

**М.Г. Проданчук, С.В. Сноз, Л.М. Смердова, А.Г. Кудрявцева,
Д.Ю. Видрін, А.А. Калашніков, О.О. Бобильова**

Державне підприємство «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ВМІСТУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ СПОЛУК У ВИКИДАХ У ПОВІТРЯ ПРИ РОБОТІ УСТАНОВОК ПО СПАЛЮВАННЮ ВІДХОДІВ

РЕЗЮМЕ. Основний напрямок розвитку світової індустрії управління твердими побутовими відходами (ТПВ) – це їхнє використання для отримання вторинної сировини, а також виробництва теплової та електричної енергії шляхом спалювання. Використання відходів в якості альтернативного джерела теплової та електроенергії сприяє зменшенню маси відходів, висока температура спалювання гарантує їхнє незараження та зменшення забруднення довкілля.

Мета. Оцінити небезпеку для здоров'я людини від викидів установок по спалюванню ТПВ.

Матеріали та методи. Об'єкт досліджень - димові гази при роботі чотирьох установок різної потужності з термічного видалення відходів за експериментального спалювання та стабільної роботи.

Відбір проб газових викидів проводився за стандартними методиками, що забезпечували вимірювання концентрації небезпечних хімічних речовин. Визначення хімічних сполук у пробах здійснювали наступними методами: оксидів азоту - методом фотометрії згідно з МВ №4751-88 від 12.12.1988 р., діоксиду сірки - фотометрії згідно з МВ №4588-88 від 30.03.1988 р., хлористого водню - фотометрії згідно з МВ №1645-77 від 18.04.1977 р., масову концентрацію твердих частинок - гравіметричним методом згідно з ISO 9096:2003, фтористий водень – згідно з ISO 15713:2006. Відбір проб та визначення вмісту металів проводили згідно з методом US EPA – Method 29 та ISO 15202:2012. Сумарну концентрацію 17 конгенерів поліхлорованих дифензо-п-діоксинів та поліхлорованих дифензофуранів (ПХДД/ПХДФ) визначали згідно з методом US EPA - Method 1613.

Результати. При роботі стаціонарної установки по спалюванню несортованих твердих побутових відходів виявлено перевищення встановлених нормативів для сумарного вмісту ПХДД/ПХДФ, масової концентрації твердих частинок, вмісту фтористого водню та хлористого водню; сумарного вмісту сурми, миш'яку, сполук. Вміст небезпечних хімічних сполук у викидах у повітря при роботі установок із термічного видалення відсортованих твердих побутових відходів та відходів агропромислового комплексу не перевищувало встановлених гігієнічних нормативів для викидів із установок по спалюванню відходів.

Висновки. Установки по спалюванню ТПВ повинні бути обладнані сучасними системами очищення димових газів, які мають включати електрофільтри, мокрі або напісхуї скрубери, систему денітрифікації, рукавні фільтри, фільтри з активованим вугіллям. В Україні при створенні власної індустрії управління відходами слід запровадити накопичений в ЄС позитивний досвід організації та функціонування ефективної системи поводження з відходами, тобто зробити систему збору та сортування ТПВ та використання термічного методу видалення відходів як альтернативного джерела енергії.

Ключові слова: газові викиди, метали, поліхлоровані дифензодіоксини та дифензофурані, тверді побутові відходи.

M. Prodanchuk, S. Snoz, L. Smerdova, A. Kudriavtseva, D. Vydrin, A. Kalashnikov, O. Bobylova

L.I. Medved's Research Center of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety,
Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise), Kyiv, Ukraine

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE HAZARDOUS CHEMICAL COMPOUNDS CONTENT IN AIR EMISSIONS DURING THE OPERATION OF WASTE INCINERATION PLANTS

ABSTRACT. The main direction of development of the world industry of solid household waste (SHW) management is their use to obtain secondary raw materials, as well as the production of thermal and electric energy by incineration. The use of waste as an alternative source of heat and electricity helps to reduce the mass of waste, high incineration temperature guarantees their disinfection and reduction of environmental pollution.

Aim. Assessing the hazard of emissions from solid waste incineration plants to human health.

Materials and Methods. The object of the research is flue gases emitted during the operation of four units of different capacities for the thermal removal of waste at experimental combustion and stable operation.

Sampling of gas emissions was carried out according to standard methods that ensured the measurement of concentrations of hazardous chemicals. Determination of chemical compounds in the samples was carried out by the following methods: nitrogen oxides – by photometry in accordance with MG (Methodological Guidelines) No. 4751-88 of 12.12.1988, sulphur dioxide – photometry in accordance with MG No. 4588-88 of 30.03.1988, hydrogen chloride – photometry according to MG No. 1645-77 of April 18, 1977, the mass concentration of solid particles – by the gravimetric method according to ISO 9096:2003, hydrogen fluoride – according to ISO 15713:2006. Sampling and determination of metal content was carried out according to US EPA Method 29 and ISO 15202:2012. The total concentration of 17 congeners of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/PCDF) was determined according to the US EPA Method 1613.

Results. *During the operation of the stationary facility for burning unsorted solid household waste, it was found that the established norms for the total content of PCDD/PCDF, the mass concentration of solid particles, the content of hydrogen fluoride and hydrogen chloride; total content of antimony, arsenic, lead, chromium, cobalt, copper, manganese, nickel, vanadium and their compounds were exceeded. The content of hazardous chemical compounds in air emissions during the operation of facilities for the thermal removal of sorted solid household waste and waste from the agro-industrial complex did not exceed the established hygienic standards for emissions from waste incineration facilities.*

Conclusions. *Solid waste incineration facilities should be equipped with modern flue gas treatment systems, which should include electric filters, wet or semi-dry scrubbers, a denitrification system, sleeve filters, filters with activated carbon. In Ukraine, when creating its own waste management industry, the best practices accumulated in the EU in the organization and operation of an effective waste management system should be implemented, that is a system for collecting and sorting solid waste and using a thermal method of waste removal as an alternative source of energy.*

Keywords: *gas emissions, metals, polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans, solid household waste.*

Основним напрямком розвитку світової індустрії управління твердими побутовими відходами (ТПВ) є їхнє використання для отримання вторинної сировини, а також виробництва теплової та електричної енергії шляхом спалювання. Решта відходів розміщується на спеціальних полігонах.

У Швейцарії у 2014 р. із загальної кількості відходів (близько 6 млн т) більша частина (3,216 млн т) була перероблена та використана повторно, а відходи в кількості 2,791 млн т спалені [1]. Уцілому комунальні відходи у Швейцарії за оцінками становлять приблизно 729 кг на людину на рік, з яких майже 390 кг утилізується і 339 кг спалюється в установках для спалювання. Поточне регулювання управління відходами в цій країні (діє з 2004 року) вимагає спалювання всіх горючих відходів перед захороненням. Це також стосується осадів стічних вод, для яких з 2006 р. не допускається використання в якості добрив у сільському господарстві для уникнення забруднення ґрунтів важкими металами.

У Франції понад третина ТПВ видаляються на установках по спалюванню відходів (у 2008 р. їх 128). У 2006 р. за рахунок спалювання відходів Франція виробила приблизно 3700 ГВт-год електричної енергії та 7 400 ГВт-год теплової енергії [2].

У Китаї рівень спалювання ТПВ досяг 72,5 %, а кількість сміттєспалювальних заводів становить 583 [3].

До повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну щорічне утворення

The main direction of the development of the world industry of solid household waste (SHW) management is their use for obtaining secondary raw materials, as well as the production of thermal and electric energy by incineration. The rest of the waste is placed in special landfills.

In Switzerland, in 2014, out of the total amount of waste (about 6 million tons), most of it (3.216 million tons) was processed and reused, and waste in the amount of 2.791 million tons was incinerated [1]. Overall, municipal waste in Switzerland is estimated to be around 729 kg per person per year, of which around 390 kg is disposed of and 339 kg is incinerated in incinerators. Current waste management regulations in this country (effective since 2004) require that all combustible waste be incinerated before disposal. This also applies to sewage sludge, which since 2006 has not been allowed to be used as fertilizers in agriculture to avoid soil contamination with heavy metals.

In France, more than a third of solid household waste is disposed of at waste incineration plants (128 of them in 2008). In 2006, France produced about 3,700 GWh of electrical energy and 7,400 GWh of thermal energy due to waste incineration [2].

In China, the SHW burning rate has reached 72.5 %, and the number of waste incineration plants is 583 [3].

Before the full-scale invasion of the Russian Federation into Ukraine, the annual generation of SHW exceeded 50 million m³.

ТПВ перевищувало 50 млн м³. При середній теплотворній здатності несортованих відходів 6 МДж/кг їхній енергетичний потенціал можна оцінити у 2,3 млн т умовного палива, що становило близько 1 % споживаних у країні паливних ресурсів. Але ці ресурси, на жаль, сьогодні втрачаються, адже в Україні немає індустрії переробки відходів, а установок/заводів по їхньому спалюванню – одиниці. В умовах російської агресії та втрати майже 9 МВт потужностей теплових та гідроелектростанцій отримання електричної та теплової енергії з відходів може частково вирішити проблеми електропостачання та одночасно зменшити кількість відходів.

Хоча полігони ТПВ все ще широко використовуються в країнах ЄС, а також і в інших країнах для розміщення відходів, основним напрямком розвитку індустрії управління відходами є їхнє використання для отримання вторинної сировини, теплової та електричної енергії.

Так, при використанні термічного методу видалення відходів позитивним є досягнення зменшення маси відходів до 5-20 % від первинної їхньої кількості, а висока температура спалювання гарантує їхнє знезараження. Але установки по спалюванню відходів здатні виділяти токсичні хімічні сполуки в атмосферу – частинки пилу, а також утворюються тверді залишки, які можуть містити небезпечні компоненти. Процеси спалювання відходів можуть бути джерелом забруднення атмосфери [4]. Негативні наслідки для здоров'я, пов'язані зі спалюванням відходів, можуть виникати як для загальної популяції, так і працівників цих підприємств. Відомо, що багато з хімічних речовин, які надходять у навколишнє середовище при спалюванні відходів, є стійкими в довкіллі, мають біоаккумулятивні та канцерогенні властивості або відносяться до ендокринних «дизрапторів» (ЕД). Їхня структура подібна до ендогенних гормонів, що призводить до зв'язування з рецепторами гормонів і блокування їхніх сигналів. Крім того, ЕД можуть викликати порушення в різних органах, зокрема репродуктивні аномалії, метаболічні захворювання, ендокринні дисфункції та онкологічні захворювання [5].

Більшість досліджень, які виконувались на заводах по спалюванню ТПВ, були зосереджені на викидах специфічних хімічних

With an average calorific value of unsorted waste of 6 MJ/kg, its energy potential can be estimated at 2.3 million tons of conventional fuel, which was about 1 % of fuel resources consumed in the country. However, these resources, unfortunately, are being lost today, because there is no waste processing industry in Ukraine, and there are only a few facilities/plants for their incineration. Under the conditions of russian aggression and the loss of about 9 MW of thermal and hydropower plant capacities, obtaining electrical and thermal energy from waste can partially solve the problems of electricity supply and simultaneously reduce the amount of waste.

Although SHW landfills are still widely used in the EU countries, as well as in other countries for the disposal of waste, the main direction of the development of the waste management industry is their use for obtaining secondary raw materials, thermal and electric energy.

Thus, when using the thermal method of waste removal, it is positive to achieve a reduction in the mass of waste to 5–20 % of its initial amount, and a high incineration temperature guarantees its disinfection. However, waste incineration plants are able to release toxic chemical compounds into the atmosphere – dust particles, and form solid residues that may contain dangerous components. Waste burning processes can be a source of atmospheric pollution [4]. Negative health consequences associated with waste incineration can occur both for the general population and for employees of these enterprises. It is known that many of the chemicals entering the environment during waste incineration are persistent in the environment, have bio accumulative and carcinogenic properties, or are endocrine disruptors (EDs). They have a structure similar to endogenous hormones, which leads to binding to hormone receptors and blocking their signals. In addition, EDs can cause disorders in various organs, including reproductive abnormalities, metabolic diseases, endocrine dysfunctions, and oncological diseases [5].

Most of the studies carried out at SHW incineration plants focused on the emissions of specific chemical compounds that are usually present in the flue gases of waste incin-

сполук, що зазвичай присутні в димових газах установок по спалюванню відходів, таких як ртуть та інші важкі метали [6, 7], наночастинки [8], діоксини [9], леткі органічні сполуки (ЛОС) [10]. Вони можуть забруднювати ґрунти та рослинність органічними та неорганічними сполуками. У деяких європейських країнах було виявлено підвищений рівень діоксинів у коров'ячому молоці з ферм, що розташовані поблизу установок по спалюванню відходів, інколи вище встановлених нормативів [11, 12].

Населення, яке мешкає поблизу цих установок, так само як і населення, що проживає неподалік полігонів по розміщенню відходів, потенційно піддається впливові хімічних речовин при вдиханні забрудненого повітря, споживаючи забруднені продукти, воду або через контакт шкіри з ґрунтом [13-15]. Працівники, які обслуговують ці установки, також можуть підпадати під вплив хімічних речовин у процесі своєї виробничої діяльності.

На думку дослідників контакт людини з цим процесом дуже шкідливий для здоров'я, адже наражає на ризик розвитку ряду онкологічних захворювань (особливо, рак легень і гортані, лейкемія, лімфома, саркома м'яких тканин), респіраторних захворювань, а також вроджених вад розвитку. У ряді досліджень також виявлено аномальне співвідношення статей новонароджених і зміни рівня ряду гормонів щитовидної залози в крові. В інсінераторах, як правило, спалюються змішані відходи, які можуть містити небезпечні речовини, зокрема важкі метали та хлоровані органічні сполуки. Асортимент металів, що викидаються з установок, включає кадмій, талій, свинець, миш'як, сурму, хром, кобальт, мідь, марганець, нікель і ртуть. Вплив цих металів негативний, пов'язаний з низкою фатальних наслідків для здоров'я людини, порушуючи майже всі системи організму. Зокрема, вплив металів може бути пов'язаний із хворобами нирок, респіраторними та серцево-судинними захворюваннями, нейротоксичністю, впливом на систему кровотворення [13]. Ряд металів класифіковані як канцерогени або як можливі канцерогени для людини. Деякі метали пов'язують з іншими (неканцерогенними) ефектами: свинець діє як модифікатор пізнавальної діяльності дітей; довготривалий вплив кадмію, ймовірно, відповідає за порушення в метаболізмі

eration plants, such as mercury and other heavy metals [6, 7], nanoparticles [8], dioxins [9], volatile organic compounds (VOCs) [10]. They can pollute soils and vegetation with organic and inorganic compounds. In some European countries, an elevated level of dioxins was found in cow's milk from farms located near waste incineration plants, sometimes above the established standards [11, 12].

The population living near these facilities, as well as the population living near landfills, are potentially exposed to chemicals by inhaling contaminated air, consuming contaminated food, water, or through skin-to-soil contact [13-15]. Workers who maintain these facilities may also be exposed to chemicals in the course of their production activities.

According to researchers, human contact with this process is very harmful to health. A person is exposed to the risk of developing a number of oncological diseases (especially lung and larynx cancer, leukaemia, lymphoma, soft tissue sarcoma), respiratory diseases, and congenital malformations. A number of studies also revealed an abnormal sex ratio of newborns and changes in the level of a number of thyroid hormones in blood. Incinerators typically burn mixed waste that may contain hazardous substances, including heavy metals and chlorinated organic compounds. The range of metals emitted from the plants includes cadmium, thallium, lead, arsenic, antimony, chromium, cobalt, copper, manganese, nickel and mercury. The impact of these metals is negative, associated with a number of fatal consequences for human health, disrupting almost all body systems. In particular, exposure to metals can be associated with kidney disease, respiratory and cardiovascular diseases, neurotoxicity, and effects on the hematopoietic system [13]. A number of metals are classified as carcinogens or possible human carcinogens. Some metals are associated with other (non-carcinogenic) effects: lead acts as a modifier of children's cognitive activity; long-term exposure to cadmium is probably responsible for disturbances in calcium metabolism and osteoporosis. Particulate matter, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and carbon monoxide are among the pollutants present in emis-

кальцію та остеопорозі. Тверді частинки, діоксид азоту, діоксид сірки та монооксид вуглецю належать до числа забруднювачів, які присутні у викидах із таких установок. Тверді частинки, в цілому, розглядаються як найвагоміша складова міського забруднення повітря. Епідеміологічні дослідження показали, що довготривалий вплив твердих частинок у повітрі пов'язаний з підвищеним ризиком розвитку бронхіту та деяким зменшенням очікуваної тривалості життя [16]. Воєнна агресія росії в Україні вже у 2022 році призвела до складних і значних змін концентрації забруднювачів повітря в Європі. Зокрема, зафіксовано середнє збільшення на 9,78 % твердих частинок діаметром менше 2,5 мкм (PM_{2,5}) у містах біля лінії фронту. Оскільки війна триває, збільшення рівнів забруднюючих речовин може мати потенційно глибокі наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людини [17].

Оксиди азоту та діоксид сірки пов'язані з дихальними короткочасними ефектами, особливо в осіб з підвищеною вразливістю органів дихання. Викиди оксидів азоту та сірки сприяють утворенню озону і кислотних аерозолів відповідно. Монооксид вуглецю збільшує ймовірність розвитку захворювань серцево-судинної системи. Поліароматичні вуглеводні (ПАВ), що виділяються під час неповного згорання або піролізу органічних речовин, можуть проявляти естрогенні властивості, також повідомляється про їхній зв'язок з ішемічною хворобою серця та раком легень і сечового міхура. Встановлено, що ПАВ проявляють мутагенність, яка обернено пропорційна ступеню повноти згорання відходів [16, 18]. Погано контрольовані процеси горіння можуть спричинити виділення діоксинів, які справляють різноманітний токсичний вплив на здоров'я людини.

Вищевикладені негативні наслідки процесу термічного видалення ТПВ потребують розробки та впровадження цілого ряду профілактичних заходів. Основні вимоги до установок по спалюванню відходів викладені в Директиві 2000/76/ЄС «On the incineration of waste» та в Додатку VI «Technical provision relating to waste incineration plants and waste co-incineration plants» до Директиви 2010/75/ЄС «On industrial emissions (integrated pollution prevention and control)» [19, 20].

sions from such facilities. Particulate matter is generally regarded as the most significant component of urban air pollution. Epidemiological studies have shown that long-term exposure to solid particles in the air is associated with an increased risk of developing bronchitis and some reduction in life expectancy [16]. Russia's military aggression in Ukraine already led to complex and significant changes in the concentration of air pollutants in Europe in 2022. In particular, an average increase of 9.78 % in particulate matter with a diameter of less than 2.5 microns (PM_{2.5}) was registered in cities near the front line. As the war continues, increasing pollutant levels could have potentially profound consequences for the environment and human health [17].

Nitrogen oxides and sulphur dioxide are associated with short-term respiratory effects, especially in individuals with increased respiratory vulnerability. Emissions of nitrogen oxides and sulphur contribute to the formation of ozone and acid aerosols, respectively. Carbon monoxide increases the likelihood of developing diseases of the cardiovascular system. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), released during incomplete combustion or pyrolysis of organic matter, may exhibit estrogenic properties and have also been reported to be associated with coronary heart disease and lung and bladder cancer. It was established that surfactants show mutagenicity, which is inversely proportional to the degree of completeness of waste combustion [16, 18]. Poorly controlled burning processes can cause the release of dioxins, which have a variety of toxic effects on human health.

The above-mentioned negative consequences of the process of thermal disposal of solid household waste require the development and implementation of a number of preventive measures. The main requirements for waste incineration plants are set out in Directive 2000/76/EU On the Incineration of Waste and in Annex VI Technical Provision Relating to Waste Incineration Plants and Waste Co-incineration Plants to Directive 2010/75/EU On Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control) [19, 20]. Annex VI to Directive 2010/75/EU lists the chemicals that must be

У Додатку VI до Директиви 2010/75/ЄС перераховано хімічні речовини, які необхідно контролювати при роботі установок для спалювання відходів: контролю підлягають діоксини та фурани (сумарна концентрація 17 конгенерів ПХДД/ПХДФ), оксиди азоту (NO₂+NO₃), діоксид сірки, сумарний пил (масова концентрація твердих частинок), фтористий водень, хлористий водень, газоподібні та леткі органічні сполуки, метали та їхні сполуки (кадмій, талій, ртуть, сурма, миш'як, свинець, хром, кобальт, мідь, марганець, нікель, ванадій), встановлені відповідні нормативи та вимоги до перерахунку. Слід зазначити, що на відміну від вітчизняних нормативних документів, у Директивах ЄС встановлено єдиний сумарний норматив для сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію – 0,5 мг/м³, для кадмію, талію – 0,05 мг/м³. Також ці величини приведені до 11 % кисню у вихідних газах [19, 20].

Мета. Оцінити небезпеку для здоров'я людини від викидів установок по спалюванню ТПВ.

Матеріали та методи. Було проаналізовано роботу чотирьох установок з термічного видалення відходів за даними конструкторської документації виробників і результатами власних досліджень при експериментальному спалюванні та стабільній роботі установок.

Нами досліджено викиди в атмосферу при роботі трьох експериментальних та однієї стаціонарної установок з термічного видалення відходів, проведено порівняння за рядом показників із даними літератури.

Опис трьох експериментальних установок надано згідно з конструкторською документацією від виробника:

- комплекс по видаленню твердих побутових відходів методом високотемпературного піролізу КВТПВ (установка А) працює за температури в камері згорання 800 – 850°C (температура в камері доспалювання до 1200°C), обладнаний мокрим скруббером для очищення вихідних газів, залежно від потужності комплекс призначений для видалення 15–50 т відходів за добу;
- піролізовихровий теплогенератор зі змішувачем 3,0 МВт для спалювання відходів агропромислового комплексу (установка Б) працює при температурі 800°C в

controlled during the operation of waste incineration plants: dioxins and furans (total concentration of 17 PCDD/PCDF congeners), nitrogen oxides (NO₂ + NO₃), dioxide sulphurs, total dust (mass concentration of solid particles), hydrogen fluoride, hydrogen chloride, gaseous and volatile organic compounds, metals and their compounds (cadmium, thallium, mercury, antimony, arsenic, lead, chromium, cobalt, copper, manganese, nickel, vanadium); established appropriate standards and requirements for recalculation. It should be noted that, in contrast to domestic regulatory documents, the EU Directives set a single total standard for antimony, arsenic, lead, chromium, cobalt, copper, manganese, nickel, vanadium – 0.5 mg/m³, for cadmium, thallium – 0.05 mg/m³. In addition, these values are standardised at 11 % oxygen in waste gas [19, 20].

Aim. Assessing the hazard of emissions from solid waste incineration plants to human health.

Materials and Methods. The operation of four thermal waste disposal facilities was analysed according to the manufacturer's design documentation and the results of own research during experimental combustion and stable operation of the units.

We conducted a study of emissions into the atmosphere during the operation of three experimental and one stationary facility for thermal waste removal, and compared a number of indicators with data from the literature.

The description of the three experimental facilities is provided according to the design documentation from the manufacturer:

- high-temperature pyrolysis solid household waste removal complex SHWRC (Facility A) operates at a temperature in the combustion chamber of 800–850°C (temperature in the post-combustion chamber up to 1200°C), equipped with a wet scrubber for treatment the outgoing gases, depending on the power, the complex is intended for removal of 15–50°C tons of waste per day;
- pyrolysis vortex heat generator with 3.0 MW mixer for incineration of agricultural waste (Facility B) operates at a temperature of 800°C in the combustion chamber

камері згорання) та призначений для спалювання від 40 до 50 кг відходів за годину;

- котел ВКУ (установка В) забезпечує досягнення температури 800-1500°C в камері згорання;

- стаціонарна установка (Г) по спалюванню ТПВ для виробництва теплової енергії в Дарницькому районі м. Києва: температура в середній зоні топки котла 827–941°C, температура вихідних димових газів 163–233°C. Було здійснено три відбори проб викидів у різні дні роботи цієї установки.

Для оцінки ступеня забруднення газових викидів в атмосферне повітря при роботі установок по спалюванню відходів визначали такі небезпечні хімічні сполуки як оксиди азоту, діоксид сірки, хлористий водень, тверді частинки, фтористий водень, важкі метали, поліхлоровані дибензодіоксини та дибензофурани (ПХДД/ПХДФ).

Відбір проб газових викидів проводили за стандартними методиками, що забезпечували вимірювання концентрацій небезпечних хімічних речовин. Відбір здійснювався при спалюванні наступних видів відходів:

- відсортовані тверді побутові відходи (установка А),
- відходи агропромислового комплексу – куряче перо (установка Б),
- відходи агропромислового комплексу – відділені від зерна кукурудзяні качани (установка Б),
- спеціально відібрані відходи деревини, гуми, пластмас, текстилю, шкіри (установка В),
- невідсортовані тверді побутові відходи (установка Г).

Визначення хімічних сполук у пробах здійснювали наступними методами: оксидів азоту – методом фотометрії згідно з МВ №4751-88 [21], діоксиду сірки – методом фотометрії згідно з МВ №4588-88 [22], хлористого водню – методом фотометрії згідно з МВ №1645-77 [23], масову концентрацію твердих частинок – гравіметричним методом згідно з ISO 9096:2003 [24], фтористий водень – згідно з ISO 15713:2006 [25]. Відбір проб та визначення вмісту металів та їхніх сполук проводили згідно з методом US EPA-Method 29 та ISO 15202:2012 [26, 27]. Сумарну концентрацію 17 конгенерів ПХДД/ПХДФ визначали згідно з методом US EPA-Method 1613 [28].

and is designed for burning from 40 to 50 kg of waste per hour;

- the WHR boiler (Facility C) provides a temperature of 800–1500°C in the combustion chamber;

- a stationary facility (Facility D) for burning solid waste for the production of thermal energy in the Darnytsky district of Kyiv: the temperature in the middle zone of the boiler furnace is 827–941°C, the temperature of the outgoing flue gases is 163–233°C. Three emission samples were taken in different days of operation of this facility.

To assess the degree of pollution of gaseous emissions into the atmospheric air during the operation of waste incineration plants, such dangerous chemical compounds as nitrogen oxides, sulphur dioxide, hydrogen chloride, solid particles, hydrogen fluoride, heavy metals, polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans (PCDD/PCDF) were determined.

Sampling of gas emissions was carried out according to standard methods that ensured the measurement of concentrations of hazardous chemicals. The sampling was carried out during the burning of the following types of waste:

- sorted solid household waste (Facility A),
- waste of the agro-industrial complex – chicken feather (Facility B),
- waste of the agro-industrial complex – corn cobs separated from grain (Facility B),
- specially selected wood, rubber, plastic, textile, leather waste (Facility C),
- unsorted solid household waste (Facility D).

The determination of chemical compounds in the samples was carried out by the following methods: nitrogen oxides – by photometry according to MG No. 4751-88 [21], sulphur dioxide – by photometry according to MG No. 4588-88 [22], hydrogen chloride – by photometry according to MG No. 1645-77 [23], mass concentration of solid particles – by the gravimetric method according to ISO 9096:2003 [24], hydrogen fluoride – according to ISO 15713:2006 [25]. Sampling and determination of the content of metals and their compounds was carried out according to the US EPA Method 29 and ISO 15202:2012 [26, 27]. The total concentration of 17 PCDD/PCDF congeners was deter-

Результати та їхнє обговорення. Було досліджено сім зразків димових газів при роботі чотирьох установок по термічному видаленню відходів різної потужності.

Результати досліджень газових викидів у повітря з установок по спалюванню відходів представлено в табл. 1.

Отримані результати та їхній аналіз свідчать, що у відібраних пробах газових викидів

mined according to the US EPA Method 1613 [28].

Results and their discussion. Seven samples of flue gases emitted during the operation of four units for the thermal removal of waste of different capacities were investigated.

Results of the studies of gas emissions into the air from waste incineration plants presented in Table 1.

Таблиця 1

Вміст твердих частинок, оксидів азоту та сірки, хлористого та фтористого водню в газових викидах

Table 1

The content of solid particles, nitrogen and sulphur oxides, hydrogen chloride and fluoride in gas emissions

Назва сполуки / The name of the compound	Вміст, мг/м ³ Content, mg/m ³				
	установа А / Facility A	установа Б / Facility B	установа В / Facility C	установа Г / Facility D	A.Setyan et al. [29]
Оксиди азоту (NO+NO ₂) / Nitrogen oxides (NO+NO ₂)	18,0	0,6/1,6	78,4	200,0/136,0/117,5 ¹⁾	500–600 ²⁾
Діоксид сірки / Sulphur dioxide	не виявлено / not found	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	9,5	5,0/31,25/15,53 ¹⁾	200–400 ²⁾
Хлористий водень / Hydrogen chloride	6,7	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	38,4/11,5/1,57 ¹⁾	400–800 ²⁾
Фтористий водень / Hydrogen fluoride	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	4,1/6,9/0,18 ¹⁾	50–100 ²⁾
Масова концентрація твердих частинок / Mass concentration of solid particles	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	н.д. ³⁾ / n.m. ³⁾	90	822/280/675 ¹⁾	1,0 ²⁾

Примітки:

1. Вміст хімічних сполук у перерахунку на 11 % O₂ в три різні дні відбору.

2. Вміст хімічних сполук на ділянці між електрофільтром та мокрим скруббером у перерахунку на 11 % O₂ на сміттєспалювальному заводі Giubiasco (Швейцарія).

3. Сполука не вимірювалась при роботі цієї установки.

Note:

1. The content of chemical compounds standardised at 11% O₂ on three different sampling days.

2. The content of chemical compounds in the area between the electrostatic precipitator and the wet scrubber standardised at 11% O₂ at the Giubiasco waste incineration plant (Switzerland).

3. The compound was not measured during operation of this plant.

є перевищення встановлених нормативів, у тому числі нормативу ЄС ($30,0 \text{ mg/Nm}^3$), та нормативу для гранично допустимих викидів (ГДВ), який становить $50,0/150,0 \text{ mg/m}^3$, для масової концентрації твердих частинок у викидах установок В та Г. Перевищення відносно нормативу ЄС становило від 3,0 до 27,4 разів у різні дні відбору. Подібні результати ($56,0 \text{ mg/m}^3$) щодо вмісту твердих частинок у викидах установки по спалюванню відходів були отримані в дослідженнях Безрук З.Д. та Порєва В.Д. [30]. У той же час згідно з результатами А. Setyan, et al. [29] на сміттєспалювальних заводах Giubiasco та Hinwil (Швейцарія), обладнаних електрофільтром, мокрим скрубєром, системою денітрифікації та рукавними фільтрами, досягнуто практично повної відсутності твердих частинок у викидах, а концентрація на ділянці між електрофільтром та мокрим скрубєром на сміттєспалювальному заводі Giubiasco була $1,0 \text{ mg/m}^3$.

Також нами виявлено перевищення вмісту фтористого водню в 1,03 раза у викидах першого дня відбору та в 1,73 раза у викидах другого дня відбору газових викидів установки Г. Згідно з даними Безрук З.Д. та Порєва В.Д. [30] вміст фтористого водню у викидах складає $3,7\text{--}5,0 \text{ mg/m}^3$, за даними А. Setyan, et al. [29] – $50\text{--}100 \text{ mg/m}^3$ на ділянці між електрофільтром та мокрим скрубєром на сміттєспалювальному заводі Giubiasco та $0,0023 \text{ mg/m}^3$ у димовій трубі на сміттєспалювальному заводі Giubiasco (Швейцарія). Отже, в умовах України наявне очисне обладнання установки Г не забезпечує ефективне очищення від фтористого водню та інших забруднювачів повітря.

Вміст хлористого водню, оксидів азоту та діоксиду сірки у викидах досліджених нами установок становить $1,57\text{--}38,4 \text{ mg/m}^3$ (HCl), $0,6\text{--}200 \text{ mg/m}^3$ (NOx) та $5,0\text{--}31,25 \text{ mg/m}^3$ (SO₂), що відповідає вимогам європейського законодавства. Однак, як показано в дослідженнях А. Setyan, et al [29], використання сучасних систем очищення димових газів (електрофільтр, мокрий скрубєр із NaHCO₃, система денітрифікації та рукавні фільтри) дозволяє мінімізувати викиди цих речовин в атмосферне повітря, а також зменшити вплив на довкілля та здоров'я людини.

Окремої уваги заслуговує система денітрифікації, яка передбачає відновлення окси-

The obtained results and their analysis indicate that the selected samples of gas emissions exceed the established standards, including the EU standard (30.0 mg/Nm^3) and the standard for maximum permissible emissions (MPE), which is $50.0/150.0 \text{ mg/m}^3$, for the mass concentration of solid particles in the emissions of Facilities C and D. The excess relative to the EU standard was from 3.0 to 27.4 times on different sampling days. Similar results (56.0 mg/m^3) regarding the content of solid particles in waste incineration plant emissions were obtained in the studies by Z.D. Bezruk and V.D. Porev [30]. At the same time, according to the results by A. Setyan, et al. [29] at the Giubiasco and Hinwil incinerators (Switzerland), which are equipped with an electrostatic precipitator, a wet scrubber, a denitrification system and sleeve filters; an almost complete absence of solid particles in the emissions was achieved, and the concentration in the area between the electrostatic precipitator and the wet scrubber at the Giubiasco incinerator was $1,0 \text{ mg/m}^3$.

We also found an excess of hydrogen fluoride content by 1.03 times in the emissions of the first day of sampling and by 1.73 times in the emissions of the second day of sampling of gas emissions of the Facility D. According to the data by Z.D. Bezruk and V.D. Porev [30] the content of hydrogen fluoride in emissions is $3.7\text{--}5.0 \text{ mg/m}^3$, according to A. Setyan, et al. [29] – $50\text{--}100 \text{ mg/m}^3$ in the section between the electrostatic precipitator and the wet scrubber at the Giubiasco incineration plant and 0.0023 mg/m^3 in the chimney at the Giubiasco incineration plant (Switzerland). Therefore, in the conditions of Ukraine, the existing treatment equipment of Facility D does not provide effective treatment of hydrogen fluoride and other air pollutants.

The content of hydrogen chloride, nitrogen oxides and sulphur dioxide in the emissions of the facilities we studied is $1.57\text{--}38.4 \text{ mg/m}^3$ (HCl), $0.6\text{--}200 \text{ mg/m}^3$ (NOx) and $5.0\text{--}31.25 \text{ mg/m}^3$ (SO₂), which meets the requirements of European legislation. However, as shown in the studies by A. Setyan, et al [29], the use of modern flue gas treatment systems (electro filter, wet scrubber with NaHCO₃, denitrification system and sleeve filters) allows to minimize emissions of these substances into atmospheric air, as well as to reduce the impact on environment and human health.

дів азоту NO та NO₂ до молекулярного азоту з використанням аміаку. Викиди оксидів азоту після такої обробки становлять 0,0006-0,0023 мг/м³, що на декілька порядків менше встановленого нормативу в 400 мг/м³.

Дослідження викидів металів та їхніх сполук були проведені нами тільки для установки Г з урахуванням вимог Директиви ЄС щодо спектра досліджуваних сполук та встановлених для них нормативів. Відбір проб проводили тричі з інтервалом 12–15 діб для врахування зміни складу відходів на вміст досліджуваних сполук. Результати представлені в табл. 2.

Слід відзначити, що під час другого відбору проб у викидах було зафіксовано перевищення сумарного вмісту сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію та їхніх сполук в 1,22 раза (при нормативі ЄС – 0,5 мг/м³ виявлено 0,6124 мг/м³). Причому основним джерелом забруднення була сурма 0,429 мг/м³. Значна кількість сурми та її сполук у викидах може бути пов'язана зі спалюванням будівельних та інших полімерних матеріалів, в яких в якості антипірену було використано триоксид сурми. За даними D. van Velzen та H. Langekamp [32] матеріали з цим антипіреном є основним джерелом сурми у викидах установок по спалюванню відходів. Триоксид сурми є можливим канцерогеном для людини (група 2B) [33].

Порівнюючи отримані дані по сумарному вмісту свинцю, хрому, міді та марганцю (0,009 - 0,3166 мг/м³) з даними Pierre Le Cloirec для очищених димових газів заводів по спалюванню відходів (0,06-0,4 мг/м³), можна сказати, що вони знаходяться в одному діапазоні значень та значно менші за концентрації в неочищених димових газах (74,7 мг/м³). Вміст кадмію та ртуті у викидах як сумарно, так і окремо також знаходиться в одному діапазоні з даними Pierre Le Cloirec та Jun Dong et al. для очищених димових газів установок по спалюванню відходів і значно менший, ніж для неочищених димових газів (сумарно для кадмію та ртуті 1,3 мг/м³).

Отже, наявна система очищення димових газів у цілому забезпечує очищення димових газів від металів та їхніх сполук. Але при

The denitrification system, which involves the reduction of nitrogen oxides NO and NO₂ to molecular nitrogen using ammonia, deserves special attention. Emissions of nitrogen oxides after such treatment are 0.0006–0.0023 mg/m³, which are several orders of magnitude below the established norm of 400 mg/m³.

The studies of emissions of metals and their compounds were carried out only for Facility D, in compliance with the requirements of the EU Directive regarding the range of investigated compounds and the standards established for them. Sampling was carried out three times with an interval of 12–15 days to take into account the change in the composition of the waste on the content of the studied compounds. The results are presented in Table 2.

It should be noted that during the second sampling, an excess of the total content of antimony, arsenic, lead, chromium, cobalt, copper, manganese, nickel, vanadium and their compounds in the emissions was recorded by 1.22 times (with the EU standard – 0.5 mg/m³, 0.6124 mg/m³ determined). And the main source of pollution was antimony – 0.429 mg/m³. A significant amount of antimony and its compounds in emissions can be associated with the burning of construction and other polymeric materials, in which antimony trioxide was used as a flame retardant. According to D. van Velzen and H. Langekamp [32], materials with this flame retardant are the main source of antimony in emissions from waste incineration plants. Antimony trioxide is a possible human carcinogen (group 2B) [33].

Comparing the obtained data on the total content of lead, chromium, copper and manganese (0.009 – 0.3166 mg/m³) with the data by Pierre Le Cloirec for treated flue gases of waste incineration plants (0.06 – 0.4 mg/m³), it should be mentioned that they are in the same range of values and are significantly lower than the concentrations in untreated flue gases (74.7 mg/m³). The content of cadmium and mercury in the emissions, both in total and individually, is also in the same range as the data by Pierre Le Cloirec and Jun Dong et al. for treated flue gases of waste incineration plants and is significantly lower than for untreated flue gases (1.3 mg/m³ for cadmium and mercury in total).

Вміст металів та миш'яку в газових викидах установки Г

The content of metals and arsenic in the gas emissions of the Facility D

Хімічний елемент / Chemical element	Вміст металів та миш'яку в перерахунку на 11 % O ₂ , мг/м ³ The content of metals and arsenic standardised at 11% O ₂ , mg/m ³	Вміст металів згідно з даними літератури в газових викидах заводів по спалюванню відходів, mg/Nm ³ [2, 31] / The content of metals in gas emissions of waste incineration plants according to literature data, mg/Nm ³ [2, 31]	Вимоги Директив ЄС, mg/Nm ³ [20] / Requirements of EU Directives, mg/Nm ³ [20]
Кадмій / Cadmium	0,031/0,021/0,00011	1,3 ¹⁾ /0,001-0,03 ²⁾ /0,001 ³⁾	0,05 (сумарно) / 0.05 (total)
Талій / Thallium	< 0,0025/< 0,0025/< 0,0025	—	
Ртуть / Mercury	0,00009/0,0012/0,012	1,3 ¹⁾ /0,001-0,03 ²⁾ /0,002 ³⁾	0,05
Сурма / Antimony	0,056/0,429/0,035	—	0,5 (сумарно) / 0.5 (total)
Миш'як / Arsenic	0,00014/0,00038/< 0,0001	—	
Свинець / Lead	0,249/0,16/0,007	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Хром / Chrome	0,002/0,000125/0,000125	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Кобальт / Cobalt	0,00017/0,00017/0,00017	—	
Мідь / Copper	0,064/0,023/0,0009	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Марганець / Manganese	0,0016/0,000016/0,0011	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Нікель / Nickel	0,00025/0,00025/0,0005	—	
Ванадій / Vanadium	0,00017/0,00011/0,00017	—	

Примітки:

1. Середня сумарна концентрація кадмію та ртуті (у перерахунку на 9 % O₂) у неочищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з Pierre Le Cloirec [2].
2. Середня сумарна концентрація кадмію та ртуті (у перерахунку на 9 % O₂) в очищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з Pierre Le Cloirec [2].
3. Середня концентрація у викидах 4-х заводів по спалюванню відходів згідно з Jun Dong et al. [31].
4. Середня сумарна концентрація свинцю, хрому, міді та марганцю (у перерахунку на 9 % O₂) у неочищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з Pierre Le Cloirec [2].
5. Середня сумарна концентрація свинцю, хрому, міді та марганцю (у перерахунку на 9 % O₂) в очищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з Pierre Le Cloirec [2].

Notes:

1. Average total concentration of cadmium and mercury (standardised at 9% O₂) in raw flue gases of waste incineration plants according to Pierre Le Cloirec [2].
2. The average total concentration of cadmium and mercury (standardised at 9% O₂) in treated flue gases of waste incineration plants according to Pierre Le Cloirec [2].
3. Average concentration in emissions of four waste incineration plants according to Jun Dong et al. [31].
4. The average total concentration of lead, chromium, copper and manganese (standardised at 9% O₂) in raw flue gases of waste incineration plants according to Pierre Le Cloirec [2].
5. The average total concentration of lead, chromium, copper and manganese (standardised at 9% O₂) in treated flue gases of waste incineration plants according to Pierre Le Cloirec [2].

наявності в суміші відходів суттєво забруднених окремими сполуками металів можливі аномальні викиди окремих металів та їхніх сполук.

Одними з найнебезпечніших забруднювачів довкілля, що утворюються в процесі спалювання відходів, є ПХДД/ПХДФ, які відносяться до групи стійких органічних забруднювачів (СОЗ). Дослідження вмісту цих сполук у викидах проводяться постійно в різних країнах і є важливою складовою оцінки безпеки установок по спалюванню відходів.

Так, згідно з дослідженнями Qi Wang et al. [34] сумарна концентрація 17 конгенерів ПХДД/ПХДФ у викидах 12 установок по спалюванню небезпечних відходів (медичні відходи та відходи хімічної промисловості), розташованих на території Китаю, становить від 0,031 до 0,902 нг ТЕQ/Нм³ (у перерахунку на 11 % О₂) залежно від типу установки та системи очищення димових газів (таб. 3).

Нами були проведені дослідження визначення вмісту ПХДД/ПХДФ (сумарної концентрації 17 конгенерів) у газових викидах установки Г.

Therefore, the existing flue gas treatment system in general provides treatment of flue gases of metals and their compounds. However, if there is a mixture of waste significantly contaminated with individual metal compounds, abnormal emissions of individual metals and their compounds are possible.

PCDD/PCDF, which belong to the group of persistent organic pollutants (POPs), are one of the most dangerous environmental pollutants produced in the process of waste burning. Studies of the content of these compounds in emissions are carried out constantly in different countries and are an important component of the hazard assessment of waste incineration plants.

Thus, according to research by Qi Wang, et al. [34] the total concentration of 17 PCDD/PCDF congeners in the emissions of 12 hazardous waste incinerators (medical waste and chemical industry waste) located in China is from 0.031 to 0.902 ng TEQ/Nm³ (standardised at 11 % O₂) depending on the type of facility and flue gas treatment system (Table 3).

We conducted studies to determine the content of PCDD/PCDF (the total concentration of 17 congeners) in the gas emissions of the Facility D.

Таблиця 3

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах 12 установок по спалюванню небезпечних відходів, розташованих на території Китаю [34]

Table 3

PCDD/PCDF content in gas emissions of 12 hazardous waste incinerators located in China [34]

Позначення / Marking	Тип установки / Facility type	Потужність (т відходів/ доба) / Capacity (tons of waste/day)	Система очищення димових газів / Flue gas treatment system	Концентрація ПХДД/ПХДФ (нг ТЕQ/Нм ³) / PCDD/PCDF concentration (ng TEQ/Nm ³)
Н01	Оберткова піч / Rotary kiln	50	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,211
Н02	Оберткова піч / Rotary kiln	15	Напівсухий скруббер + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + sleeve filter	0,471
Н03	Оберткова піч / Rotary kiln	100	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,049
Н04	Оберткова піч / Rotary kiln	37	Напівсухий скруббер + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + sleeve filter	0,065

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах 12 установок по спалюванню небезпечних відходів, розташованих на території Китаю [34]

Table 3

PCDD/PCDF content in gas emissions of 12 hazardous waste incinerators located in China [34]

Позначення / Marking	Тип установки / Facility type	Потужність (т відходів/ доба) / Capacity (tons of waste/day)	Система очищення димових газів / Flue gas treatment system	Концентрація ПХДД/ПХДФ (нг ТЕQ/Нм ³) / PCDD/PCDF concentration (ng TEQ/Nm ³)
Н05	Обертова піч / Rotary kiln	20	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,124
Н06	Киплячий шар / Fluidized bed	100	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,031
Н07	Обертова піч / Rotary kiln	10	Напівсухий скруббер + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + sleeve filter	0,35
Н08	Піролізна піч / Pyrolysis kiln	5	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,243
Н09	Обертова піч / Rotary kiln	6	Фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Filter with activated coal + sleeve filter	0,465
Н10	Піролізна піч / Pyrolysis kiln	36	Багатоканальний циклон + Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Multi-tubular Cyclone + Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,062
Н11	Обертова піч / Rotary kiln	24	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + filter with activated carbon + sleeve filter	0,301
Н12	Піролізна піч / Pyrolysis kiln	5	Напівсухий скруббер + рукавний фільтр / Semi-dry scrubber + sleeve filter	0,902

Відібрано 5 проб у три різні дні роботи установки з інтервалом 12–15 діб для врахування зміни складу відходів на вміст досліджуваних сполук. Крім того, на другий та третій день було проведено відбір проб двічі в різні часові інтервали роботи установки. Результати наведено в табл. 4–8.

Five samples were taken on three different days of operation of the facility with an interval of 12 – 15 days to take into account the change in the composition of the waste on the content of the investigated compounds. In addition, on the second and third day of sampling, sampling was carried out twice at dif-

ПРОБЛЕМНІ ТЕМИ
PROBLEMATIC TOPICS

Отже, одержані результати свідчать, що із п'яти відібраних та проаналізованих на вміст ферent time intervals of the operation of the Facility. The results are given in Tables 4 – 8.

Таблиця 4

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (1 день відбору, проба № 1)

Table 4

PCDD/PCDF content in gas emissions (1 day of sampling, sample № 1)

Конгенер / Congener	Концентрація, нг/м ³ Concentration, ng/m ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF / WHO-TEF toxicity equivalent factor	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³ Concentration, C _{WHO-TEQ} , ng/m ³
2,3,7,8-ТХДД / 2,3,7,8-TCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД / 1,2,3,7,8-PeCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД / 1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД / 1,2,3,6,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД / 1,2,3,7,8,9-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	< 0,009	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ / 2,3,7,8-TCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ / 1,2,3,7,8-PeCDF	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ / 2,3,4,7,8-PeCDF	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,4,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,6,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ / 1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ / 2,3,4,6,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ / 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	< 0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення 0,007 нг/м³ (у перерахунку на 11 % O₂ - 0,01 нг/м³).

Note: C_{WHO-TEQ} PCDD/PCDF concentration which includes 100 % limit of quantification of 0.007 ng/m³ (standardised at 11 % O₂ — 0.01 ng/m³).

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (2 день відбору, проба № 2)

Table 5

PCDD/PCDF content in gas emissions (2nd day of sampling, sample No 2)

Конгенер / Congener	Концентрація, нг/м³ Concentration, ng/m³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF / WHO-TEF toxicity equivalent factor	Концентрація, C_{WHO-TEQ}, нг/м³ Concentration, C_{WHO-TEQ}, ng/m³
2,3,7,8-ТХДД / 2,3,7,8-TCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД / 1,2,3,7,8-PeCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД / 1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД / 1,2,3,6,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД / 1,2,3,7,8,9-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	< 0,009	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ / 2,3,7,8-TCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ / 1,2,3,7,8-PeCDF	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ / 2,3,4,7,8-PeCDF	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,4,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,6,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ / 1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ / 2,3,4,6,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ / 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	< 0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межю кількісного визначення 0,007 нг/м³ (у перерахунку на 11 % O₂ - 0,01 нг/м³).

Note: C_{WHO-TEQ} PCDD/PCDF concentration which includes 100 % limit of quantification of 0.007 ng/m³ (standardised at 11 % O₂ — 0.01 ng/m³).

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (2 день відбору, проба № 3)

Table 6

PCDD/PCDF content in gas emissions (2nd day of sampling, sample № 3)

Конгенер / Congener	Концентрація, нг/м ³ Concentration, ng/m ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF / WHO-TEF toxicity equivalent factor	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³ Concentration, C _{WHO-TEQ} , ng/m ³
2,3,7,8-ТХДД / 2,3,7,8-TCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД / 1,2,3,7,8-PeCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД / 1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД / 1,2,3,6,7,8-HxCDD	2,14	0,1	0,214
1,2,3,7,8,9-ГкХДД / 1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,09	0,1	0,109
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	5,99	0,01	0,059
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	<0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ / 2,3,7,8-TCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ / 1,2,3,7,8-PeCDF	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ / 2,3,4,7,8-PeCDF	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,4,7,8-HxCDF	1,62	0,1	0,162
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,6,7,8-HxCDF	1,47	0,1	0,147
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ / 1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ / 2,3,4,6,7,8-HxCDF	2,81	0,1	0,281
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3,53	0,01	0,035
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ / 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	< 0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межю кількісного визначення - 1,01 нг/м³ (у перерахунку на 11% O₂ - 1,41 нг/м³).

Note: C_{WHO-TEQ} PCDD/PCDF concentration which includes 100% limit of quantification of 0.007 ng/m³ (standardised at 11% O₂ — 1.41 ng/m³).

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (3 день відбору, проба № 4)

Table 7

PCDD/PCDF content in gas emissions (3rd day of sampling, sample № 4)

Конгенер / Congener	Концентрація, нг/м³ Concentration, ng/m³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF / WHO-TEF toxicity equivalent factor	Концентрація, C_{WHO-TEQ}, нг/м³ Concentration, C_{WHO-TEQ}, ng/m³
2,3,7,8-ТХДД / 2,3,7,8-TCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД / 1,2,3,7,8-PeCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД / 1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД / 1,2,3,6,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД / 1,2,3,7,8,9-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	< 0,009	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ / 2,3,7,8-TCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ / 1,2,3,7,8-PeCDF	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ / 2,3,4,7,8-PeCDF	0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ / 1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ / 2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ / 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення 0,007 нг/м³ (у перерахунку на 11% O₂ - 0,01 нг/м³).

Note: C_{WHO-TEQ} PCDD/PCDF concentration which includes 100 % limit of quantification of 0.007 ng/m³ (standardised at 11% O₂ — 0.01 ng/m).

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (3 день відбору, проба № 5)

Table 8

PCDD/PCDF content in gas emissions (3rd day of sampling, sample № 5)

Конгенер / Congener	Концентрація, нг/м ³ Concentration, ng/m ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF / WHO-TEF toxicity equivalent factor	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³ Concentration, C _{WHO-TEQ} , ng/m ³
2,3,7,8-ТХДД / 2,3,7,8-TCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД / 1,2,3,7,8-PeCDD	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД / 1,2,3,4,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД / 1,2,3,6,7,8-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД / 1,2,3,7,8,9-HxCDD	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1,5	0,01	0,015
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ / 2,3,7,8-TCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ / 1,2,3,7,8-PeCDF	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ / 2,3,4,7,8-PeCDF	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,4,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ / 1,2,3,6,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ / 1,2,3,7,8,9-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ / 2,3,4,6,7,8-HxCDF	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ / 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2,0	0,01	0,02
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ / 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ / 1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	3,3	0,0003	0,001

Примітка: Концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межю кількісного визначення 0,043 нг/м³ (у перерахунку на 11% O₂ - 0,058 нг/м³).

Note: C_{WHO-TEQ} PCDD/PCDF concentration which includes 100 % limit of quantification of 0.007 ng/m³ (standardised at 11% O₂— 0.058 ng/m).

діоксинів та фуранів проб перевищення встановленого нормативу ($0,1 \text{ ng/Nm}^3$) приблизно в 14 разів було виявлено лише в пробі № 3. Ймовірно, таке перевищення обумовлене наявністю в спалюваних у цей час ТПВ хлорорганічних сполук (полівінілхлориду та інші).

Слід відзначити, що вміст ПХДД/ПХДФ у димових газах установки Г у трьох зразках був значно меншим, ніж за даними досліджень Qi Wang, et al. [34] ($0,01 \text{ ng/m}^3$ та $0,03061-0,90171 \text{ ng/m}^3$ відповідно), в одному зразку вміст ПХДД/ПХДФ ($0,058 \text{ ng/m}^3$) знаходився в одному діапазоні з даними Qi Wang et al. При цьому слід взяти до уваги, що дослідження Qi Wang, et al. проведені на установках по спалюванню небезпечних відходів (медичні відходи та відходи хімічної промисловості), компонентом яких є хлорвмісні сполуки (полівінілхлорид, хлорвмісні деззасоби та ін.), а в нашому випадку установка Г призначена тільки для спалювання ТПВ і у випадку, коли ТПВ забруднені хлорорганічними сполуками, вміст ПХДД/ПХДФ у димових газах одразу зростає більш, ніж на порядок, як було виявлено в зразку № 3. Саме цим, на нашу думку, зумовлена відмінність результатів, наведених у дослідженні. Тобто наявна система очищення димових газів не забезпечує їхнього очищення від ПХДД/ПХДФ, а кількість цих сполук у викидах прямо залежить від вмісту хлорвмісних сполук у спалюваних відходах.

Висновки

1. Ставши членом Європейського енергетичного співтовариства та підписавши Угоду про асоціацію з ЄС [35], Україна повинна дотримуватися вимог природоохоронних документів ЄС та розробити заходи по реформуванню енергетичного сектору, що пов'язане з впровадженням сучасних екологічно безпечних технологій управління відходами. Використання відходів як альтернативного джерела теплової та електроенергії сприятиме зменшенню маси відходів, висока температура спалювання гарантуватиме їхнє знезараження та зменшить забруднення довкілля.

2. Результати експериментальних досліджень по визначенню небезпечних

Therefore, the obtained results show that of the five samples selected and analysed for the content of dioxins and furans, an excess of the established norm (0.1 ng/Nm^3) by approximately 14 times was detected only in sample №3. This excess is probably due to the presence of organochlorine compounds (polyvinyl chloride and others) in SHW incinerated at that time.

It should be noted that the PCDD/PCDF content in the flue gases of Facility D in the three samples was significantly lower than according to the research data by Qi Wang et al. [34] (0.01 ng/m^3 and $0.03061 - 0.90171 \text{ ng/m}^3$, respectively). The PCDD/PCDF content in one sample (0.058 ng/m^3) was in the same range as the data by Qi Wang et al. At the same time, it should be taken into account that the research by Qi Wang, et al. was carried out at hazardous waste incineration plants (medical waste and waste from the chemical industry), the components of which are chlorine-containing compounds (polyvinyl chloride, chlorine-containing disinfectants, etc.). In our case, Facility D is intended only for incineration of solid household waste and in case when the solid waste is contaminated with organochlorines compounds, the PCDD/PCDF content in flue gases immediately increases by more than an order of magnitude, as was determined in sample № 3. This, in our opinion, is the reason for the difference in the results presented in the study. That is, the existing flue gas treatment system does not ensure their treatment of PCDD/PCDF, and the amount of these compounds in emissions directly depends on the content of chlorine-containing compounds in the incinerated waste.

Conclusions

1. Being a member of the European Energy Community and having signed the Association Agreement with the EU [35], Ukraine must comply with the requirements of EU environmental documents and develop measures to reform the energy sector, which is related to the introduction of modern environmentally safe waste management technologies. The use of waste as an alternative source of heat and electricity will contribute to reducing the mass of waste, high incineration temperature will guarantee their decontamination and reduce environmental pollution.

2. The results of experimental studies on the determination of hazardous chemical compounds in emissions into the air during the

хімічних сполук у викидах у повітря при роботі експериментальних установок по термічному видаленню відсортованих твердих побутових відходів та відходів агропромислового комплексу свідчать, що вміст цих забруднюючих речовин не перевищує встановлених гігієнічних нормативів для викидів із установок по спалюванню відходів.

3. При роботі стаціонарної установки по спалюванню несортованих твердих побутових відходів виявлено перевищення встановлених нормативів для сумарного ПХДД/ПХДФ, вмісту масової концентрації твердих частинок, фтористого водню та хлористого водню; сумарного вмісту сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію та їхніх сполук. Можливою причиною перевищення гігієнічних нормативів у викидах у повітря при роботі стаціонарної установки в порівнянні з експериментальними установками може бути різний склад ТПВ, які спалюються, відсутність попереднього сортування цих відходів та недостатня ефективність системи очищення димових газів.

4. Враховуючи спектр викидів із досліджених установок по спалюванню відходів та дані літератури щодо впливу на здоров'я людини окремих сполук, які містяться у їхніх викидах, можна зробити припущення, що робота досліджених нами установок також може підвищувати ризик для здоров'я як працівників цих установок, так і населення, яке мешкає поблизу. Цей ризик може бути обумовлений як канцерогенними, так і неканцерогенними ефектами.

5. В Україні при створенні власної індустрії управління відходами слід запровадити накопичений в ЄС позитивний досвід організації та функціонування ефективної системи поводження з відходами, а саме, запровадити систему збору та сортування ТПВ та використання термічного методу видалення відходів як альтернативного джерела енергії. Водночас установки по спалюванню ТПВ повинні бути обладнані сучасними системами очищення димових газів, які мають включати електрофільтри, мокрі або напівсухі скрубери, систему денітрифікації, рукавні фільтри, фільтри з активованим вугіллям.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

operation of experimental plants for the thermal removal of sorted solid household waste and waste from the agricultural and industrial complex show that the content of these pollutants does not exceed the established hygienic standards for emissions from waste incineration plants.

3. During the operation of the stationary facility for burning unsorted solid household waste, it was found that the established norms were exceeded for total PCDD/PCDF, the content of the mass concentration of solid particles, hydrogen fluoride and hydrogen chloride; total content of antimony, arsenic, lead, chromium, cobalt, copper, manganese, nickel, vanadium and their compounds. A possible reason for exceeding the hygienic standards in air emissions during the operation of a stationary facility compared to experimental facilities may be the different composition of solid waste that is burned, the lack of preliminary sorting of these wastes, and the insufficient efficiency of the flue gas treatment system.

4. Taking into account the spectrum of emissions from the investigated waste incineration plants and the literature data on the impact of individual compounds contained in their emissions on human health, it can be assumed that the work of the plants we studied can also increase the risk to health for both workers of these facilities and the population living nearby. This risk can be due to both carcinogenic and non-carcinogenic effects.

5. In Ukraine, when creating its own waste management industry, the best practices accumulated in the EU in the organization and operation of an effective waste management system should be implemented, namely, a system for collecting and sorting solid waste and using a thermal method of waste removal as an alternative energy source. At the same time, SHW incineration facilities should be equipped with modern flue gas treatment systems, which should include electric filters, wet or semi-dry scrubbers, a denitrification system, sleeve filters, and filters with activated carbon.

Conflict of interest. The authors declare that there is a conflict of interest.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ/REFERENCES

1. BAFU (Federal Office for the Environment), Waste statistics: Data for 2014. Available at <http://www.bafu.admin.ch/abfall/01517/01519/16087/index.html?lang=en> [Accessed 13.07.2016].
2. Pierre Le Cloirec Treatments of polluted emissions from incinerator gases: a succinct review. *Rev Environ Sci Biotechnol.* 2012;11:381-92. DOI:10.1007/s11157-012-9265-z.
3. Wu J, Ying Y, Ma Y, Zheng S, Lin X, Li X, et al. Influence of different loads on PCDD/F removal by SCR during municipal solid waste incineration. *Chemosphere.* 2023;338:139516. DOI:10.1016/j.chemosphere.2023.139516. Epub 2023 Jul 14. PMID: 37454983
4. Jones AM, Harrison RM. Emission of ultrafine particles from the incineration of municipal solid waste: A review. *Atmospheric Environment.* 2016;140:519-28.
5. Ahn C, Jeung EB. Endocrine-Disrupting Chemicals and Disease Endpoints. *Int J Mol Sci.* 2023;24(6):5342. DOI:10.3390/ijms24065342. PMID: 36982431; PMCID: PMC10049097.
6. Svoboda K, Hartman M, Syc M, Pohofely M, Kamenikova R, Jeremias M, et al. Possibilities of mercury removal in the dry flue gas cleaning lines of solid waste incineration units. *Journal of Environmental Management.* 2016;166:499-511.
7. Zhang H, He P-J, Shao L-M. Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration in Shanghai. *Journal of Hazardous Materials.* 2008;15:365-73.
8. Walser T, Limbach LK, Brogioli R, Erismann E, Flamigni L, Hattendorf B, et al. Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant. *Nature Nanotechnology.* 2012;7:520-4.
9. Zhou H, Meng A, Long Y, Li Q, Zhang Y. A review of dioxin-related substances during municipal solid waste incineration. *Waste Management.* 2015;36: 106-18.
10. Liu S, Wang B, He J, Tang X, Luo W, Wang C. Source Fingerprints of Volatile Organic Compounds Emitted from A Municipal Solid Waste Incineration Power Plant in Guangzhou, China. *Procedia Environmental Sciences.* 2012;12:106-15.
11. Ramos L, Eljarrat E, Hernandez LM, Alonso L, Rivera J, Gonzales MJ. Levels of PCDDs in farm cow's milk located near potential contaminant sources in Asturias (Spain). Comparison with levels found in control, rural farms and commercial pasteurized cow's milks. *Chemosphere.* 1997;35:2167-79.
12. Mukerjee D. Health impact of polychlorinated dibenzodioxins: a critical review. *J Air Waste Manag Assoc.* 1998;48:157-65.
13. Johnson BL. Impact of hazardous waste on human health. US: CRC Press; 1999.
14. Allsopp M, Costner P, Johnston P. Incineration and human health. State of knowledge of the impact of waste incinerators on human health. Executive summary. *Environ Sci & Pollut Res.* 2001;8:141-5.
15. Vrijheid M. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature. *Environ Health Perspect.* 2000;108 (Suppl 1): 101-12.
16. Francchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. *Ann Ist Super Sanita.* 2004;40(1):101-15.
17. Meng X, Lu B, Liu C, Zhang Z, Chen J, Herrmann H, et al. Abrupt exacerbation in air quality over Europe after the outbreak of Russia-Ukraine war. *Environ Int.* 2023;178:108120. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108120. Epub 2023 Jul 26. PMID: 37527587.
18. Richard J. Roberts, Mengfang Chen Waste incineration - how big is the health risk? A quantitative method to allow comparison with other health risks. *Journal of Public Health* 2006;28(3):261-6. DOI: 10.1093/pubmed/fdl037. Epub 2006 Jul 25.
19. Директива 2000/76/ЄС «On the incineration of waste». [Directive 2000/76/ЄС «On the incineration of waste»].
20. Директива 2010/75/ЄС «On industrial emissions (integrated pollution prevention and control)». [Directive 2010/75/ЄС «On industrial emissions (integrated pollution prevention and control)»].
21. МВ №4751-88 від 12.12.1988 р. «Методические указания по фотометрическому измерению концентраций оксида и диоксида азота в воздухе рабочей зоны». [MV №4751-88 dated 12.12.1988 "Methodical instructions for photometric measurement of nitrogen oxide and dioxide concentrations in the air of the working zone"].
22. МВ №4588-88 від 30.03.1988 р. «Методические указания по фотометрическому измерению концентраций серной кислоты и диоксида серы в присутствии сульфатов в воздухе рабочей зоны». [MV №4588-88 dated 30.03.1988 "Methodical instructions for photometric measurement of concentrations of sulfuric acid and sulfur dioxide in the presence of sulfates in the air of the working area."].
23. МВ №1645-77 від 18.04.1977 р. «Методические указания на фотометрическое определение хлористого водорода в воздухе». [MV №1645-77 dated 04/18/1977 "Methodical instructions for the photometric determination of hydrogen chloride in air"].
24. ISO 9096:2003 Stationary source emissions. Manual determination of mass concentration of particulate matter (IDT).
25. ISO 15713:2006 Stationary source emissions – Sampling and determination of gaseous fluoride content (IDT).
26. US EPA – Method 29 Determination of metals emissions from stationery sources.
27. ISO 15202:2012 Workplace air - Determination of metals and metalloids in airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.
28. US EPA – Method 1613 Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS.
29. Ari Setyan, Michael Patrick, Jing Wang Emissions of airborne pollutants from the municipal solid waste incineration plants of Giubiasco (TI) and Hinwil (ZET) Final

- Report (12/2015-4/2016)//Empa materials Science and Technology. 24 p.
30. Безрук ЗД, Порев В.А. Дослідження приземних концентрацій викидів сміттєспалювального заводу «Енергія». Проблеми машиностроєння. 2013;16(6)37–42. [ZD Bezruk, VA Porev. Study of surface concentrations of emissions from the "Energia" waste incineration plant. Problems of mechanical engineering. 2013;16(6)37–42].
31. Dong J, Tang Y, Nzihou A, Chi Y, Weiss-Hortala E, et al. Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: theoretical-analysis and case study of commercial plants. Science of the Total Environment. Elsevier. 2018;626:744–53.
32. Van Velzen D, Langenkamp H. EUR 16435 – Antimony (Sb) in urban and industrial waste and in waste incineration. ECSC-EC-EAEC Brussels Luxembourg. 1996, 24 p.
33. IARC Monograph. Antimony and antimony compounds. 1989;47:291.
34. Wang Q, Jin Yu, Xiaodong L, Chen J, Lu S, et al. PCDD/F Emissions from Hazardous Waste Incinerators in China. Aerosol and Air Quality Research. 2014;14:1152–9.
35. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про імплементацію Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» №847-р від 17.09.2014 р. [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On the implementation of the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand" №847-r dated September 17, 2014].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Проданчук Микола Георгійович — доктор медичних наук, професор, член-кореспондент НАМН України, директор Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна. ORCID 0000-0002-9229-9761.

Сноз Сергій Валентинович — кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу наукових основ аналізу ризику хімічних факторів Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна, 044-522-31-92. Email: sns.v.medved@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3826-7486.

Смердова Лариса Миколаївна — кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу наукових основ аналізу ризику хімічних факторів Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна, 044-522-31-92. Email: lara23.medved@gmail.com. ORCID:0000-0003-3883-3844.

Кудрявцева Алла Григорівна — кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник відділу аналітичної хімії Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна. ORCID:0000-0002-6988-6140.

Видрін Дмитро Юрійович — інженер I категорії відділу аналітичної хімії Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна.

Калашніков Андрій Андрійович — доктор медичних наук, професор, провідний науковий співробітник Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна. Email: danko48@i.ua. ORCID: 0000-0003-0269-4870.

Бобильова Ольга Олександрівна — кандидат медичних наук, головний консультант Державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України». Адреса: вул. Героїв Оборони, 6, 03127, м. Київ, Україна, 044-521-30-44. Email: boo.medved@gmail.com.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВНЕСОК КОЖНОГО АВТОРА/
INFORMATION ON CONTRIBUTION OF EACH AUTHOR

М.Г. Проданчук / M. Prodanchuk ^G

С.В. Сноз / S. Snoz ^{A,C,D,E}

Л.М. Смердова / L. Smerdova ^{A,C,D}

А.Г. Кудрявцева / A. Kudriavtseva ^{B,C}

Д.Ю. Видрін / D. Vydrin ^B

А.А. Калашніков / A. Kalashnikov ^F

О.О. Бобильова / O. Bobylova ^F

Стаття надійшла до редакції 24.06.2024 р.

Дата рецензування 22.07.2024 та 25.07.2024 р.

Дата публікації (оприлюднення) 09.01.2025 р.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mykola Prodanchuk – DSc in Medicine, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Director of the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise).

Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine. ORCID 0000-0002-9229-9761.

Serhii Snoz – PhD in Biology, Senior Researcher at the Department of Scientific Foundations of Chemical Factors Risk Analysis of the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise) Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine. Phone: +38 (044) 522-31-92. Email: sns.v.medved@gmail.com. ORCID: 0000-0002-3826-7486.

Larysa Smerdova – PhD in Biology, Senior Researcher at the Department of Scientific Foundations of Chemical Factors Risk Analysis of the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise) Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine. Phone: +38 (044) 522-31-92. Email: lara23.medved@gmail.com.

ORCID: 0000-0003-3883-3844.

Alla Kudriavtseva – PhD in Biology, Senior Researcher at the Department of Analytical Chemistry of the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise) Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine.

ORCID: 0000-0002-6988-6140.

Dmytro Vydrin – 1st category engineer at the Department of Analytical Chemistry of the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise) Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine.

Andrii Kalashnikov – DSc in Medicine, Professor, Leading Researcher at the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise). Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine. Email: danko48@i.ua. ORCID: 0000-0003-0269-4870.

Olha Bobylova – PhD in Medicine, Chief Consultant at the L.I. Medved's Research Centre of Preventive Toxicology, Food and Chemical Safety, Ministry of Health, Ukraine (State Enterprise). Address: 6, Heroiv Oborony str., 03127, Kyiv, Ukraine. Phone: +38 (044) 521-30-44.

Email: boo.medved@gmail.com.

The article was received by the editors on June 24, 2024

Review date July, 22 and 25, 2024

Publication date January, 09, 2025