону. Для ефективного процесу необхідно підтримувати це співвідношення на рівні 1,3:1 – 1,5:1.

Деякі види відходів, наприклад, деревну тирсу змішану з медичними та харчовими відходами, що мають низьку токсичність і високу теплотворну здатність, доцільно піддавати плазмовій газифікації або піролізу для отримання продукт-газу з його подальшим поверненням у реагентну зону реактора.

Відходи, що мають високу токсичність і низьку теплотворну здатність (хімічні, військові, медичні) і утворюються в порівняно невеликих кількостях, також можна піддавати плазмовому спалюванню.

Отримані результати та набутий практичний досвід дозволили перейти до вирішення конкретних завдань знищення відходів з метою екологічного захисту навколишнього середовища, розробки нових ефективних технологій та створення надійних установок для утилізації особливо токсичних видів відходів. При цьому специфічні властивості медичних відходів передбачають дотримання норм етики, епідеміологічних та екологічних стандартів при роботі з ними. Ці норми забороняють застосування загальних принципів поводження з небезпечними медичними відходами, таких як сортування, попередня переробка та використання як

вторинної сировини. Крім того, категорично заборонено змішувати їх із побутовими відходами та здійснювати їх поховання на міських звалищах.

На першому етапі відходи подаються за допомогою шнека в реактор. Перша стадія переробки забезпечує нагрівання, висушування, горіння. Температура в реагентній зоні ректора підтримується за рахунок власної теплоти згорання відходів і гарячої плазмової дуги. Турбулентний потік плазми в реакторі постійно перемішує спалювані медичні відходи, щоб не допустити їх спікання, а також для інтенсифікації процесів тепломасообміну.

Вивантаження не спалюваних залишків із плазмохімічного реактора виконується в кінці технологічного циклу.

На другому етапі технологічного циклу реалізуються процеси: загартовування утворюваної в реагентній зоні реактора та поза нею газоаерозольної суміші яка спрямовується у гартувальний тракт, що складається з металокерамічного фільтру, сопла Лавалю і 2-х ступеневого мокрого фільтру з розчином не гашеного вапна, поташу або водним розчином карбаміду. Наявність додаткового блока допалювання дає можливість продовжити тривалість витримки димової суміші в оптимальному температурному режимі.

Наступний третьому етапі технологічного процесу для очищення димових газів від леткої золи, кислих газів і парів важких металів можна також використовувати комбінований апарат мокрої газового очищення який складається з труби Вентурі, ємності із зрошувальним розчином і скрубера. Апарат зрошується циркулюючим содовим розчином і розпилюється форсунками.

В кінці системи очищення газоаерозольних димових залишків також можна використовувати аерозольні фільтри для вилучення з газоаерозольної суміші охолоджених тонко дисперсних пилоподібних частинок та мікродисперсну фракцію нейтралізуючого розчину. Після цього газоподібну суміш потрібно розбавляти гарячим повітрям і пропускати через адсорбер з

активованим вугіллям для доочищення від сполук важких металів та діоксинів. Після виходу з адсорбера димова суміш знову розбавляється повітрям і викидається в атмосферу.

В процесі плазмохімічного лікаряних відходів-імітаторів було визначено, що без попереднього розігріву реактора в ньому може утворюватися газоаерозольна суміш білого кольору. Утворення такої білої димової суміші (або іншого - не чорного кольору) відбувається в результаті зменшення температури в реакторі. Білий дим може утворюватися в результаті випаровування вуглеводнів, які конденсуються в рідкий аерозоль і який, у разі наявності домішок у вигляді твердих часточок [54]. Після попереднього прогрівання відходів утворюється сіро-чорний дим, що означає наявність протікання реакцій плазмопіролізу з утворенням стабільних темних частинок. В реакторі також утворюється частинки сажі у формі кластерів розміром (300-600) нм.

4.5. Вимірювання проведені за допомогою газоаналізатора MSI-2000

На виході з газоходу, тобто на виході з рукавного фільтру, за допомогою газоаналізатора MSI-2000 проводилися вимірювання вмісту оксиду азоту та оксиду вуглецю у димових аерозольних залишках. Діапазон вимірювання за оксидом азоту становив (0-1000) ррт, для оксиду вуглецю - (0-2000) ррт.

Якщо концентрації вимірюваних компонент аерозольних газів значно перевищував межі вимірювання газоаналізатора, відбиралися проби газоаерозольних сумішей які перед подачею в газоаналізатор розбавляли.

Під час експерименту підтримувалися постійними витрата проби, що відбирається, і витрата розбавляючого повітря. Показання газоаналізатора коригувалися в залежності від ступеня розведення проби.

Апаратурна фіксація температурних змін, концентрацій CO та NO, а

також візуальні спостереження дали можливість виділити кілька стадій процесу плазмового спалювання. На початку процесу, після завантаження відходів, протягом 2-5 хв відбувалося швидке зниження температури в плазмовому факелі до 200-250°C. Пояснюється це тим, що на цьому відрізку часу відбувається прогрів і сушіння відходів і виходу з них летких речовин. А початок процесу окислення летких речовин знову призводить до підвищення температури.

У процесі експерименту з газоходу також відбиралися проби димових газів та проводився аналіз на вміст у них оксиду азоту та оксиду вуглецю. Для проведення аналізів використовувався газоаналізатор MSI-2000. Діапазон виміру по оксиду азоту становив 0-1000 ррт, по оксиду вуглецю - 0-2000 ррт.

Оскільки очікувані концентрації зазначених компонентів димових газів при тестовому спалюванні дерев'яної тирси значно перевищують межі вимірювання газоаналізатора, пробу димових газів, що відбирається, необхідно було перед подачею в газоаналізатор попередньо розбавляти. Під час експерименту підтримувалися постійними витрата проби, що відбирається, і витрата розбавляючого повітря. Показання газоаналізатора коригувалися відповідно до ступеня розведення газової проби.

Газоаналізатор ОКСИ 5М використовувався для тестових вимірювань CO_2 , NO_x викидів в атмосферу кисню O_2 ; окису вуглецю CO ; оксиду азоту NO ; діоксиду азоту NO_2 ; діоксиду сірки SO_2 ; тиску в газоводі (P); температури $^{\circ}\text{C}$ димових газів під час тестового обслуговування установки.

На ОКСИ 5М також встановлено вимірювач максимального рівня $\text{CO}_{2\text{max}}$ та рідкокристалічний індикатор, мікропроцесор та внутрішня пам'ять, що дозволяє записувати до 250 результатів вимірювань і виводити їх на комп'ютер через RS 232. Експериментальна установка «Плазмон-3М» на базі вітчизняного генератора плазми отримала сертифікат на відповідність серійному впровадженню та пройшла заводські випробування і готова для серійного впровадження в системі поводження з небезпечними

медичними відходами, а також для проведення досліджень процесів високотемпературної плазмохімічної деструкції.

Досвід створення та експлуатації плазмохімічних установок різного призначення показує, що на сьогодні ця технологія ще не готова для широкомасштабного масового знищення потоків змішаних муніципальних та комунально-побутових відходів на полігонах та звалищах. Але вона поки що є єдиною мобільною технологією здатною знищувати небезпечні медичні відходи безпосередньо на місцях їх утворення або накопичення до 10-и тонн за добу з метою їх вилучення із загальних міських потоків відходів.

Найбільш оптимальним є створення автономних мобільних модульних плазмових установок потужністю до 90 кВт на базі вітчизняних плазмових генераторів ПУН-1 з температурою плазмового струменю на виході із сопла плазмотрона до 5000°K та КПД = (75-80)%.

4.6. Головні результати лабораторних випробувань

Плазмохімічна переробка медичних відходів є дуже складним і не до кінця вивченим процесом, тому для оцінки ефективності роботи плазмової установки «Плазмон-3М» для визначення її енергетичного балансу та параметрів очищення продукт-сумішей в роботі було запропоновано спрощену експрес-методику для оцінки енергетичного балансу і параметрів очищення фінішної димової суміші.

На першому етапі випробувальних та пускових налагоджувальних робіт, після перевірки на функціонування усіх систем установки, проводилися дослідження робочих характеристик плазмового генератора ПУН-1. На другому етапі досліджувалися екологічні характеристики установки і їх відповідність установленим нормативам, а також здійснювалися вимірювання: вологості твердих медичних відходів на вході установки, хімічного складу залишкових вихлопних димових сумішей на виході із димової труби установки шляхом лабораторних аналізів проб осаду

відібраних на внутрішніх стінках труби та проби димової суміші [59].

За результатами випробувань вологість твердих медичних відходів на вході установки становила 20-40%. Тому у реагентній зоні горіння реактора (РЗГР) утворювалася водяна пара. В результаті виникали «додаткові» хімічні реакції, а також збільшувалася інтенсивність горіння в результаті температурної дисоціації молекул води з утворенням водню і кисню, оскільки в РЗГР утворювалася велика кількість активних центрів атомарного водню H^+ та гідроксилу OH^- які кратно прискорюють процеси горіння. При цьому спостерігалось зростання інтенсивності світіння плазмового факелу і зменшення інтенсивності утворення димових сумішей.

В результаті плазмохімічного піролізу хлорованих відходів в газоподібній суміші утворюються молекули хлоридної кислоти (HCl) для очищення від яких застосовувався лужний розчин, який блокує рекомбінаційні молекулярні процеси і значно знижує кількість заново утворюваних токсичних хімічних сполук. Залишкові очищені димові суміші видувуються в атмосферу через димову трубу.

В плазмовому дуговому реакторі при спалюванні твердих медичних органічних відходів з вмістом вуглецю також утворюється високоенергетичний синтез-газ. Але для практичного комерційного використання такого газу, наприклад, для теплової та електричної енергії, потрібна складна система його очищення від корозійно активних токсичних речовин, а також від мінеральних та інших аерозольних залишків. Значно простіше, економічніше і ефективніше використовувати цей синтез-газ в неочищеному вигляді для власних потреб плазмової установки з метою економії зовнішнього електроспоживання та “допалювання” утворених в димовій суміші небезпечних речовин з метою доведення вихлопних димових сумішей до екологічних вимог державних і міжнародних норм, правил та методів щодо безпечної утилізації медичних відходів, включаючи інфіковані відходи [55-58]

Висновки до розділу 4

Для проведення тестових температурних вимірювань та хімічних аналізів продуктів, що утворюються в реагентній зоні плазмохімічного реактора, в роботі запропоновано оптимальний комплекс вимірювальних приладів у складі: цифрові термометри-щупи типу SilverCrest, спектрофотометр FT-801, газоаналізатори MSI-2000 та ОКСИ 5М.

1. Температура газowo-аерозольної суміші на виході з очищувальної системи в середньому становить $(150-200)^{\circ}\text{C}$. При спалюванні тестової суміші медичних відходів на потужності генератора плазми 15 кВт були виявлено циклічні пульсації температури з амплітудою $\sim(1200-1600)^{\circ}\text{C}$ виникнення яких можна пояснити залежністю відбору потужності плазмового струменю на прогрівання медичних відходів до температур, що забезпечують виникнення плазмохімічних деструкційних процесів інтенсивність яких залежить від швидкості, температури та нерівномірності їх надходження в реагентну зону реактора.

2. Удосконалена схема зовнішнього блоку охолодження та очищення рідких та димових сумішей. У разі спалювання медичних відходів з непередбачуваним особливо небезпечним хімічним складом використовується додатковий зовнішній фільтрувальний блок.

3. Для зниження зовнішніх енерговитрат утворювану в плазмохімічному реакторі горюча продукт-суміш подається повторно в реагентну зону реактора або в зовнішній блок допалювання для покращення екологічних та економічних показників установки, що дає економію електроенергії до 20-40%. При цьому встановлено, що тепловий вміст плазмоутворювального газу на виході з генератора плазми змінюється в межах 1-2 МДж/кг. Теплотворна здатність продукт-суміші на виході з реактора становить $\sim 3,1-3,6$ МДж/кг, а при тестовій газифікації дерев'яної тирси – ~ 6 МДж/м³.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз світового досвіду підтвердив, що перетворення міста Києва на здоров'яорієнтоване місто можливе тільки за технологічного оновлення системи поводження з небезпечними медичними та фармацевтичними відходами, які в Україні всі без виключення класифікуються як небезпечні. При цьому ВООЗ наголошує, що тільки сучасні установки спалювання при температурах не нижче 850–1100 °C з ефективним очищенням димових газів здатні відповідати міжнародним екологічним стандартам безпеки. Тому впровадження високотемпературних плазмових дугових технологій для знешкодження НМФВ є критично важливим кроком підвищення рівня екологічної безпеки міста на шляху до здоров'яорієнтованої моделі.

2. Плазмохімічна деструкція НМФВ має суттєві переваги над звичайним спалюванням. Завдяки високим температурам (~1200–4000 °C) у плазмовому дуговому реакторі з системою очищення досягається повна молекулярна деструкція токсичних сполук без стійких отруйних залишків на виході з установки. Плазмові дугові технології практично не генерують небезпечної золи чи діоксинів, отже блокують потрапляння небезпечних медичних відходів до загальних потоків муніципального та побутового сміття та на полігони.

3. Мобільні плазмові дугові установки типу «Плазмон-3М» є доцільними та ефективними для знищення НМФВ, що накопичуються внаслідок війни. Такі автономні установки «Плазмон 3М», що можуть бути розгорнуті безпосередньо в польових умовах. Результати досліджень показали, що установка «Плазмон-3М» здатний повністю знищувати майже всі категорії медичних відходів на місці їх утворення без попереднього поглибленого сортування чи сушіння. А потужне УФ-випромінювання плазмового струменю одночасно знезаражує патогени, усуваючи потребу в транспортуванні інфікованих відходів, що значно спрощує систему поводження з НМФВ.

4. Проведені експериментальні випробування мобільної установки

«Плазмон-3М» підтвердили стабільність її параметрів та відповідність екологічним нормам. На першому етапі налагодження виконано прямі вимірювання хімічного складу залишкових димових газів на виході димаря та аналіз осадів на його внутрішніх стінках. Встановлено, що викиди відповідають нормативним екостандартам. Було удосконалено систему охолодження та очищення газів, зокрема додано зовнішній фільтраційний блок. Крім того, підтверджено ефективність рециркуляції синтез-газу який повертається у реагентну зону реактора або камеру допалювання, що зменшує споживання зовнішньої електроенергії.

5. Досліджено, що екологічні параметри міського довкілля мають прямий вплив на здоров'я та життєдіяльність населення, створюючи суттєві екологічні та медичні ризики. За оцінками ВООЗ атмосферні забруднення спричиняють близько 29% смертей від раку легенів і 43% смертей від ХОЗЛ у світі.

6. Система поводження з відходами в Україні характеризується постійним зростанням обсягів сміття та наявністю численних нелегальних звалищ. За даними, в країні налічується понад 6100 офіційних полігонів і близько 26 600 несанкціонованих звалищ, більшість із яких переповнені і не відповідають нормам безпеки. Отже, покращення екологічних параметрів міського середовища за рахунок впровадження нових технологій, що є необхідною умовою зниження ризиків для здоров'я мешканців і забезпечення комфортного, безпечного та екологічно чистого урбаністичного простору здоров'яорієнтованого міста.

7. В роботі розроблено математичну модель, обміну забруднюючими сполуками в міських екосистемах, що дозволяє оцінити стійкість впливу екологічно небезпечних складових антропогенно змінених екосистем із врахуванням основних каналів масопереносу поллютантів, а також удосконалено систему оцінки ризику для населення і запропоновано її використання для небезпечних явищ в урбоекосистемах природного та техногенного характеру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Порядок управління медичними відходами, у тому числі вимоги щодо безпечності для здоров'я людини під час утворення, збирання, зберігання, перевезення, оброблення таких відходів: Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 1827 від 31.10.2024: станом на 15.09.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1938-24#Text> (дата звернення 15.09.2025).
2. Негода Н.В., Ващенко В.М., Кордуба І.Б., Хафез Ненсі Махмуд. Технологічні та екологічні особливості установок для плазмохімічного піролізу медичних відходів. *Техніка будівництва*. 2024. № 40. С. 93–108.
3. Про відходи: Закон України від 05.03.1998 № 187/98-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. 25.09.1998 (№ 36). С. 242.
4. World Health Organization. Healthy Cities and the City Planning Process: A Background Document on Links Between Health and Urban Planning (WHO, 1999). URL: <https://www.who.int/publications/i/item/EUR-ICP-CHDV-03-04-03> (дата звернення 15.09.2025).
5. WHO Regional Office for Europe. Urban green spaces: a brief for action (WHO, 2017). URL: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289052498> (дата звернення 15.09.2025).
6. Негода Н.В., Жукова О.Г. Формування здоров'яорієнтованого міського простору як спосіб управління ризиками для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2023. № 5 (50). С. 166-174.
7. Негода Н.В., Жукова О.Г. Оцінка впливу екологічного стану урбо-екосистеми на здоров'я населення та якість життя. *Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., Харків, 19–20 квіт. 2023 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: Д. В. Дядін, В. О.*

Юрченко, О. М. Дрозд та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. С. 119-121.

8. Негода Н.В., Жукова О.Г. Формування здоров'яорієнтованого міського простору як спосіб управління ризиками для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2023. № 5 (50). С. 166-174.

9. Прокопенко В.Д., Жукова О.Г. Вплив урбанізованих територій на стан водних екосистем. *Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів*: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., Харків, 19–20 квіт. 2023 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: Д. В. Дядін, В. О. Юрченко, О. М. Дрозд та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. С.57-59.

10. Негода Н.В. Вплив урбанізованого середовища на стан здоров'я населення. *Техніка будівництва*. 2024. № 40. С. 87-92.

11. Негода Н.В., Жукова О.Г. Роль будівель у контексті подолання наслідків зміни клімату. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: матеріали VII Міжнародного конгресу, м. Львів, 02-03 березня 2023, С. 76-77.

12. Інформація про відходи м. Київ за 2023 рік. URL: <http://www.kyiv.ukrstat.gov.ua/p.php3?c=3428&lang=1> (дата звернення 15.09.2025).

13. Nehoda N., Vashchenko V., Korduba I., Hafez N. Engineering and physical basis for the design and development of plasma-chemical reactors for mobile medical waste disposal units. *Open Ecological Journal*. 2024. 14 (9). PP. 651-662.

14. Васюкова Г.Т. Екологія. URL: <https://westudents.com.ua/knigi/83-ekologiya-vasyukova-gt.html> (дата звернення 15.09.2025).

15. Про затвердження Змін до Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами: Наказ Міністерства охорони здоров'я України №1602 від 06.09.2022: станом на

15.09.2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1387-22#Text> (дата звернення 15.09.2025).

16. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_a07#Text (дата звернення 15.09.2025).

17. Семерак М.М., Лис С.С., Коваленко Т.П. Аналіз процесу плазмової переробки радіоактивних відходів. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. 1(81). С. 23-29.

18. Михайлова Є.О., Панчева Г.М., Резніченко Г.М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. *Комунальне господарство міст*. 2019. Том 5, випуск 151. С. 37-44. URL: DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-37-44

19. Про приєднання України до Базельської конвенції про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням: Закон України від 01.07.1999 № 803-14. *Відомості Верховної Ради України*, 1999, № 34, ст.284. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/803-14#Text> (дата звернення 15.09.2025).

20. Про спалювання: Директива ЄС 2000/76/WE від 04.12.2000. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/76/oj/eng> (дата звернення 15.09.2025).

21. Про затвердження Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами: Наказ МОЗ України від 08.06.2015 № 325. *Офіційний вісник України* (від 08.09.2015). 2015. № 69. С. 297.

22. Всесвітня організація охорони здоров'я: медичні відходи. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste> (дата звернення 15.09.2025).

23. Janik-Karpinska E, Brancaloni R, Niemcewicz M, Wojtas W, Foco M, Podogrocki M, Bijak M. Healthcare waste—a serious problem for global health. *Healthcare*. 2023;11:242. URL: <https://doi.org/10.3390/healthcare11020242>.

24. Chartier Y, Emmanuel J, Pieper U, Pruss A, Rushbrook P, Stringer R, Townend W, Wiburn S, Zghondi R. Safe management of wastes from health-care

activities. Geneva: World Health Organization. 2014. URL: <https://www.susana.org/knowledge-hub/resources?id=4483> (дата звернення 15.09.2025).

25. Who TB knowledge sharing platform. URL: <https://tbksp.who.int/en/node/1268> (дата звернення 15.09.2025).

21. Nehoda N., Vashchenko V., Korduba I., Hafez N., Tsybitovskiy S., Trach Y. Engineering and physical bases and environmental safety of plasmochemical disposal of hazardous medical waste. *Acta Sci. Pol. Architectura*. 2024. 24 (1). PP. 16–27. URL: <https://doi.org/10.22630/ASPA.2025.24.2>

27. Плазмова технологія утилізації відходів. URL: <https://betosteel./articles/plazmennaya-texnologiya-utilizacii-otxodov.html> (дата звернення 15.09.2025).

28. Технологія плазмової газифікації — переваги та недоліки. URL: <https://vinit.com.vn/ru/технология-плазменной-газификации-п/> (дата звернення 15.09.2025).

29. Nema S.K., Ganeshprasand K.S. Plasma pyrolysis of medical waste. *Current Science*. 2002. vol. 83, No. 3. P. 271-278

30. Buryachok T. O. et al. Power Engineering: History, Present, and Future. Book 5: Electrical Power Engineering and Environmental Protection. Power Engineering in Modern World, nauk. red. V. N. Klymenko, Yu. O. Landau, I. Ya. Sihal. Kiev, 2013, 390 p.

31. Gopalrao Wawale S, Shabaz M, Mehbodniya A, Soni M, Deb N, Elashiri MA, Dwivedi YD, Naved M. Biomedical waste management using IoT tracked and fuzzy classified integrated technique. *Human-centric Comput Inf Sci*. 2022;12:32. URL: <https://doi.org/10.22967/HCIS.2022.12.032>.

32. Диняк, О. В., Кошлякова, І. Є. Потенційна небезпека для довкілля та населення від нафтохімічного забруднення геологічного середовища внаслідок бойових дій. *Екологічні науки*. 2023, № 6 (51). С. 136-141. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.22>

33. Barkova I. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. *MDPC Publishing*. 2024. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-society-modern-trends-in-a-changing-world-19-21-02-2024-viden-avstriya-arhiv> (дата звернення 15.09.2025).

34. Конєга Ю., Горбань, А. В., Пташенчук, О. О. Дослідження вмісту важких металів у ґрунті на місці вибухів від снарядів. *Молодь. Наука. Природа: матеріали V Всеукраїнської наукової конференції-конкурсу*. Суми, СумДПУ імені А.С. Макаренка. 2024. С. 21-23.

35. Патон Б.Є., Чернець А.В., Мерінський Г.С., Коржик В.М., Петров С.В. Перспективи застосування плазмових технологій для знищення і переробки медичних і інших небезпечних відходів. *Сучасна електрометалургія*. 2005, №3. С. 54-63.

36. Жовтянський В.М., Петров С.В., Орлик В.М., Якимович М.В., Вакілов І.М. Переробка небезпечних радіоактивних відходів із використанням плазмових технологій. *Екологічні науки*. 2018. №2 (21). С. 50-58.

37. Забулонов Ю.Л., Буртняк В.М., Одукалець Л.А., Алексєєва О.В., Петров С.В. Плазмохімічна установка очищення трапних вод АЕС. *Наука та інновації*, 2018, т. 14, № 6. С. 93-101. URL: <https://doi.org/10.5772/61830>

38. Стокгольмська конвенція про стійкі органічні забруднювачі. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_a07 (дата звернення 15.09.2025).

39. Міжнародні медико-санітарні правила (Женева, 23 травня 2005 р.) URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU05398> (дата звернення 15.09.2025).

40. STANAG 2982: Essential field sanitary requirements. URL: <https://standards.globalspec.com/std/321595/stanag-2982> (дата звернення 15.09.2025).

41. Горішна О.В., Депутат Ю.М., Іванько О.М., Кожокару А.А., Баркевич В.А., Нарожнов В.В. Проблема утилізації відходів медичних відходів у польових умовах. *Інфекційні хвороби*. 2018. № 91. С. 40 – 45.

42. Актуальність і перспективи використання мобільних установок для ліквідації наслідків аварій з хімічним забрудненням територій України. *Старотельство, материаловедение, машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности*. 2016. Вип. 93. С. 167-173.

43. Про затвердження Державних санітарно-протиепідемічних правил і норм щодо поводження з медичними відходами: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.06.2015 № 325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0959-15#Text> (дата звернення 15.09.2025).

44. Nema S.K., Ganeshprasand K.S. Plasmapyrolysis of medical waste. *Current Science*. 2002. Vol. 83, №3. P. 271-278 URL: https://www.researchgate.net/publication/240636751_Plasma_pyrolysis_of_medical_waste (дата звернення 15.09.2025).

45. Жовтянський В.А., Орлик В.М., Петров С.В., Якимович М.В. Загальні принципи переробки відходів з вилученням їхнього енергетичного потенціалунаоснові плазмових технологій. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2018, №2. С. 16-31.

46. Моссе А.Л., Савченко Г.Е., Савчин В.В., Левашов А.В. Мобільні плазмові системи. Варіанти виконання, використання і порівняльний аналіз. *Енерготехнології і ресурсозбереження*. 2012. № 4. С. 8-15

47. Семерак О. Аналіз процесу плазмової переробки радіоактивних відходів. *Ядерна та радіаційна безпека*, 2019. 1(81). С. 23 – 29.

48. Токарчук Д.М. Особливості утворення і поводження з відходами під час воєнних дій. Досвід України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. №2. С. 111-122.

49. Жовтянський В.А., Орлик В.М., Петров С.В., Якимович М.В. Загальні принципи переробки відходів з вилученням їхнього енергетичного потенціалунаоснові плазмових технологій. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2018, №2. С. 16-31.

50. Ткаченко Е.Ю., Варзацкий О.А., Лозовой М.А. Холодное сжигание» – новый метод деструкции токсических отходов. *Scientific*

Journal «ScienceRise». 2015. V. 5/2, № 10. С. 106-110. URL: <http://journals.uran.ua/sciencerrise/article/view/42289/39243>

51. Ващенко В. М., Костигін В.О. Пристрій поліфункціональний для відокремлення механічних і хімічних домішок у рідинах. Номер патенту: 110522. Опубліковано: 12.01.2016.

52. Tkachenko E.Y., Kozachkov S.G. Possible contribution of triboelectricity to snow–air interactions. *Environmental Chemistry*. 2012. Vol. 9, Issue 2. P. 109.

53. Moffat J. B. The Deacon Process for Hydrogen Chloride Oxidation, *Catalysis Reviews*. 1978. Vol. 18, No. 2. PP. 199-244.

54. Brunner C. R. Hazardous Air Emissions from Incineration. New York: Chapman and Hall, 1986. 45 p.

55. Хафез Ненсі Махмуд; Ващенко В.М., Антонов А.В., Лоза Є.А., Кордуба І.Б., Капуста Т.Я. Екологічна безпека плазмохімічної утилізації небезпечних медичних відходів. *Технології та суспільство: взаємодія, вплив, трансформація: матеріали Другої міжнародної наукової конференції*, м. Львів, 26 липня 2024 рік), с.88-95.

56. Хафез Ненсі Махмуд, Ващенко В.М., Антонов А.В., Лоза Є.А., Кордуба І.Б., Перспективи впровадження плазмової технології перероблення небезпечних відходів. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції*, м. Миколаїв, 20–22 вересня 2019 року, с. 119-120.

57. Яковлєва Я.С., Чурилова Т.М. Правове регулювання утилізації медичних відходів в Україні. *Реформування правової системи в контексті євроінтеграційних процесів: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Суми, 23–24 травня 2019 р. Суми: СумДУ, 2019. Ч.1. С. 83-86.

58. Оцінка практики поводження з медичними відходами. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=803-14> (дата звернення 15.09.2025).

59. Літвінова О. В., Посилкіна О. В., Коваленко С. М., Братішко Ю. С., Лісна А. Г. Актуальні проблеми управління медичними відходами в умовах COVID-19 в Україні. URL: DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-11-260-267> (дата звернення 15.09.2025).

61. Яковшина Т.Ф. Адаптація ЄС до змін клімату та стійкі урбоекосистеми: Навчальний посібник. Дніпро: ПДАБА, 2023. 109 с.

62. Сак Т.В., Більо І.О., Ткачук Ю.Е. Еколого-економічні наслідки російсько-української війни. *Економіка та суспільство*, 2022., №38. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-6>

63. Деніфсов Н., Аверін Д. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. К.: ВАІТЕ, 2017. 88 с.

64. Василюк О., Норенко К. Вплив військової діяльності на природу України: посібник - Видавництво «Компанія "Манускрипт"». Львів, 2019. 68с.

65. Негода Н.В., Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Екологічні аспекти оцінки стану урбоекосистем та здоров'я населення. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2024. Вип. 3 (146). С. 66-72.

66. Бібік Н.В. Будівництво як інноваційний підхід до формування сталого розвитку України. *Економіка будівництва і міського господарства економіки*. 2014. № 1. с. 23–29,

67. Велле Б., Лі В., Адріазола К., Кінг Р., Обельхейро М., Сармьєнто К., Лю К.. Міста безпечніші за дизайном. Рекомендації з міського дизайну для більш здорових міст, меншої смертності на дорогах. Інститут світових ресурсів. – 2015. URL: <http://www.wri.org/publication/cities-safer-design> (дата звернення 15.09.2025).

68. К'єза Г., Гроссо М. Параметричний інструмент для оцінки оптимального розташування будівель за екологічними критеріями. *Екологічне будівництво для чистішого довкілля*. 2014. С. 115-129. URL: DOI: 10.1007/978- 3-319-94595-8_11

69. Станкевич В., Тетенцова І., Трахтенгерц Г.А. Дослідження впливу сміттєзвалища твердих побутових відходів на здоров'я та умови проживання населення прилеглих населених пунктів. *Environment & health*. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2023.01.062>

70. Бельорін Еррера О.М., Позднякова Г.О. Аналіз дефініції «здоров'я» в контексті взаємозв'язку людини з оточуючим середовищем. *Педагогіка здоров'я: матеріали V Всеукр. наук.практ. конф., присвяч. 170-річчю з дня народження І. І. Мечникова*, м. Харків, 15 травня 2015 р. Х.: ХНПУ ім. Г. С. Сковороди, 2015. С. 40–43,

71.Еккерт С., Колер С. Урбанізація та здоров'я в країнах, що розвиваються: систематичний огляд. *Охорона здоров'я та народонаселення у світі*. 2014. Том. 15, № 1. Р. 7-20.

72. Гроссо М., К'єза Г., Нігра М. Архітектурний та композиційний аспект середовища для технологічних інновацій у забудованому середовищі. *Спадщина та технології: матеріали XIII Міжнародного форуму «Le vie dei Mercanti»*, м. Аверса та Капрі, 11-13 червня 2015 р. URL: DOI: <http://porto.polito.it/2630705/>.

73. Оке Т.Р., Міллс Г., Крістен А., Вогт Дж.А. Міський клімат. Кембриджське університетське видавництво. 2017. С. 526. URL: DOI: 10.1017/9781139016476

74. Крістіані Ю., Байлес С.І., Тавенер М., Дакдейл П. Чи мають жінки у великих містах кращий стан здоров'я? Порівняння хронічних захворювань та їх факторів ризику серед жінок, які проживають у великих містах та інших містах Індонезії. *Глобал Хелс Екшн*. 2015. том. 8, № 1. Р. 1-9.

75. Rocha L., Thorson A., Lambiotte R. The Non-linear Health Consequences of Living in Larger Cities. *Journal of Urban Health*. 2015. том. 92, № 5. р. 785-799.

76. Бут К. Життя і праця людей у Лондоні. URL: <https://archive.org/details/lifeandlabourpe02bootgoog> (дата звернення 15.09.2025).

77. Балч Є.Г. Рецензія: Карти і документи будинку Халла: Представлення національностей і заробітної плати в перенаселеному районі Чикаго, разом з коментарями та нарисами про проблеми, що впливають із соціальних умов. *Публікації Американської статистичної асоціації*. 1895. том. 4, № 30. р. 201-203.

78. Річардсон Б.В. Сучасна санітарна наука - місто здоров'я. *Еклектичний інженерний журнал*. 1876. № 14. Р. 31-42. URL: <http://urbanplanning.library.cornell.edu/DOCS/rich'son.htm> (дата звернення 15.09.2025).

79. Вілсон В.Х. Рух за красиве місто. Балтимор: Видавництво Університету Джона Хопкінса, 1989. 365 р.

80. Вейд Л.К. Поселенські будинки. Чиказьке історичне товариство. URL: <http://www.encyclopedia.chicagohistory.org/pages/1135.html> (дата звернення 15.09.2025).

81. Хенкок Т., Дюль Л. Сприяння здоров'ю в міському контексті. *Доповіді ВООЗ "Здорові міста" № 1*. Копенгаген, Данія, Видавництво FADL, 1988. 54 р.

82. Chung S., Lee S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. *Journal of environmental management*. 2009. № 90(3). PP.1502- 1511.

83. Climate Change Risk Assessment Guidelines. URL: www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/D4.2%20Climate%20change%20risk%20assessment%20guidelines.pdf (дата звернення 15.09.2025).

84. EU strategy on adaptation to climate change. URL: https://eurocities.eu/resources/eu-strategy-on-adaptation-to-climate-change/?gad_source=1&gad_campaignid=22520641585&gbraid=0AAAAApQ8GpSboeW5zCnxdvTwvYTys7RRC&gclid=Cj0KCQjw3OjGBhDYARIsADd-uX6iRoVB9Gt0dLcDpFH_byTLWohs-fsrRR4E6FaQZGhi-ptN7kA9v3saAt6LEALw_wcB (дата звернення 15.09.2025).

85. Global Energy Outlook: CO₂ Emissions in 2020. URL: <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020> (дата звернення 15.09.2025).

86. Burton I. The growth of adaptation capacity: practice and policy. *Adapting to Climate Change: An International Perspective*. New York: Springer-Verlag, PP. 55-67.

87. Global Energy Outlook: CO₂ Emissions in 2025. URL: <https://about.bnef.com/insights/clean-energy/new-energy-outlook/> (дата звернення 15.09.2025).

88. Holmer B., Thorsson S., Eliasson I. Cooling rates, sky view factors and the development of intra-urban air temperature difference. *Geografiska Annaler. Series A: Physical Geography*. 2007. December. P. 237-248.

89. Huggel C., Scheel M., Albrecht F., Andres N., Calanca P., Jurt C., Khabarov N., Mira-Salama D., Rohrer M., Salzmann N., Silva Y., Silvestre E., Vicuña L., Zappa M. A framework for the science contribution in climate adaptation: experiences from sciencepolicy processes in the Andes. *Environmental Scityce and Policy*. 2015. № 47. P. 80-94. doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.007

90. Вейд Л.К. Поселенські будинки. URL: <http://www.encyclopedia.chicagohistory.org/pages/1135.html> (дата звернення 15.09.2025).

91. Isotopes confirm the dominant role of fossil fuel combustion in increasing levels of atmospheric carbon dioxide. URL: https://api.developmentaid.org/api/frontend/cms/file/2019/11/GHG-Bulletin-15_en.pdf (дата звернення 15.09.2025).

92. Jun K., Chung E., Kim Yo., Kim Ye. A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impact. *Expert systems with applications*. 2013. № 40. P. 1003-1013.

93. Kennedy K., Steinberger J., Gasson B., Hansen Y. ETC. Greenhouse gas emissions from global cities. *Environmental science and technology*. 2009. 43, 19. P. 7297-7302.

94. Brooks S.M., Gochfeld M. Herzstein J., ET all. Environmental medicine. Mosby Co. St. Louis., 1995. 780 pp.

95. Scherrer J.F., Xian H., Shah K.R., et al. Effect of genes, environment and lifetime co-occurring disorders on health- related quality of life in problem and pathological gamblers. *Arch. Gen. Psychiatry*. 2005. 6. 62. 677–683.

96. Samer M. To wards the implementation of the Green Building concept in agricultural buildings: a literature review. *Agricultural Engineering International*. 2013. Vol. 15. № 2. P. 25–46.

97. Sankoh F.P., Xiangbin Yan and Quangyen Tran. Environmental and Health Impact of Solid Waste Disposal in Developing Cities: A Case Study of Granville Brook Dumpsite, Freetown, Sierra Leone. *Journal of Environmental Protection*. 2013. № 4: 665670. <http://doi.org/10.4236/jep.2013.47076>.

98. Дьєз Ру А.В. Здоров'я в містах: чи потрібен системний підхід?// Кадернос де СаудПубліка. 2015. Том. 31, № 1. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2015001300009 (дата звернення 15.09.2025).

99. National adaptation program of action (NAPA) to climate change. Climate change vulnerability mapping for Nepal. Kathmandu: Government of Nepal, Ministry of Environment. 2010. 96 p.

100. Rolbiecki R., Yücel A., Kociecka J., Atilgan A., Markovic M., Liberacki D. Analysis of SPI as a drought indicator during the maize growing period in the Çukurova Region (Turkey). *Sustainability*. 2022. №. 14. 3697. URL: <https://doi.org/10.3390/su14063697>

101. Morrone M., Tres A., Aronin R. Creating effective messages about environmental health. *J. Environ Health*. 2005. №68 (1). P. 41–42

102. Vambol S.O., Vambol V.V., Koloskov V.Yu. and Derkach Yu.F. Prohnozuvannia rivnia bezpeky nesanktsionovanoho smittiezvalyshcha z

vykorystanniam imitatsiinoho modeliuвання. *Ekolohichna bezpeka*. 2016. № 2. P. 51-58

103. Cheng Z., Sun Z., Zhu S. et al. The Identification and Health Risk Assessment of Odor Emissions from Waste Landfilling and Composting. *Sci Total Environ.* 2019. 649. 1038-1044. URL: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.230>.

104. Голубець М. А. Екосистемологія. Львів: Поллі, 2000. 316 с.

105. Кулинич О. Теорія комплексних статистичних коефіцієнтів. *Комплексна статистична оцінка управлінської та господарської діяльності*. 2006. С. 5-11. URL: DOI: 10.5281/zenodo.8030239

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

а) статті в наукових виданнях, внесених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» :

7. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Прогноз змін кліматичних факторів міста Київ та їх вплив на життєвий цикл будівель. *Екологічна безпека та природокористування*. 2022. №43. С.64–72. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.3.64-72>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні впливу кліматичних параметрів на забудову міських кварталів у складних природно-кліматичних умовах.

8. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Формування здоров'яорієнтованого міського простору як спосіб управління ризиками для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2023. №5 (50). С.166-174. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.24>

Особистий внесок здобувача полягає в пропозиції використовувати ряд показників для оцінки ступеня сформованості комфортного та екологічно безпечного середовища для життєдіяльності, встановлено залежність стану здоров'я міського населення від стану забруднення міського середовища.

9. **Негода Н.В.** Вплив урбанізованого середовища на стан здоров'я населення. *Техніка будівництва*. 2024. №40. С. 87-92. URL: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0309>

10. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Екологічні аспекти оцінки стану урбоєкосистем та здоров'я населення. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2024. №3 (146). С.66-72. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2024.3.9>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні стану компонентів міського середовища кількісними показниками оцінки концентрації шкідливих речовин, рівнів шумового, магнітного та радіаційного впливів та зіставлення їх із нормованими параметрами відповідних компонентів довкілля.

11. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Характеристика основних порушень функціонально-планувальної структури урбоєкосистем внаслідок антропогенного навантаження. *Техніка будівництва*. 2025. №42. С.137-145. URL: <https://doi.org/10.32347/tb.2025-42.0516>

Особистий внесок здобувача полягає в оцінці рівня втрати якості міського середовища з надзвичайно високим рівнем фізико-хімічного забруднення атмосфери, шумовим, вібраційним і іншими видами техногенного впливу, а й з появою на території міст кліматичних аномалій.

12. **Негода Н.В.**, Ващенко В.М., Кордуба І.Б., Хафез Ненсі Махмуд. Технологічні та екологічні особливості установок для плазмохімічного піролізу медичних відходів. *Техніка будівництва*. 2024. №40. С.93–108. URL: <https://doi.org/10.32347/tb.2024-40.0310>

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі особливостей методів спалювання медичних відходів, продемонстровано, що плазмодугові технології та технології плазмохімічного піролізу є добре перевіреними і комерційно привабливими для їх застосування.

б) статті у закордонних виданнях

7. **Nehoda N.**, Vashchenko V., Korduba I., Hafez N. Engineering and physical basis for the design and development of plasma-chemical reactors for mobile medical waste disposal units. *Open Ecological Journal*. 2024. №14 (9). P. 651-662. URL: [DOI: 10.4236/oje.2024.149037](https://doi.org/10.4236/oje.2024.149037)

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні основних інженерно-фізичних параметрів плазмохімічних реакторів для мобільних установок призначених для утилізації медичних відходів.

22. **Nehoda N.**, Vashchenko V., Korduba I., Hafez N., Tsybitovskiy S., Trach Y. Engineering and physical bases and environmental safety of

plasmochemical disposal of hazardous medical waste. *Acta Sci. Pol. Architectura*. 2024. № 24 (1). P.16–27. URL: <https://doi.org/10.22630/ASPA.2025.24.2>

Особистий внесок здобувача полягає в описі конструкції, принципу роботи, інженерних та фізичних принципів створення установки «Плазмон-3», призначеної для утилізації будь-якого типу та категорії медичних відходів шляхом їх знищення під дією високотемпературного плазмового нальника.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

23. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Будівельні матеріали та технології зниження забруднення навколишнього середовища в контексті змін клімату. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем: колективна монографія; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астроя», 2022. С.16-24. (ISBN: 978-617-7915-85-9). URL: https://www.researchgate.net/publication/367520848_Zahist_i_vidnovlenna_ekologicnoi_rivnovagi_ta_zabezpecenna_samovidnovlenna_ekosistem_Protecting_and_restoring_ecological_balance_and_ensuring_self-renewal_of_ecosystems

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі технологій зниження забруднення навколишнього середовища в контексті змін клімату

24. **Nehoda N. V.**, Zhukova O., Korduba I. B. Urban vulnerability to climate change and the methodology for assessing their vulnerability. Захист і відновлення екологічної рівноваги та забезпечення самовідновлення екосистем: колективна монографія; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава: Видавництво ПП «Астроя», 2023. С. 242-250. (ISBN 978-617-8231-31-6). URL: https://www.researchgate.net/profile/Tetiana-Chaika-3/publication/375598510_Vidnovlenna_prirodno-resursnogo_potencialu_ta_stijkosti_ekosistem_Restoration_of_natural_resource_potential_and_sustainability_ecosystems/links/65520e7f3fa26f66f4fdcc31/Vidnovlenna-prirodno-resursnogo-potencialu-ta-stijkosti-ekosistem-Restoration-of-natural-resource-potential-and-sustainability-ecosystems.pdf

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методології оцінки вразливості міст до кліматичних змін.

25. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Вплив клімату урбанізованої території та основні параметри забудови. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2023. №65. с.119-128. URL: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.119-128>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні організації урбанізованої території, впливу зміни кліматичних параметрів на будівлі та споруди, забруднення антропогенного та природного характеру.

26. **Негода Н.В.**, Волошкіна О.С., Гончаренко А.В., Жукова О.Г. Забруднення атмосферного повітря аерозольними частинками в світі і Україні, їх вплив на клімат і здоров'я. *Екологічна безпека держави: тези доповідей Другого всеукраїнського круглого столу* (м. Київ, 2022 р.), с.20-24. URL: https://itta.org.ua/wp-content/uploads/2022/01/ekologichna_bezpeka_derzhavi_tezi_dopovidej_drugo_go_vseukra%D1%97nskogo.pdf

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні впливу аерозольних частинок на здоров'я населення урбоекосистем.

27. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Роль будівель у контексті подолання наслідків зміни клімату. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: матеріали VII Міжнародного конгресу*, м. Київ, 2022 р., с. 86. URL: <https://science.lpnu.ua/uk/ekokongres-2024/zbirnyky-tez-2012-2022-rr>

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні ролі будівель та споруд у контексті ефективного подолання наслідків зміни клімату.

28. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Вплив змін клімату на життєвий цикл будівель. *Екологія. Ресурси. Енергія. Багатофункціональні еко- та енергоефективні, ресурсозберігаючі технології в архітектурі, будівництві та суміжних галузях: робоча програма та тези доповідей III-ї міжнародної науково-практичної конференції*, м. Київ, 2022р. с.14-15. URL:

https://www.researchgate.net/publication/372779809_ERE-2022_Roboca_programa_ta_tezi_dopovidej_III-i_miznarodnoi_naukovo-prakticnoi_konferencii_Ekologia_Resursi_Energia_Bagatofunkcionalni_eko_-ta_energoefektivni_reursozberigaucci_tehnologii_v_arhitektur

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу впливу кліматичних факторів на життєвий цикл будівель.

29. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Фактори зміни кліматичних параметрів, які пов'язані із розвитком урбанізованої території. *International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2022»*, м. Київ, 2022 р., с.107-108. URL: https://drive.google.com/file/d/1bdS399kcf280b39UYVG3xFQlbPHy5Ht_/view

Особистий внесок здобувача полягає в визначенні основних кліматичних параметрів, які мають суттєвий вплив на розвиток урбоекосистем.

30. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. (2022) Причинно-наслідкова залежність негативного впливу кліматичних факторів на урбанізовану територію та здоров'я населення. *Матеріали VIII Міжнародного Молодіжного Конгресу*, м. Львів, 2022 р., с. 76. URL: <https://science.lpnu.ua/uk/ekokongres-2022/molodizhnyy-kongres-2022>

Особистий внесок здобувача полягає в оцінці причинно-наслідкових залежностей впливу кліматичних факторів на здоров'я населення

31. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. Оцінка впливу екологічного стану урбоекосистеми на здоров'я населення та якість життя. *Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції*, м. Київ, 2023 р., с.119-121.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні екологічного впливу стану урбоекосистем та його вплив на стан здоров'я населення.

32. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г. (2023) Задоволеність населення територією проживання, як фактор розвитку та формування екологічно безпечного міського середовища. *«Green Construction» («Зелене будівництво»):*

матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 2023 р., с. 354-356. URL:

https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/30/greenconst_2_23.pdf

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні рівня задоволеності населення територією проживання.

33. **Негода Н.В.**, Кордуба І.Б., Жукова О.Г. Оцінка екологічного стану територій за допомогою ГІС-технологій. *Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді: матеріали II Всеукраїнської наукової конференції студентів та молодих вчених*, м. Луцьк, 2023 р., с. 114-117.

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні ефективності використання ГІС-технологій для оцінки екологічного стану території

34. **Негода Н.В.**, Кордуба І.Б., Жукова О.Г. Аспекти оцінки екологічного стану урбанізованих територій. *Євроінтеграція екологічної політики України: матеріали П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції*, м. Одеса, 2023 р., с. 139-140.

URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/12264/>

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні основних аспектів оцінки екологічного стану урбоекосистем.

21. **Негода Н.В.** Вплив будівельної галузі на довкілля. *Екологічна безпека держави: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*, м. Київ, 2023 р. Том 17, с. 81-82.

22. Voloshkina O., Efimenko V., Chornomordenko I., Zhukova O., Kaliukh I., **Nehoda N.** (2023) Geotechnical monitoring of the soil deformations influence on the post office building museum in the compacted urban development conditions. Fourth EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities. Lviv, 2023.

URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023500001> (SCOPUS)

Особистий внесок здобувача полягає у оцінці впливу ущільненої міської забудови на стан будівель

23. Voloshkina O., Efimenko O., Sipakov R., **Nehoda N.**, Sviatohorov I.,

Shcherbakova O. (2023) Geodetic monitoring of the pit enclosure soil violations during the office center construction in Kyiv. XVII International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”. Kyiv, 2023. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520057> (SCOPUS)

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні ефективності моніторингу для формування міського простору

24. **Негода Н.В.** Критерії формування здоров'яорієнтованого міського середовища. *Grundlagen Der Modernen Wissenschaftlichen Forschung: матеріали міжнародної конференції*, Schweiz «BOLESWA Publishers», Ukraine «UKRLOGOS Group». Zürich, 2024 p., с. 173-177.

25. **Негода Н.В.**, Жукова О.Г., Кордуба І.Б. Еколого-гігієнічна оцінка факторів ризику для здоров'я населення урбоекосистем. *Технології та суспільство: взаємодія, вплив, трансформація: матеріали II Міжнародної наукової конференції*, м. Львів, 2024 p., с. 96-98.

Особистий внесок здобувача полягає у висвітленні методики еколого-гігієнічної оцінки для визначення ризиків

26. **Негода Н.В.** (2024) Соціально-екологічні проблеми великих міст та шляхи їх вирішення. «*Green Construction*»: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 2024p., с. 253-256. URL:https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj-4.pdf

28. **Негода Н.В.**, Кордуба І.Б., Ващенко І.В.(2025) Аналіз особливостей поводження з небезпечними медичними відходами в умовах війни в Україні: матеріали наукової конференції, м. Київ, 2025 p. с. 108-115.

Особистий внесок здобувача полягає у зборі моніторингових даних та їх аналізі.

29. **Негода Н.В.**, Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Методика визначення вуглецевого відбитку споруд очистки стічних вод: методичні рекомендації до виконання індивідуального завдання. Київ: КНУБА, 2023. 28 с.

URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/452b0050-681a-49af-8a7a-21177d7ae807/download>

31. Негода Н.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Методика визначення вуглецевого сліду від закису азоту процесу очистки стічних вод: методичні рекомендації до виконання індивідуального завдання. Київ: КНУБА, 2023.

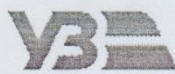
12с. URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/452b0050-681a-49af-8a7a-21177d7ae807/download>

32. Негода Н.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Екологічне управління та планування в зеленому будівництві: методичні рекомендації до виконання практичних завдань. Київ: КНУБА, 2023. 44 с. URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/245b8a6d-2a6d-4253-9792-b0289fb53809/download>

33. Негода Н.В., Волошкіна О.С., Жукова О.Г. Стратегія сталого розвитку будівельної галузі в умовах кліматичних змін: методичні рекомендації до виконання практичних завдань. Київ: КНУБА, 2023. 32с. URL:<https://repository.knuba.edu.ua/bitstreams/11ea1a55-def0-4318-9377-50049c758ccf/download>

34. Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Негода Н.В., Старжинський П.С. Екологія людини: методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологія людини» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 «Екологія» у 2-х частинах (ч.1). Київ: КНУБА, 2025. 27 с.

35. Жукова О.Г., Кордуба І.Б., Негода Н.В., Старжинський П.С. Екологія людини: методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Екологія людини» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 «Екологія» у 2-х частинах (ч.2). Київ: КНУБА, 2025. 27 с.



АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»
 ФІЛІЯ «ЦЕНТР ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я»
 КИЇВСЬКА КЛІНІЧНА ЛІКАРНЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ №1
 01054, м. Київ, вул. М. Коцюбинського, 8а, тел.: (044) 465-17-04, факс: (044) 465-17-01
 E-mail: sekretar_dkl@sw.uz.gov.ua СДРПО 40081352

Довідка
 про передавання результатів дисертаційного дослідження
Негоди Назарія В'ячеславовича
«Управління медичними відходами з використанням мобільних
плазмових технологій»
 на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Цю довідку видано про те, що науково-технічні результати дисертаційного дослідження Негоди Назарія В'ячеславовича «Управління медичними відходами з використанням мобільних плазмових технологій» було передано для впровадження в роботу Київської клінічної лікарні на залізничному транспорті №1 Філії "Центр охорони здоров'я" АТ "Українська залізниця".

Результати дослідження дозволили розробити СОП (Стандартна Операційна Процедура) у відповідності до наказу Міністерства охорони здоров'я України 31 жовтня 2024 року № 1827 «Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Порядок управління медичними відходами, у тому числі вимоги щодо безпечності для здоров'я людини під час утворення, збирання, зберігання, перевезення, оброблення таких відходів» - в частині правильного поводження з медичними відходами та ефективно утилізувати медичні відходи, що дозволить мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Це дозволить безпечно управляти (збирати, зберігати та утилізувати) медичними відходами під час проведення планової діяльності Київської клінічної лікарні на залізничному транспорті №1 Філії "Центр охорони здоров'я" АТ "Українська залізниця" та аналогічних організацій.

Генеральний Директор
 Київської клінічної лікарні на залізничному
 транспорті №1 Філії "Центр охорони здоров'я"
 АТ "Українська залізниця"



Ірина ПИЛИПЕНКО



МОН
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

просп. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037
тел.: +38 (044) 241-55-80,
e-mail: knuba@knuba.edu.ua,
web: knuba.edu.ua
ЄДРПОУ 02070909

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження

Негоди Назарія В'ячеславовича

«Управління медичними відходами з використанням мобільних
плазмових технологій»

Даний акт складений про те, що методичні розробки дисертаційної роботи Негоди Назарія В'ячеславовича за темою «Управління медичними відходами з використанням мобільних плазмових технологій» впроваджено в навчальний процес при підготовці студентів спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» зокрема при викладанні дисциплін «Екологія людини», «Біотехнології», «Екологія та безпека життєдіяльності», «Екологічна безпека технологій виробництва та сучасні методи контролю параметрів об'єктів довкілля».

Даний акт не є підставою для будь-яких матеріальних зобов'язань, зокрема одержання премій та інших винагород.

Проректор

з навчально-методичної роботи



Андрій ШПАКОВ

**ТОВ «Бюро інвестиційних проектів –
проектний менеджмент»**



03151 м. Київ, вул. Народного Ополчення, 1; місцезнаходження: 01025 вул. Воздвиженська, 52-54а,
тел. 591-33-47, E-mail: bip@bippm.com

«18» вересня 2025 р.
Вих. № 20

**Ректору Київського національного
університету будівництва і архітектури
доктор юридичних наук
Олексію Дніпрову**

**ЛИСТ ПІДТРИМАННЯ
результатів дисертаційного дослідження
на тему «Управління медичними відходами з використанням мобільних
плазмових технологій» аспіранта Негоди Назарія В'ячеславовича
на здобуття наукового ступеня доктора філософії**

Шановний Олексію Сергійовичу!

Повідомляємо, що науково-технічні результати дисертаційного дослідження Негоди Назарія В'ячеславовича на тему «Управління медичними відходами з використанням мобільних плазмових технологій» були передані та розглянуті при проектуванні будівель та споруд компанією ТОВ «Бюро інвестиційних проектів – проектний менеджмент», що дозволить забезпечити формування безпечного для людини міського середовища.

З повагою,
Директор



Пархоменко О. В.



УКРАЇНА ТОВ «УКРЖИТЛОПРОЕКТ»

Юридична адреса: 03186, Київ-186, вул. Авіаконструктора Антонова, 5, к.510.
Поштова адреса: 03186, Київ-186, а/с №65.
тел.: 531-34-03. E-mail: ZHILPRO@UKR.NET, [https:// ZHILPRO.COM.UA](https://ZHILPRO.COM.UA)

№ 89 від 15.09.2025р.

Ректору Київського національного
університету будівництва і
архітектури
доктор юридичних наук
Олексію Дніпрову

ЛИСТ ПІДТРИМАННЯ
результатів дисертаційного дослідження
Негоди Назарія В'ячеславовича
«Управління медичними відходами з використанням мобільних плазмових
технологій»
на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Вельмишановний Олексію Сергійовичу!

Повідомляємо, що науково-технічні результати дисертаційного дослідження Негоди Назарія В'ячеславовича «Управління медичними відходами з використанням мобільних плазмових технологій» були передані та розглянуті задля подальшої діяльності ТОВ "УКРЖИТЛОПРОЕКТ".

Результати досліджень дозволять забезпечити формування безпечного здоров'яорієнтованого міського середовища, архітектура якого дозволить забезпечувати відновлювальний екологічний баланс між природними елементами та інфраструктурними потребами, надаючи мешканцям можливість жити в комфортних, безпечних і екологічно чистих умовах

Директор ТОВ «Укржитлопроект»



Федір ТОРОПЦЕВ

Додаток В

**Сертифікат відповідності на установку для плазмо-дугового нагріву,
деструкції та утилізації промислових відходів на базі вітчизняного
генератора плазми ПУН-1**

 ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України		МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ «СЕПРОЗ» НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ (ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України) Орган з сертифікації продукції та систем якості в галузі зварювального та споріднених виробництв	
СЕРТИФІКАТ ВІДПОВІДНОСТІ СЕРТИФІКАТ СООТВЕТСТВИЯ/CERTIFICATE ON CONFORMITY		 1999 ДСТУ EN ISO/IEC 17065	
Зареєстровано в реєстрі ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України за № <u>UA.10350.0000-2020</u> Зареєстрований в реєстрі ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України под № Registered at the Record of SE-STA «SEPROZ» of the NAS Ukraine under №			
Термін дії з <u>28.08.2020 р.</u> до <u>30.08.2021 р.</u> Срок действия/Term of validity is from			
Продукція Продукция/ Product	Установка ПУ 11-1 для плазменно-дугового нагріву, деструкції та утилізації промислових відходів (в кількості один комплект, зав. № 01/2020)		8515 мг УКТ ЗЕД, ТН ЗЕД 29.40.60 мг ДУП, ОКП
Відповідає вимогам Соответствует требованиям/ Comply with the requirements	Норми 8-95, ДСТУ EN 50063:2004, ДСТУ ISO 14744-1:2000, ДСТУ EN 50240:2009, ДСТУ EN 60974-1:2004, ДСТУ ІЕС 60974-3, ДСТУ ІЕС 60974-10:2016, ДСТУ ІЕС 60245-6:2005, НРБУ-97 ДГН 6.6.1-6.5.001-98 (табл. 5.1, категорія «А»-персонал), ОСПЗРБУ (п. 11.18 СПУ 6.177-2005-09-02)		
Виробник (и) Производитель (и)/ Producer (s)	ТОВ Науково-технічний центр «Неотехнологія» - 03028, м. Київ, Дмитріївська, 35-Б, код ЄДРПОУ 42921490		
Сертифікат видано Сертификат выдан/ Certificate is issued to	ТОВ Науково-технічний центр «Неотехнологія» - 03028, м. Київ, Дмитріївська, 35-Б, код ЄДРПОУ 42921490		
Додаткова інформація Дополнительная информация/ Additional information	Установка ПУ 11-1 для плазменно-дугового нагріву, для деструкції та утилізації промислових відходів (в кількості один комплект, зав. № 01/2020, виготовлено в 2020 р.)		
Сертифікат видано органом з сертифікації Сертификат выдан органом сертификации/ Certificate is issued by the certification body	ДП НТЦ «СЕПРОЗ» НАН України, 03680, МСП, м. Київ-150, вул. Боженко, 11, тел. 200-91-69, 205-21-35		
На підставі На основании/ On the grounds of	Випробування в ВЛ ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, 03680, МСП, м. Київ-150, вул. Боженко, 11, протокол випробувань № 1, № 2, № 3, № 4 від 25.08.2020 р.. Висновок № 002/19 від 28.08.2020 р.		
Керівник органу з сертифікації Руководитель органа сертификации/ Head of the certification body		Л.М. Лобанов (підпис, прізвище, ініціали, функція) (signature, family, name)	

Головні метрологічні характеристики вимірювального обладнання**1. Загальні характеристики спектрометра FT-801**

FT-801 є потужний і багато профільний спектрометр, який підходить для широкого асортименту досліджень в екології, в науці та промисловості. Інтерферометр побудований за схемою «подвійне котяче око». Він має широкий інфрачервоний (ІЧ) спектральний діапазон $470\text{--}5700\text{ см}^{-1}$ (ближня і середня ІЧ-області), з можливістю розширення до 8500 см^{-1} , забезпечуючи при цьому вибірку високої роздільної здатності від 8 см^{-1} до 0.5 см^{-1} за вибором, стабілізовану оптичну платформу, великий асортимент підтримувальних типів зразків - тверді, рідкі, газоподібні. FT-801 здатен працювати без порівняльного зразка, ідентифікувати речовини та виконувати як якісний, так і кількісний аналіз. , багато додаткових розширень його застосування за допомогою спеціальних модулів та адаптерів, сучасне програмне забезпечення для спектрального аналізу.

Габаритно-масові характеристики: $550 \times 300 \times 200$ мм, вага до 16 кг.

Комплексне програмне забезпечення: в комплекті — ПЗ ZaIR 3.5, яке підтримує реєстрацію та обробку спектрів, експорт форматів (JCAMP, SPC, ASCII), пошук у спектральних базах, створення власних баз, кількісний аналіз, автоматичну перевірку калібрування.

Точність вимірювань на інтерферометрі FT-801 визначається високим його відношенням сигнал/шум: $\geq 40\,000$ в спектральному інтервалі $2000\text{--}2200\text{ см}^{-1}$ за 1 хвилю при роздільній здатності 4 см^{-1}

При цьому якість калібрування результатів вимірювань та еталонів визначається якістю сертифікованих калібрувальних сумішей і частота калібрування які сильно впливають на точність вимірювань — складові частини похибок можуть залежати від якості роботи витратомірів, якості газових змішувачів тощо.

Таблиця Г.1

Очікувані значення межі виявлення (LOD) мінімальної концентрації речовини, яку прилад може надійно зафіксувати (*Limit of Detection*) і орієнтовної невизначеності для витяжного FT-IR (МСТ) (перетворення ppm → mg/m³ виконане при 25 °C, 1 atm, де 1 ppm = MW / 24.45 mg/m³)

Аналіт	Типовий LOD (ppm) — МСТ (орієнтир)	LOD в mg/m ³ (1 ppm → значення)	Орієнтовна відносна невизначеність АУі (%)
HCl	0.02 – 0.10 ppm	1 ppm HCl = 1.491 mg/m ³ → 0.03 – 0.15 mg/m ³	≈ 5–15% (до 20–30% у поганих умовах)
HF	0.02 – 0.20 ppm	1 ppm HF = 0.818 mg/m ³ → 0.016 – 0.164 mg/m ³	≈ 5–20% (залежить від трасування/корозії/підготовки проб)
SO ₂	0.1 – 1.0 ppm	1 ppm SO ₂ = 2.620 mg/m ³ → 0.26 – 2.62 mg/m ³	≈ 5–15% (короткий шлях/інтерференції підвищують похибку)
NO (і NO ₂)	NO: 1.0 – 2.0 ppm; NO ₂ : 0.5 – 2.0 ppm	1 ppm NO = 1.227 mg/m ³ → NO: 1.23 – 2.45 mg/m ³ ; 1 ppm NO ₂ = 1.882 mg/m ³ → NO ₂ : 0.94 – 3.76 mg/m ³	≈ 5–20%; сильні матричні інтерференції (H ₂ O, CO ₂) — впливають
CO	0.5 – 3.0 ppm	1 ppm CO = 1.146 mg/m ³ → 0.57 – 3.44 mg/m ³	≈ 5–15% (у низьких концентраціях — більша)

Аналіт	Типовий LOD (ppm) — МСТ (орієнтир)	LOD в mg/m ³ (1 ppm → значення)	Орієнтовна відносна невизначеність AU _i (%)
Фурани (PCDD/P CDF)— (діок- сини/фу- рани)	FT-IR: неадекватно/нечут- ливо (НЕ рекомендується)	Для регуляторних потреб: HR- GC/HRMS → LOD у pg/m ³ (піко- грам/м ³). Типові результати дослі- джень: сумарні концентрації PCDD/F у повітрі/викидах — оди- ниці → десятки pg/m ³ ; MDL/LOQ залежать від об'єму проб. well- labs.com ResearchGate	

Примітки до таблиці: LOD - межа виявлення, мінімальна концентрація речовини, яку прилад може надійно зафіксувати (*Limit of Detection*); ppm - частини на мільйон (*parts per million*); МСТ - у випадку газоаналітики та екологічного моніторингу означає максимальний пороговий рівень забруднювача (*Maximum Contaminant Threshold*) — орієнтир для порівняння з нормативами; мінімальний поріг концентрації (*Minimum Concentration Threshold*) - значення близьке до LOD яке використовується як орієнтир у токсикології й аналізах.

Додаток Д

Досвід і рекомендації для практичного впровадження плазмохімічних установок в системах поводження з НМФВ

Регламентні гранично допустимі значення викидів (ГДК) для вихлопних димових сумішей при спалюванні небезпечних медичних та фармацевтичних відходів в реакторах плазмо-хімічних установок для термічної/термохімічної переробки. Конкретні настанови/ліміти на в кожній країні можуть відрізнятися між собою. Наприклад, у таблиці наведено значення ELV (Emission Limit Values), що широко застосовуються для спалювальних або перероблюючих відходи установок.

Концентрація викиду в димовій суміші на виході із димової труби ELV (Emission Limit Value) не є гранично допустимою концентрацією «ГДК для населення» яка є гігієнічним нормативом у атмосферному повітрі для населення або для персоналу у виробничих зонах. Тут наведено викидні ліміти, які зазвичай застосовують при преробленні або спалюванні відходів.

В плазмових електродугових реакторах склад вихлопних димових сумішей може дуже змінюватися, наприклад, в сторону підвищення вмісту HCN, NO_x, і утворювати нові нестандартні леткі речовини. Тому при дослідженні проб потрібно ураховувати технічні параметри плазмової установки.

Наприклад, небезпечні фурані і діоксини навіть при плазмовій термічній деструкції залишкові новоутворені сполуки можуть утворюватись при охолодженні газу і для їх контролю використовуються специфічні методи для яких Фур'є спекторметрія не підходить.

При проєктуванні плазмових реакторів в ЄС-орієнтованій практиці для гарантій високої екологічної безпеки, особливо для HCl, HF та діоксинів слід закладати ELV не гірші за IED/WID.

Нижче представлено порівняльну таблицю ELV з національними нормами України для основних компонентів, таких як фурані, HCl, HF, SO₂, NO_x, CO, пил, Hg, тощо В цій таблиці можна бачити, які українські норми є жорсткішими або м'якшими в порівнянні з європейськими [Наказ

Мінприроди №309 (2006) (із таблицями нормативів) - «Нормативи граничнодопустимих викидів із стаціонарних джерел» (табл. для пароподібних/газоподібних сполук) та з новіших матеріалів і інструкцій Міндовкілля що стосуються встановлення нормативів для спалювання відходів.

На основі даних таблиці Д.1. можна зробити практичні висновки про те, що в Україні базові нормативи (Наказ №309, 2006) часто значно м'якші, ніж EU ELV для спалювальних установок і особливо для SO_2 , NO_x , CO , Hg . А для таких речовин як HF , HCl , хлорсодержачі сполуки у Наказі №309 наведено конкретні mg/m^3 , наприклад у таблиці $\text{HF} \approx 5 \text{ mg/m}^3$, але класифікація й значення визначаються «класом небезпеки».

Окремі такі нові документи Міндовкілля як, наприклад, проектні таблиці для спалювання відходів мають більш жорсткі поточні норми і тому їх доцільніше використовувати при проєктуванні та ліцензуванні плазмових реакторів для НМФВ [Матеріали Міндовкілля -проектні таблиці для медвідходів).

Не дивлячися на відсутність у Наказі №309 явного ng-ELV , для діоксинів та фуранів міжнародна практика дає значення рівне 0.1 ng/m^3 і до цього значення повинні прагнути сучасні спалювальні, плазмохімічні та інші установки.

При відсутності в Україні чіткої норми для конкретної сполуки — необхідно погоджувати викидний ліміт у екологічному дозволі на експлуатацію установки [Матеріали/таблиці Міндовкілля щодо нормативів для установок спалювання (оперативні/півгодинні нормативи для установок спалювання відходів) — проєктні/оновлені таблиці, drs.gov.ua]. При цьому слід орієнтуватися на EU Waste Incineration Directive/IED/WI-BREF (BAT) типові ELV: наприклад, для діоксину 0.1 ng/m^3 ; $\text{HCl} \approx 10 \text{ mg/Nm}^3$; $\text{HF} \approx 1 \text{ mg/Nm}^3$; $\text{SO}_2/\text{NO}_x/\text{CO}/\text{TOC}/\text{PM}$, відповідно).

Таблиця Д.1

Порівняльна таблиця гранично допустимих викидів (ELV) для установок спалювання відходів: ЄС та Україна

Назва продукту	ЄС - Типова ELV	Україна — офіційні національні нормативи (джерело)
Пил / TSP (викид)	10 mg/Nm ³ (нові сучасні установки; часто 20–50 для старих)	50 mg/m ³ (для джерел з масовою витратою >500 g/h — Наказ №309); для деяких випадків встановлено 150 mg/m ³ (менші витрати). Для установок спалювання відходів є також півгодинні/оперативні нормативи (наприклад, 30 / 10 mg/m ³ у проектних таблицях Міндовкілля для спалювання)
HCl (хлороводень)	10 mg/Nm ³ (WID/IED для багатьох випадків)	У таблицях №309 хлор/сполуки хлору виділені окремо: для пароподібних/газоподібних сполук хлору — залежно від класу та масової витрати ліміти 5 mg/m ³ (клас II) або 30 mg/m ³ (клас III для інших умов). У документах Міндовкілля для спалювання відходів згадується приведення викидів у перерахунку на хлористий водень з окремими (жорсткішими) значеннями для установок спалювання (див. таблиці дозволів)
HF (фтороводень)	1 mg/Nm ³ (або 1–5 mg/Nm ³ залежно від категорії; EU BREF визначає жорсткі ліміти)	У Наказі №309 — «Фтор і його пароподібні та газоподібні сполуки (в перерахунку на фтористий водень)» — 5 mg/m ³ (таблиця для паропод./газопод. сполук, клас II). Для установок спалювання у деяких новіших проектних таблицях Міндовкілля ставляться жорсткіші значення

Назва продукту	ЄС - Типова ELV	Україна — офіційні національні нормативи (джерело)
SO ₂ (діоксид сірки)	50 mg/Nm ³ (поширене ELV для нових установок — залежить від типу)	Наказ №309 дає для діоксиду сірки значення 500 mg/m ³ (для певних величин масової витрати — таблиця 4, клас IV). У проєктних/сучасних нормативних довідниках для спалювання відходів Міндовкілля в окремих таблицях приводить інші (частіше жорсткіші) значення для конкретних дозволів; але базовий держ. норматив (№309) — значно м'якший, ніж EU ELV
NO _x (як NO ₂)	200 mg/Nm ³ (поширений ELV, варіює)	Наказ №309 — для оксидів азоту (оксид і діоксид азоту у перерахунку на діоксид азоту) в таблиці стоїть 500 mg/m ³ (клас IV — для великих масових витрат). У проєктних нормах для установок спалювання є варіанти жорсткіші (див. документи Міндовкілля щодо конкретних дозволів)
CO (оксид вуглецю)	50 mg/Nm ³ (типово ELV)	Наказ №309: оксид вуглецю — 250 mg/m ³ (в таблиці для класу IV / великих витрат). У проєктних документах для установок спалювання (модульні табличні значення Міндовкілля) наведені кориговані/оперативні величини (наприклад, середні за пів години)
Ртуть (Hg)	EU ELV за Hg для таких установок часто 0.05 mg/Nm ³	Наказ №309 (табл. 1 для класу I токсичних металів): при масовій витраті ≥1 g/h ртуть — 0.2 mg/m ³ (помітно вищий, ніж EU ELV). Для окремих дозволів Міндовкілля можуть встановлювати жорсткіші значення

Назва продукту	ЄС - Типова ELV	Україна — офіційні національні нормативи (джерело)
	(BREF/IED залежно від категорії)	
Діоксини / фу- рани (PCDD/PCDF, I- TEQ)	0.1 ng I-TEQ / Nm ³ @11% O ₂ (EU WID/IED / BAT- AEL). Це звична ці- льова/регуляторна межа для сучасних установок спалю- вання відходів	У Наказі №309 PCDD/PCDF явно не деталізовані у вигляді ng-рівня; в українській практиці питання діоксинів зазвичай вирішують додатковими вимогами у дозволах або керуючись міжнародними рекомендаціями (для регуляторного контролю застосовують методики відбору і HR-GC/HRMS). Рекомендую застосовувати 0.1 ng I-TEQ/Nm ³ як цільовий орієнтир для забезпечення відповідності міжнародним практикам (і вказувати в дозвільній документації)
Фурани (як ком- понент PCDD/PCDF)	як вище (I-TEQ сума- рно з діоксинами)	Українські таблиці не дають окремого «фуранового» ELV у ng-масштабі; контроль — лабораторними методами (HR-GC/HRMS)

Додаток Е

Кліматична характеристика м. Київ

Таблиця Е.1

Осереднена середня місячна і річна температура повітря м. Києва за досліджуваний період

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Середня	-5,6	-4,2	0,7	8,7	15,2	18,2	19,3	18,6	13,9	8,1	2,1	-2,3	7,7
Середнє квадра- тичне відхилення	3,9	3,3	3	1,9	1,9	1,7	1,4	1,2	1,5	1,5	2	2,3	1
Найбільш низька	-15	-15,9	-6,9	2	10,4	13,9	16,9	15,5	10,2	2,2	-6	-11,9	5,1
Рік	1942	1929	1942	1929	1919	1887	1935, 1979	1884, 1926	1894	1920	1993	1890	1942
Найбільш висока	2,7	3,7	6,9	12,9	19,4	22,6	25,5	24,6	18,4	12,4	8	2,8	9,9
Рік	2007	2002	1990	1950	2003	1999	1936	2010	1909	1935	2010	1960	2007

Таблиця Е.2

**Відхилення від норми середньої місячної температури повітря та місячної кількості опадів у Києві за досліджуван-
ний період**

Характеристика		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Середня місячна температура повітря (°C)	норма (1961-1990)	-5.6	-4.2	0.7	8.7	15.2	18.2	19.3	18.6	13.9	8.1	2.1	-2.3	7.7
	2020	0.8	2.5	6.5	9.9	12.4	21.7	21.9	21.4	18.4	12.5	3.8	-0.5	10.9
	відхилення	6.4	6.7	5.8	1.2	-2.8	3.5	2.6	2.8	4.5	4.4	1.7	1.8	3.2
Місячна кількість опадів (мм)	норма (1961-1990)	48	46	39	49	53	73	88	69	47	35	51	52	650
	2020	21	46	15	39	122	49	47	31	31	101	30	48	580
	відхилення	-27	0	-24	-10	69	-24	-41	-38	-16	66	-21	-4	-70

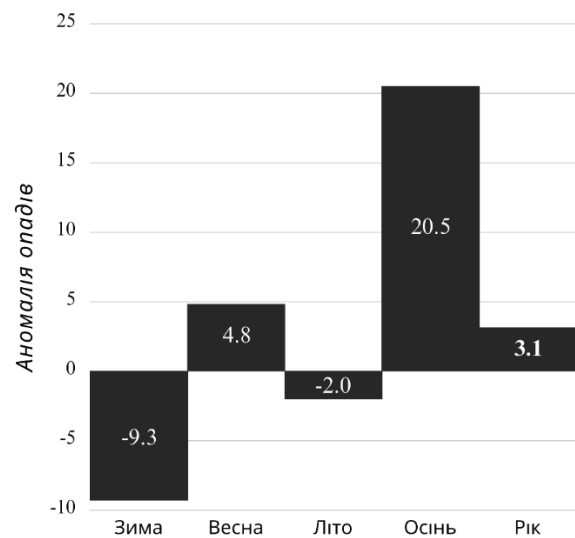


Рис. Е.1. Перерозподіл опадів по сезонах порівняно з кліматичною нормою. Джерело: авторська розробка

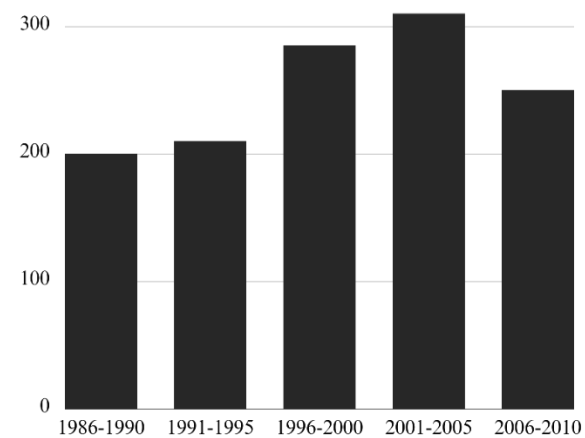


Рис. Е.2. Динаміка кількості випадків дуже сильного дої
рело: авторська розробка

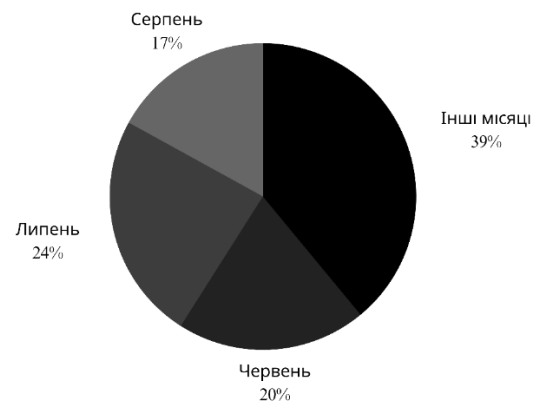


Рис. Е.3. Повторюваність дуже сильних дощів для території України в різні місяці
Джерело: авторська розробка

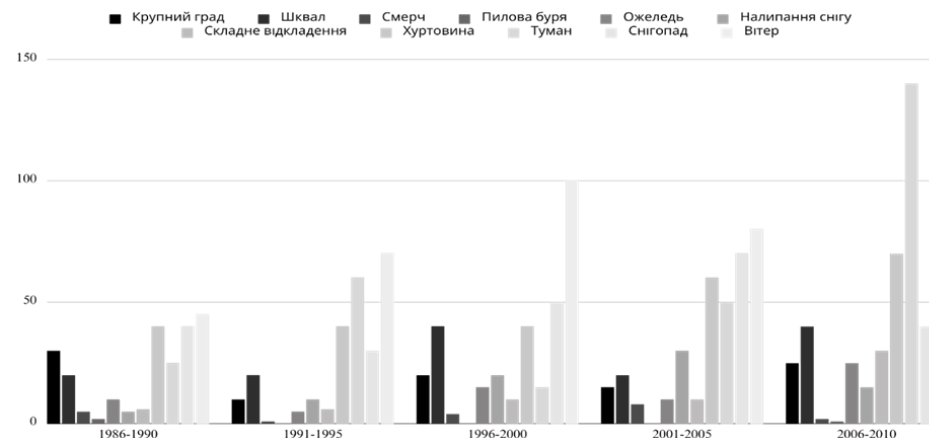


Рис.Е.4. Динаміка кількості випадків стихійних метеорологічних явищ
Джерело: авторська розробка

Таблиця Е.3

Проекція змін середньомісячних температур по регіонах у 2011–2030 рр. відносно 1991–2010 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Пн	0,17	0,01	-0,25	0,24	0,37	0,71	0,59	0,65	0,61	0,58	0,65	1,08	0,45
Зх	0,32	-0,03	-0,20	0,21	0,31	0,43	0,56	0,70	0,79	0,56	0,46	0,80	0,41
Центр	0,16	-0,01	-0,21	0,28	0,40	0,66	0,64	0,56	0,63	0,49	0,54	1,10	0,44
Сх	0,30	0,06	-0,30	0,36	0,45	0,84	0,69	0,52	0,50	0,49	0,79	1,28	0,50
Пд	0,07	-0,02	-0,09	0,36	0,43	0,63	0,65	0,51	0,73	0,39	0,48	1,01	0,43
Україна	0,20	0	-0,20	0,28	0,39	0,64	0,62	0,59	0,67	0,50	0,57	1,04	0,44

Таблиця Е.4

Проекція змін середніх місячних сум опадів (%) по регіонах у 2011–2030 рр. відносно 1991–2010 рр.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Пн	18	6	19	16	6	0	-4	-6	-3	-5	14	19	7
Зх	26	12	18	9	12	11	7	-4	1	-5	13	15	9
Центр	16	0	21	26	3	1	-3	-15	0	-11	4	12	5
Сх	22	9	17	21	-1	16	8	-13	42	1	8	12	12
Пд	5	-2	9	32	1	4	-8	-20	5	-13	4	9	2
Україна	17	5	17	21	4	6	-1	-12	7	-7	9	13	7