

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**САГДЄЄВА ОЛЬГА АНІСІВНА**

Прим. № 2  
УДК 628.472.3

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ  
ХАРЧОВОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Галузь знань 10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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



О.А. Сагдєєва

Науковий керівник **Крусір Галина Всеволодівна**,  
доктор технічних наук, професор

Одеса – 2018

## АНОТАЦІЯ

**Сагдєєва О.А. Удосконалення технології компостування харчової складової твердих побутових відходів.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2018.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради К 45.052.05. Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України, Кременчук, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичного завдання підвищення рівня екологічної безпеки звалищ твердих побутових відходів шляхом запровадження удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ. Оскільки до 40% ТПВ відноситься до органічних відходів, що легко розкладаються, вилучення цієї частини відходів зі звалищ за рахунок компостування та перетворення відходу на вторинний матеріальний ресурс дозволить суттєво зменшити екологічне навантаження фактично розміщених та потенційно запланованих звалищ на довкілля.

Проведено ідентифікацію та оцінку екологічних аспектів функціонування звалищ ТПВ, визначено механізм формування екологічної небезпеки під їх впливом. Здійснено аналіз та оцінку рівня екологічної небезпеки з використанням системи комплексних показників, що характеризують ймовірність виникнення і ступінь екологічної небезпеки.

Розроблено алгоритм управління екологічною безпекою звалищ ТПВ, де об'єктом управління є морфологічний склад відходів, які здатні до метаногенезу та є основним джерелом утворення парникових газів і виникнення аварійної ситуації.

Оцінено емісію парникових газів та визначено обсяги метаноутворення на території звалища, оцінено ступінь їх зниження через впровадження комплексної системи компостування харчової частини ТПВ з внесенням

мікробіологічних або мінеральних добавок.

Для удосконалення технології компостування харчової складової ТПВ обґрунтовано внесення до компостної суміші мінеральних або мікробіологічних добавок, що приведе до активації мікробної активності на початкових стадіях процесу. В ході експерименту досліджували абіотичні, біотичні та показники зрілості отриманого компосту. Доведено, що процес дозрівання компосту при внесенні мінеральної добавки прискорюється в 2,2 рази за термофільних умов та в 1,4 рази – за мезофільних, а процес дозрівання компосту при внесенні мікробіологічної добавки прискорюється в 3,3 та в 2,1 рази відповідно.

Реалізація удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ дозволить суттєво зменшити обсяги відходів, що складаються, викиди парникових газів, в тому числі метану, та отримати органо-мінеральне добриво високої якості як кінцевий продукт переробки.

**Ключові слова:** звалище твердих побутових відходів, рівень екологічної безпеки, метаногенез, мінеральна і мікробіологічна добавка, компостування.

#### **Список публікацій здобувача:**

##### ***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:***

1. Сагдеева О.А., Цыкало А.Л. Распространение опасных примесей, сопровождающееся их переходом через границу раздела атмосферный воздух-водная среда. *Холодильная техника и технология*. Одеса: ОНАХТ, 2009. № 1. С. 53–59.

2. Цикало А.Л., Сагдеева О.А. Забезпечення безпеки низькотемпературних великотоннажних сховищ екологічно шкідливих, вибухо- і пожежонебезпечних речовин і матеріалів. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса: ОНАХТ, 2009. Вип. 35. Том 1. С. 74–78.

3. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Определение уровней рисков, связанных с аварийными разливами из крупнотоннажных хранилищ. *Холодильная техника и технология*. Одеса: ОНАХТ, 2010. №4 (126). С. 39–45.

4. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А., Попов Д.В. Математическое моделирование процессов распространения примеси на границе «воздух-вода». *Холодильная техника и технология*. Одеса: ОНАХТ, 2010. № 5 (127). С. 44–48.

5. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Моделирование распространения опасной примеси в атмосфере с учетом ее поглощения водной средой. *Вісник НУК імені адмірала Макарова*. Миколаїв: НУК, 2012. № 2. С. 207–222.

6. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Причины, последствия и уроки крупных химических катастроф (Ионава, Литва, 1989 г.; Техас, США, 2013 г.): колективна монографія / Под ред. Л.Г. Мельника, О.А. Лукаш. Сумы: Сумский государственный университет, 2015. С. 745–753.

7. Sagdeeva O.A., Krusir G.V., Tsykalo A.L., Shpyrko T.V., Leuenberger H.. Organic waste composting using mineral additives. *Харчова наука і технологія*. 2018. Том 12. № 1. С. 45–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.842>.

8. Сагдєєва О.А., Крусір Г.В., Цикало А.Л. Дослідження впливу температурного режиму на перебіг процесів компостування органічного компоненту твердих муніципальних відходів. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: «Харчові технології»*. 2018. Т. 20. № 85. С. 155–161. DOI: 10.15421/nvlvet8528.

9. Сагдєєва О.А., Крусір Г.В., Цикало А.Л. Дослідження процесів компостування харчової складової твердих побутових відходів. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 4(2). С. 13–23. DOI: 10.5281/zenodo.1244572.

***Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:***

10. Tsykalo A., Sagdeeva O., Tkachenko V., Trifonova E. Ecologically strained and potentially hazardous coastal-zone objects in Ukraine: risks of accidents assessment. *Integration Processes and Innovative Technologies. Achievements and Perspectives of Engineering Sciences*: тези доповідей

міжнародної наук. конф. (Харків, 19–20 травня 2008 р.). Харків, 2008. – С. 146–148.

11. Сагдеева О.А. Оценка уровня техногенной безопасности региона при распространении опасных веществ с учетом влияния водных объектов. *Екологічна безпека держави: матеріали Всеукраїнської наук. конф. студентів та аспірантів*. (Київ, 21–24 квітня 2009 р.) К.: 2009. – С. 60–61.

12. Сагдеева О.А., Цыкало А.Л. Распространение опасных веществ при авариях: учет влияния водных объектов. *Регіональні екологічні проблеми: тези доповідей II Міжнародної наук. конф. студентів, магістрантів і аспірантів* (Одеса, 21–25 квітня 2009 р.). Одеса, 2009. – С. 271–272.

13. Сагдеева О.А., Цикало А.Л., П'ятниченко В.В. Сучасна енергетика та газові гідрати: проблема екологічної безпеки. *Humboldt-Kollege «Sciences, engineering and humanities for the energy world: тези доповідей Міжнародного симпозіуму* (Одеса, 27–30 травня, 2009 р.). Одеса, 2009. – С. 98–103.

14. Сагдеева О.А., Цикало А.Л. Автоматизована інформаційна комп'ютерна система моделювання процесів при аварійних розливах і викидах небезпечних речовин та матеріалів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (Microcad-2010): тези доповідей XVIII міжнародної наук.-практ. конф.* (Харків, 12–14 травня 2010 р.). Харків, 2010. – С. 38–40.

15. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A., Blyukher B. Urban safety on the ecological risks' determination aspect. *Еколого-енергетичні проблеми початку XXI століття* матеріали X всеукраїнської наук.-техн. конф. студентів і аспірантів (Одеса, 19–20 квітня 2010 р.). Одеса, 2010. – С. 11–12.

16. Цикало А.Л., Сагдеева О.А., Blyukher B. Методика розрахунку ризиків, пов'язаних із техногенними аваріями та катастрофами. *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: тези доповідей IX Міжнародної наук.-метод. конф.* (Львів, 20–22 травня 2010 р.). Львів, 2010. – С. 56–57.

17. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Новый принцип ранжирования территорий и акваторий по уровню экологического риска. *Актуальні проблеми енергетики і екології*: матеріали XIV Міжнародної конференції (Одеса, 20–23 вересня 2012 р.). Одеса, 2012. – С. 143–145.

18. Сагдеева О.А., Цыкало А.Л. Методика определения уровней риска для экологически напряженных и потенциально опасных прибрежных объектов. *Актуальні проблеми енергетики і екології*: матеріали XV Міжнародної конференції (Одеса, 9–11 жовтня 2013 р.). Одеса, 2013. – С. 46–47.

19. Sagdeeva O.A., Krusir G.V. Effect of filtrate from the MSW landfills on the quality of decentralized drinking water supply sources. *Вода в харчовій промисловості*: Тези доповідей наук.-практ. конференції (Одеса, 3-4 квітня 2018 р.). Одеса, 2018. – С. 145–148.

20. Сагдеева О.А., Коваленко И.В. Ресурсосберегающее компостирование пищевой составляющей бытовых отходов. *Техника и технология пищевых производств*: матер. XII Міжнародної наук.-техн. конф. (Могильов, 19–20 квітня 2018 р.). Могильов: МГУП, 2018. – Т.2. – С. 413–414.

21. Сагдеева О.А. Методологічні підходи до комплексної оцінки екологічної небезпеки звалищ ТПВ. *Еколого-енергетичні проблеми сучасності*: матеріали XV Всеукраїнської наук.-техн. конф. (Одеса, 13 квітня). Одеса, 2018. – С. 46–47.

22. Сагдеева О.А., Крусір Г.В. Роль комплексної оцінки впливу звалищ твердих побутових відходів на довкілля в управлінні екологічною безпекою. *Ідеї академіка В.І. Вернадського і науково-практичні проблеми сталого розвитку освіти і науки*: матеріали XVIII Міжн. наук.-практ. конф. (Кременчук, 11-13 травня 2018 року). Кременчук, 2018. – С.110–111.

## ABSTRACT

***Sagdeeva O.A.*** **Improvement of the composting technology of food component of the municipal solid waste.** - Qualifying scientific work on the manuscript right.

Thesis for a candidate's degree by specialty 21.06.01 - ecological safety. Odessa National Academy of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2018.

The defense of the dissertation will be held at the Specialized Academic Council K45.052.05 meeting. Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kremenchuk, 2018.

The dissertation is devoted to solving the problem of the ecological safety level increasing by introducing an advanced technology of the MSW food component composting. Waste management remains the one of the priority areas of activity and environmental safety in developed countries in two main contexts: environmental protection and resource conservation.

In the average city dumps hundreds of thousands of tons of the MSW are accumulated annually. Equipped without modern engineering and environmental requirements, the MSW landfills are the powerful sources of the environmental pollution. Anaerobic decomposition of the MSW organic components in landfills leads to annual emissions of greenhouse gases, in particular, more than 300 thousand tons of methane. Therefore, studies on the impact assessment of landfill sites on the environment are of particular relevance, in particular, greenhouse gas emission estimate. Since up to 40% of solid waste is classified as easily decomposable organic waste, removing this part of waste from landfills by composting and turning waste into secondary material resources will substantially reduce the environmental burden of actually and potentially planned landfills on the environment.

The work purpose is to increase the ecological safety level of the MSW landfills by introducing an improved technology of the MSW food component

composting.

On the basis of the set goal and the research tasks, the main directions of theoretical and experimental research are determined, the program of their implementation is developed, the sequence and the causal relationship between the research program stages are established.

The identified environmental aspects of the MSW landfills, namely inputs, outputs and risks, are presented in the form of balance schemes that allow to take into account both real and potential impacts on the environmental components.

Taking into account that the sources of negative influence, the environmental aspects of landfills, the objects of the environment to which they affect, constitute a single interrelated system of objects and phenomena in the natural and man-made environment, a mechanism for the MSW landfills ecological hazard formation is developed, which includes and combines the stages of functioning landfill bioreactor stages, environmental aspects and negative environmental impacts.

In this work, an estimation of the ecological hazard level of the MSW landfills to environmental components is performed using such expert method as A, B, C - analysis (relevant tables, Leopold matrix). The analysis of the relevant tables can justify the removal of food and plant waste from the MSW morphological composition, as having the greatest impact on the environmental components, which is estimated at 514 points, due to the stage of microbiological processes and the largest amount of filtrate formation. This proves the need to develop technology solutions in the management of the MSW food component as a secondary resource of high potential.

In order to assess the environmental hazard level and the classification of objects and sources of negative impact on the environment, including landfills, in order to further taking into account, a comprehensive integrated index of environmental hazard Z is suggested.

The calculated values of the indices D and R make it possible to attribute the MSW landfill to the hazard group IV ( $1 < D < 4, 1 < R < 2$ ) as an object that generates



a significant environmental hazard for the environment both in the normal mode of operation and in the case emergency situation.

The calculation of the environmental risk level is carried out to assess the potential environmental hazard in the event of a fire on the MSW landfill and the release of toxic substances, in particular dioxins into the air. In the event of a large long fire on the landfill site, more than 10 hectares of, the ecological risk level is unacceptable ( $R_t > 10^{-5}$ ,  $R_i > 10^{-5}$ ).

In order to justify the possibility of greenhouse gas emissions reducing, the methane emissions from the MSW landfill have been evaluated. The amount of landfills' methane formation depends on the storage conditions, the mass of waste, the area climatic features and the content of the MSW biodegradable components. However, the MSW composition is a key indicator in the inventory of greenhouse gas emissions, since it affects both the biodegradable carbon content of waste as well as the rate of methane formation.

The comparative calculation of the methane formation from the landfill site into which the seven categories of waste falls and the landfill site without the food component indicates a significant reduction of the greenhouse gases' amount by 21%, and therefore a decrease in the levels of real and potential ecological risk of the MSW landfill, which justifies the necessity and expediency of separation food components from the total amount of solid waste.

The conducted assessment of the environmental hazard level of the MSW landfill can make a conclusion about its unsatisfactory state and determine the ways to increase it on the basis of a complex of technical and technological decisions on environmental safety management.

The most eco-efficient way of waste management is their utilization. In the case of waste disposal, biotechnology is of greatest interest. The perspective and efficiency of the biotechnological processes' application is due to their compactness and, at the same time, large-scale, high level of labor productivity. Composting, as a biotechnological method, is characterized by a number of advantages, the most in turn, the essential of which is the ensuring the substances'

circulation in nature, the increasing the agrocenosis' ecological stability and the cost-effectiveness of technological processes.

The most significant drawback of composting processes is their durability. In order to improve the composting technology of the MSW food component, it is substantiated that introducing into the compost mixture of mineral or microbiological additives will lead to the microbial activity activation in the initial stages of the process. During the experiment, the abiotic, biotic and maturity indices of the obtained compost were studied. It is proved that the process of maturation of the compost with the mineral additive is accelerated by 2.2 times under the thermophilic conditions and by 1.4 times by the mesophilic ones, and the process of maturation of the compost with the microbiological additive is accelerated by 3.3 times under the thermophilic conditions and by 2.1 times - for mesophilic ones.

The developed advanced technological scheme of compost production includes the following basic operations: the compost mixture mixing after being taken to the landfill and the stage separation, structural components and additives introducing, the mixture balancing, the bursts forming and the final product obtaining.

The improved technology of composting of the MSW food component is environmentally safe and economically feasible, as evidenced by the performed ecological and economic assessment of waste disposal technologies. Payback of the introduced technology is 6-10 years; the cost of the received compost is 76 UAH per ton, which is for 4 times less than the market value. The implementation of improved technology will allow to preserve the soil natural resource potential and to ensure stable high ecological and economic efficiency indicators by reducing the MSW amount and greenhouse gas emissions, by raising the environmental safety level in the region and by the obtaining a quality product.

**Key words:** landfill of municipal solid waste, environmental safety level, methanogenesis, mineral and microbiological additive, composting.

### **List of publications:**

#### ***Scientific works, in which the main scientific results of the dissertation are published:***

1. Sagdeeva O.A, Tsykalo A.L. Distribution of hazardous impurities, accompanied by their transition through the interface of the atmospheric air-water environment. *Refrigeration Engineering and Technology*. Odesa: ONAFT, 2009. Issue 1. P. 53–59.
2. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A. Providing safety of low-temperature large-capacity storage of environmentally harmful, explosive and fire hazardous substances and materials. *Scientific Works ONAFT*. Odesa: ONAFT, 2009. Issue. 35. Vol. 1. P. 74–78.
3. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A. Determination of the risks' levels associated with emergency spills from large-scale storage. *Refrigeration Engineering and Technology*. Odesa: ONAFT, 2010. Issue 4 (126). P. 39–45.
4. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A., Popov D.V. Mathematical modeling of impurity propagation processes on the air-water boundary. *Refrigeration Engineering and Technology*. Odesa: ONAFT, 2010. Issue 5 (127). P. 44–48.
5. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A. Modeling of the hazardous impurity propagation processes in the atmosphere, taking into account its absorption by the aqueous environment. *Transactions of Admiral Makarov National University of shipbuilding*. Mykolayiv. NUS, 2012. Issue 2. P. 207–222.
6. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A. Reasons, consequences and lessons of major chemical disasters (Jonava, Lithuania, 1989, Texas, USA, 2013): a monograph is co-authored / Ed. L.G. Melnik, O.A Lukash. Sumy: Sumy State University, 2015. P. 745–753.
7. Sagdeeva O.A., Krusir G.V., Tsykalo A.L., Shpyrko T.V., Leuenberger H.. Organic waste composting using mineral additives. *Food Science and Technology*.. 2018. Vol. 12. Issue 1. P. 45–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.842>.

8. Sagdeeva O.A, Krusir G.V, Tsykalo A.L. Investigation of the temperature regime impact on the course of composting processes of the solid municipal waste's organic component. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: "Food Technologies"*. 2018. Vol. 20. Issue. 85. P. 155-161. DOI: 10.15421 / nvlvet8528.

9. Sagdeeva O.A, Krusir G.V, Tsykalo A.L. Research of composting processes of solid domestic wastes' food composition. *Technogenic and ecological safety*. 2018. Issue. 4 (2). P. 13–23.

***Scientific works, testifying the approbation of dissertation materials:***

10. Tsykalo A., Sagdeeva O., Tkachenko V., Trifonova E. Ecologically strained and potentially hazardous coastal-zone objects in Ukraine: risks of accidents assessment. *Integration Processes and Innovative Technologies. Achievements and Perspectives of Engineering Sciences*: International scientific conference. (Kharkiv. 19–20 May 2008). Kharkiv, 2008. P. 146–148.

11. Sagdeeva O.A. Assessment of the level of region technogenic safety in the distribution of hazardous substances taking into account the impact of water bodies. *Ecological safety of the state*: Ukrainian scientific conference of students and postgraduates. (Kyiv, 21–24 April, 2009) Kyiv, 2009. P. 60–61.

12. Sagdeeva O.A., Tsykalo A.L. Distribution of hazardous substances in accidents: account of the influence of water bodies. *Regional environmental problems*: II International scientific conference of students, masters and postgraduates (Odessa, 21–25 April, 2009). Odessa, 2009. P. 271–272.

13. Sagdeeva O.A., Tsykalo A.L, Pyatnichenko V.V. Modern energy and gas hydrates: the problem of environmental safety. *Humboldt College "Sciences, Engineering and Humanities for the Energy World*: International Symposium (Odessa, 27–30 May, 2009). Odessa, 2009. P. 98–103.

14. Sagdeeva O.A, Tsykalo A.L Automated informational computer system of process simulation during emergency spills and emissions of hazardous substances and materials. *Information Technologies: Science, Technique,*

*Technology, Education, Health (Microcad-2010)*: XVIII International scientific and practical conference. (Kharkiv, 12–14 May, 2010). Kharkiv, 2010. P. 38–40

15. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A., Blyukher B. Urban safety on the ecological risks' determination aspect. *Ecological and energy problems of the beginning of the XXI century*: Ukrainian scientific and technical conference of students and graduate students and postgraduates (Odessa, 19–20 April, 2010). Odessa, 2010. P. 11–12.

16. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A., Blyukher V. Method of risks' calculation associated with man-made accidents and catastrophes. *Safety of life and human activity – education, science, practice*: IX International scientific and methodical conference (Lviv, 20–22 May, 2010). Lviv, 2010. P. 56–57.

17. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A. New principle of ranking of territories and water areas according to the level of environmental risk. *Actual problems of energy and ecology*: XIV International Conference (Odessa, 20–23 September 2012). Odessa, 2012. P. 143–145.

18. Sagdeeva O.A., Tsykalo A.L. The methodology for determining the levels of risk for environmentally stressful and potentially dangerous coastal objects. *Actual problems of energy and ecology*: XV International Conference (Odessa, 9–11 October 2013). Odessa, 2013. P. 46–47.

19. Sagdeeva O.A., Krusir G.V. Effect of filtrate from the MSW landfills on the quality of decentralized drinking water supply sources. *Water in the food industry*: Scientific and practical conference (Odessa, 3–4 April, 2018). Odessa, 2018. P. 145–148.

20. Sagdeeva O.A., Kovalenko I.V. Resource-saving composting of the food component of household waste. *Technology and technology of food production*: XII International Scientific and Technical conference (Mogilev, 19–20 April, 2018). Mogilev: MGUP, 2018. Vol. 2. P. 413–414

21. Sagdeeva O.A. Methodological approaches to a comprehensive assessment of the ecological hazard of landfill of solid waste. *Ecological and*

*energy problems of the present: XV Ukrainian scientific conference* (Odessa, 13th April). Odessa, 2018. P. 46–47.

22. Sagdeeva O.A., Krusir G.V. The role of integrated assessment of the impact of landfill of solid domestic waste on the environment in the management of environmental safety. *Ideas of Academician V.I. Vernadsky and problems of sustainable development of the regions: XVII International scientific and practical conference* (Kremenchuk, 11–13 May, 2018). Kremenchuk, 2018. P.110–111.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 19 |
| 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....  | 26 |
| 1.1 Аналіз принципів управління екологічною безпекою у сфері<br>поводження з відходами.....              | 26 |
| 1.1.1 Визначення ролі екологічної безпеки в концепції<br>сталого розвитку.....                           | 26 |
| 1.1.2 Сучасний стан сфери поведження з ТПВ в Україні.....  | 28 |
| 1.2 Екологічні аспекти взаємодії звалищ з довкіллям.....   | 33 |
| 1.2.1 Процеси, які протікають на звалищах.....   | 34 |
| 1.2.2 Забруднення атмосферного повітря газоподібними<br>речовинами звалища.....                          | 37 |
| 1.2.3 Вплив звалищ на водні об'єкти .....  | 39 |
| 1.2.4 Забруднення ґрунтів звалищем ТПВ.....  | 40 |
| 1.3 Аналіз сучасних методів оцінки рівня екологічної небезпеки<br>звалищ твердих побутових відходів..... | 41 |
| 1.4 Аналіз процесів метаноутворення на звалищах ТПВ.....   | 46 |
| 1.5 Порівняльна характеристика біотехнологічних методів<br>утилізації органічних відходів.....           | 50 |
| 1.6 Утилізація органічної складової ТПВ методом<br>компостування.....                                    | 54 |
| 1.7 Висновки до розділу 1.....   | 60 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО КОМПЛЕКСНОЇ<br>ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗВАЛИЩ ТПВ.....            | 62 |
| 2.1 Методологія управління екологічною безпекою звалищ<br>ТПВ.....                                       | 62 |
| 2.2 Характеристика об'єкту дослідження.....  | 65 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3 Методи і методики, які використовуються в експериментальних дослідженнях.....                         | 73        |
| 2.3.1 Методика визначення складу проб атмосферного повітря.....   | 73        |
| 2.3.2 Методика визначення складу проб водних об'єктів (фільтрату з відстійників).....                     | 75        |
| 2.3.3 Методика визначення складу проб ґрунтів.....  | 78        |
| 2.3.4 Приготування компостних сумішей, проведення процесу компостування і відбір проб.....                | 79        |
| 2.4 Методики оцінки рівня екологічної небезпеки звалища ТПВ...  | 82        |
| 2.4.1 Методика експертної оцінки рівня екологічної безпеки..  | 82        |
| 2.4.2 Методика індексної оцінки рівня екологічної безпеки.....  | 83        |
| 2.4.3 Методика оцінки екологічного ризику звалищ ТПВ.....   | 84        |
| 2.4.4 Методика розрахунку емісії парникових газів та дослідження процесів метаноутворення на звалищах.... | 86        |
| 2.5 Розробка алгоритму управління екологічною небезпекою звалищ ТПВ.....                                  | 87        |
| 2.6 Висновки до розділу 2.....  | 89        |
| <b>РОЗДІЛ 3 ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗВАЛИЩ ТПВ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ.....</b>                           | <b>91</b> |
| 3.1 Оцінка впливу звалища ТПВ на довкілля експертним методом.....   | 91        |
| 3.2 Комплексна індексна оцінка екологічної небезпеки звалища ТПВ.....                                     | 94        |
| 3.3 Оцінка екологічного ризику звалища ТПВ.....   | 102       |
| 3.4 Оцінка викидів метану зі звалища ТПВ.....   | 109       |
| 3.5 Висновки до розділу 3.....  | 115       |



## РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НА ПРОЦЕСИ

|  |     |
|--|-----|
| КОМПОСТУВАННЯ ТПВ.....   | 117 |
| 4.1 Дослідження впливу мінеральних добавок на процеси компостування.....   | 117 |
| 4.1.1 Характеристика компостних сумішей.....   | 117 |
| 4.1.2 Характеристика мінеральної добавки.....  | 119 |
| 4.1.3 Характеристика інокуляту.....  | 120 |
| 4.1.4 Дослідження зміни абіотичних показників .....  | 123 |
| 4.1.5 Дослідження зміни біотичних факторів .....   | 126 |
| 4.1.6 Дослідження показників зрілості компосту .....   | 129 |
| 4.2 Дослідження впливу мікробіологічних добавок на процеси компостування.....                                      | 131 |
| 4.2.1 Характеристика мікробіологічних добавок.....   | 131 |
| 4.2.2 Зміна рН компостних сумішей при додаванні мікробіологічної добавки.....                                      | 131 |
| 4.2.3 Дослідження зміни вмісту органічних речовин в компостних сумішах при додаванні мікробіологічної добавки..... | 133 |
| 4.2.4 Дослідження показників зрілості компосту при використанні біодобавки.....                                    | 136 |
| 4.3 Висновки до розділу 4.....   | 138 |

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

|  |     |
|--|-----|
| КОМПОСТУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СКЛАДОВОЇ ТПВ.....                      | 140 |
| 5.1 Організація ділянки та обладнання лінії сортування.....    | 140 |
| 5.2 Організація ділянки та обладнання лінії компостування..... | 143 |
| 5.2.1 Обґрунтування вибору системи компостування.....          | 144 |
| 5.2.2 Технологія приготування вихідних компостних сумішей..... | 148 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2.3 Обґрунтування складу і функціонально-фізіологічних властивостей мінеральних та мікробіологічних добавок..... | 149 |
| 5.2.4 Технологія отримання мінеральних і мікробіологічних добавок.....   | 150 |
| 5.2.5 Обґрунтування температурного режиму.....   | 152 |
| 5.2.6 Удосконалення технологічної схеми компостування.....   | 154 |
| 5.3 Економічне обґрунтування ефективності удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ.....       | 157 |
| 5.4 Висновки до розділу 5.....   | 158 |
| ВИСНОВКИ.....  | 160 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 162 |
| Додаток А.....   | 185 |
| Додаток Б.....   | 192 |
| Додаток В.....   | 199 |
| Додаток Г.....   | 205 |
| Додаток Д.....   | 211 |
| Додаток Е.....   | 221 |
| Додаток И.....   | 224 |
| Додаток К.....   | 228 |

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Серед екологічних проблем України поводження з відходами споживання посідає провідне місце. Недосконалість механізмів сортування та вторинної переробки в сучасних умовах підтверджує актуальність проблеми поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в місцях їх фактичного складування. Особливу екологічну небезпеку накопичення ТПВ на полігонах і звалищах становить їх специфічність: генетично властива їм хімічна неоднорідність, локалізоване розташування та довготривала негативна дія на компоненти довкілля. Це зумовлює доцільність досліджень із вивчення особливостей формування екологічної небезпеки звалищ ТПВ з метою контролю та нормування.

На міських звалищах щорічно накопичуються сотні тисяч тон побутових відходів. В Україні нараховується близько 2000 об'єктів складування відходів, які були організовані без проектів та інженерно-гідрогеологічних вишукувань. Місцезнаходження, облаштування та умови експлуатації більшості місць видалення відходів не відповідають нормативним вимогам. Як правило, такі звалища на сьогодні розташовані вже в межах міських територій, займають значні площі. Результати світових і вітчизняних розробок у сфері поводження з відходами дозволили сформувані основні методологічні підходи до формування механізму як оцінки негативного впливу звалищ ТПВ на довкілля, так й розробки заходів з управління екологічною безпекою. Однак, аналіз досліджень з оцінки стану місць видалення відходів в Україні доводить, що звалища функціонують в умовах відсутності організованого механізму перетворення їх на природоохоронні системи, постійний потік відходів виключає умови для рекультивації, а довготривалі процеси знешкодження відходів та їх метаболітів вилучають територію звалища як зону екологічного лиха з системи природокористування. Отже, виникає необхідність удосконалення існуючих і розробки нових технологічних рішень із підвищення рівня екологічної безпеки функціонуючих звалищ ТПВ.

У випадку з утилізацією ТПВ значний інтерес представляють біотехнологічні методи. Перспективність та ефективність застосування біотехнологічних процесів обумовлена високим рівнем їх продуктивності. Ці процеси піддаються контролю та регулюванню, реалізуються у нормальних умовах, є природними і не мають побічних негативних впливів на біоту та навколишнє середовище, не вимагають значних земельних площ, не потребують застосування пестицидів, гербіцидів та інших чужорідних для навколишнього середовища агентів. Оскільки до 40% ТПВ відноситься до органічних відходів, що легко розкладаються, вилучення цієї частини відходів зі звалищ за рахунок компостування та перетворення відходу на вторинний матеріальний ресурс дозволить суттєво зменшити екологічне навантаження фактично розміщених та потенційно запланованих звалищ на довкілля. Проте сьогодні цей метод утилізації ТПВ в Україні не користується широкою популярністю через тривалий процес реалізації та недоліки технологічної організації.

Таким чином, дисертаційна робота присвячена розв'язанню *актуального науково-практичного завдання*, що полягає в науковому обґрунтуванні та удосконаленні технології компостування харчової складової твердих побутових відходів з метою підвищення рівня екологічної безпеки звалищ ТПВ.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року», в частині «...поліпшення екологічної ситуації та підвищення рівня екологічної безпеки» де одним із завдань є «...забезпечення зберігання побутових відходів на спеціалізованих та екологічно безпечних полігонах». Також, дисертація спрямована на виконання Закону України «Про відходи», відповідно до якого з 01.01.2018 р. забороняється складування компонентів ТПВ на звалищах без їхньої попередньої переробки. Результати досліджень відповідають науковому напрямку кафедри екології та природоохоронних

технологій ОНАХТ і виконувалась за безпосередньої участі дисертанта згідно з тематикою науково-дослідницької роботи кафедри, а саме: «Удосконалення технології компостування харчової складової твердих побутових відходів» (№ ДР 01148U001402).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки звалищ ТПВ шляхом запровадження удосконаленої технології компостування харчової складової відходів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати принципи ідентифікації й оцінки екологічних аспектів функціонування звалищ ТПВ;
- дослідити механізм формування екологічної небезпеки звалищ ТПВ на основі системи комплексних показників;
- розробити алгоритм управління екологічною безпекою звалищ ТПВ з чітким визначенням значимих, з точки зору формування рівня екологічної небезпеки, об’єктів управління;
- обґрунтувати технологію переробки органічної частини твердих відходів шляхом компостування;
- удосконалити технологію компостування органічної частини ТПВ за рахунок інтенсифікації природних механізмів внаслідок додавання мінеральних та мікробіологічних добавок;
- провести еколого-економічну оцінку ефективності розроблених технічних рішень щодо управління екологічною безпекою звалищ ТПВ.

**Об’єкт дослідження** – процес екологічно безпечного поводження з твердими побутовими відходами в умовах функціонуючих звалищ і полігонів.

**Предмет дослідження** – підвищення рівня екологічної безпеки звалищ відходів споживання шляхом удосконалення технології компостування харчової складової ТПВ.

**Методи дослідження.** Наукові дослідження базуються на застосуванні системного аналізу процесів формування екологічної небезпеки та здійснювалися із використанням загальнонаукових методів пізнання. В роботі

застосовано комплексний метод досліджень, а саме: ранжувально-експертного аналізу та елементно-теоретичного синтезу для узагальнення результатів досліджень процесів, які відбуваються в тілі звалищ твердих побутових відходів; методи та засоби теорії ймовірності та прикладної статистики, графоаналітичного та числового аналізу для обробки та інтерпретації результатів досліджень. Методи експериментальних досліджень включали індексну оцінку, експертні, статистично-ймовірнісні методи, стандартизовані хімічні, біохімічні, фізико-хімічні та мікробіологічні методи на кожному з етапів розробленої та реалізованої програми дисертаційних досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в обґрунтуванні та розробці техніко-технологічних рішень із забезпечення екологічної безпеки звалищ ТПВ та мінімізації їх негативного впливу на довкілля. До основних результатів, що відображають наукову новизну роботи, належать такі:

- *вперше* науково обґрунтовано та експериментально підтверджено доцільність застосування способу компостування харчової складової ТПВ із застосуванням мінеральної та мікробіологічної добавок, що дозволяє інтенсифікувати процес розкладання органічної частини відходів, зменшити їх обсяг на території звалища, як наслідок – знизити рівень екологічної небезпеки та одержати екологічно безпечний продукт – компост;

- *вперше* встановлено технологічні особливості включення мінеральної та мікробіологічної добавок до компостних сумішей із харчовою складовою ТПВ, що дозволяє визначати режимні параметри проведення технологічних операцій поводження з відходами;

- *вперше* встановлено закономірності впливу мінеральної та мікробіологічної добавок на біогенні та абіогенні параметри процесів компостування, що дозволяє регулювати процес утилізації харчової складової ТПВ;

- *набули подальшого розвитку* наукові засади оцінки та прогнозування впливу звалищ ТПВ на стан довкілля саме у частині встановлення особливостей

механізму формування екологічної небезпеки з використанням системи комплексних показників, що дає можливість характеризувати ймовірність виникнення екологічної небезпеки та її величину.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Результати експериментальних і теоретичних досліджень дозволили удосконалити технологію утилізації харчової складової ТПВ за рахунок інтенсифікації процесу компостування.

2. Практична реалізація запропонованої системи комплексних показників, що характеризують ймовірність виникнення і ступінь екологічної небезпеки звалищ ТПВ, дозволить достовірно встановлювати характер формування екологічної небезпеки як в умовах штатної роботи, так і при виникненні аварійних ситуацій, а також визначати оптимальні техніко-технологічні заходи з управління екологічною безпекою.

3. Реалізація розробленого способу компостування органічної складової ТПВ із застосуванням мінеральних та мікробіологічних добавок дозволить значно знизити інтенсивність проявів екологічної небезпеки, сформованої розміщенням несортованих ТПВ на звалищах.

Новизну розроблених технічних рішень підтверджено наявністю позитивних рішень на видачу двох патентів України на корисну модель від 07.05.2018 року: №U201804983 «Спосіб компостування органічної частини твердих побутових відходів (мінеральна добавка)» та № U201804987 «Спосіб компостування органічної частини твердих побутових відходів (мікробіологічна добавка)» (*додаток II*).

Результати досліджень із розроблення техніко-технологічних заходів з управління екологічною безпекою звалищ ТПВ впроваджені на комунальному підприємстві «Одескомунтранс» (акт впровадження від 24.05.2018 року, *додаток E*).

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ) під час підготовки фахівців за спеціальностями 101 «Екологія» та

183 «Технології захисту навколишнього середовища» при викладанні дисциплін: «Управління екологічною безпекою», «Технології захисту навколишнього середовища», «Поводження з муніципальними відходами», (акт впровадження від 25.05.2018 р.). Також результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес у лекційних курсах та практичних заняттях з дисциплін: «Екологічний моніторинг», «Екологічна геохімія», «Раціональне природокористування» в Коледжі нафтогазових технологій, інженерії та інфраструктури сервісу ОНАХТ для студентів спеціальності 101 «Екологія» (акт впровадження від 18.04.2018 р., *додаток Е*).

**Особистий внесок здобувача** полягає у встановленні актуальності теми досліджень, розробленні методології управління екологічною безпекою. Ідея роботи, постановка задач та шляхи їх вирішення також запропоновані автором. Експериментальні та прикладні дослідження, їх впровадження проводились за безпосередньою участю здобувача. Постановка завдань дослідження, аналіз і обговорення отриманих результатів здійснювалась під керівництвом д.т.н., професора Крусір Г.В. Особистий внесок здобувача в наукові праці, в яких у співавторстві опубліковані основні наукові результати дисертації такий (нумерацію наведено відповідно до списку опублікованих праць за темою дисертації, *додаток К*): [1] розроблено модель трансформації шкідливої домішки на межі поділу фаз; [2] обґрунтовано методику забезпечення безпеки сховищ екологічно шкідливих речовин через концепцію екологічного ризику; [3] визначено рівень екологічного ризику потенційно небезпечних об'єктів; [4, 5] апробовано фізико-математичну модель розповсюдження шкідливої домішки на межі поділу фаз, встановлено особливості моделювання; [6] проаналізовано причини та наслідки хімічних катастроф для обґрунтування концепції екологічного ризику; [7] проведено експеримент, обґрунтовано внесення мінеральної добавки, досліджено показники компостування в різних температурних режимах; [8] досліджено процеси компостування в мезофільних та термофільних умовах; [9] проведено експеримент, обґрунтовано внесення мікробіологічної добавки,



досліджено показники компостування в різних температурних режимах. Особистий внесок дисертанта у наукові публікації апробаційного характеру представлено у списку опублікованих праць.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на наукових конференціях: Міжнародній конференції «*Integration Processes and Innovative Technologies. Achievements and Perspectives of Engineering Sciences*» (м. Харків, 2008); II Міжнародній науковій конференції студентів, магістрантів і аспірантів «*Регіональні екологічні проблеми*» (м. Одеса, 2009); Міжнародному симпозіумі *Humboldt-Kollege* «*Sciences, engineering and humanities for the energy world*» (м. Одеса, 2009); XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «*Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (Microcad-2010)*» (м. Харків, 2010); IX Міжнародній науково-методичній конференції «*Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика*» (м. Львів, 2010); XIV, XV Міжнародній конференції «*Актуальні проблеми енергетики і екології*» (м. Одеса, 2012 та 2013); XII Міжнародній науково-технічній конференції «*Техника и технология пищевых производств*» (м. Могильов, 2018); XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «*Ідеї академіка В.І. Вернадського та проблеми сталого розвитку освіти і науки*» (м. Кременчук, 2018).

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 наукові праці, в тому числі: 1 колективна монографія; 8 статей у фахових виданнях України з технічних наук, з яких – 1 стаття у виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі *Web of Science Core Collection*; 13 тез доповідей на міжнародних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Основну частину виконано на 142 сторінках друкованого тексту, ілюстровано 49 рисунками, текст містить 25 таблиць, у бібліографії наведено 206 літературних джерел, дисертація містить 8 додатків.

## РОЗДІЛ 1

### ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

#### **1.1 Аналіз принципів управління екологічною безпекою у сфері поводження з відходами**

##### **1.1.1 Визначення ролі екологічної безпеки в концепції сталого розвитку**

Концепцію екологічної безпеки в Україні розроблено, впроваджено та реалізовано на основі нормативно-правової бази, якою є Конституція України 1996 р. [1], Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» 1991 р. [2], Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» [3], Закон України «Про основи національної безпеки України» [4].

Виходячи з принципів, задекларованих у вищезазначених документах, екологічна безпека країни виступає одним з пріоритетних принципів сталого розвитку всіх країн світу, що передбачає запровадження такої моделі розвитку, за якої досягається задоволення життєвих потреб нинішніх поколінь без позбавлення такої можливості прийдешніх поколінь [5, 6]. Особливості концепції сталого розвитку тим чи іншим шляхом зводяться до трансформації екологічних проблем в домінантні глобальні проблеми сучасності, здійснення екологізації виробництва та соціальної сфери, приділення уваги механізмам зниження екологічного ризику [7, 8]. Розвиток цих ідей й усвідомлення необхідності їх застосування міжнародним співтовариством, урядами майже всіх країн, бізнес-співтовариством знайшли відображення в роботах як українських, так і закордонних дослідників [9-20], які підтримують та впроваджують концепцію «потрійного критерію» (The Triple Bottom Line): економічне зростання, захист навколишнього середовища, соціальний розвиток, що передбачає крім досягнення

фінансових цілей враховувати соціальні та екологічні результати діяльності (рис. 1.1).

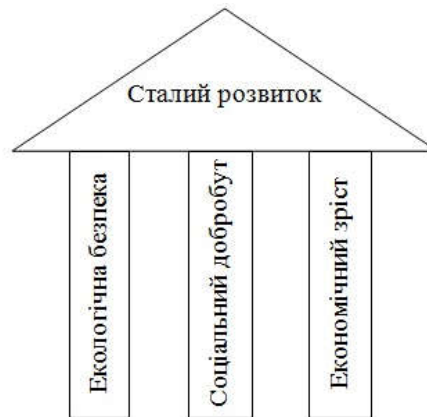


Рисунок 1.1 – Схема забезпечення сталого розвитку

Таким чином, і науковці, і законодавці визнають зв'язок екологічної безпеки зі сталим розвитком країни в цілому, безпосередній вплив змін у навколишньому середовищі на безпеку держави, необхідність застосування механізмів захисту довкілля. Так, за визначенням А.Л. Большеротова [21], екологічна безпека - це одна із складових сталого розвитку та національної безпеки, сукупність природних, соціальних, технічних та інших умов, що забезпечують якість і безпеку життя та діяльності населення, що проживає на певній території та забезпечення стійкого стану біоценозу біотопу природної екосистеми.

Серед зарубіжних вчених значну увагу проблемі екологічної безпеки приділяли Н.Ф. Реймерс, Т. Брентон, С.А. Боголюбов, В.И. Данилова-Данильян, Р. Рикрофт, К.Ф. Фролов, І.В. Масленнікова, Дж. Барнетт, О'Нейлл, Г.С. Ферару [22-30]. Видатні досягнення у визначенні понятійного апарату та аналізі критеріїв, оцінки та механізмів управління екологічною безпекою належать вітчизняним науковцям – В.М. Шмандію, В.Г. Петруку, А.Б. Качинському, С.П. Іванюті, М.С. Мальованому, Є.В. Хлобистову [31-37]. Завдяки цим дослідженням сьогодні можна виділити відповідні класи і

типи, індикатори та критерії, інструменти управління екологічною безпекою та механізми подолання екологічних небезпек [38-42].

Екологічна безпека – поняття державного рівня, є складовою національної безпеки [43-46], і тому обумовлює важливу роль еколого-економічного управління як дієвого механізму попередження з комплексом інструментів у своєму складі.

Таким чином, основною метою екологічної безпеки є досягнення сталого розвитку держави і світу в цілому (рис. 1.2). Досягнення задовільного стану екологічної безпеки, який в Україні сьогодні відсутній, потребує створення і застосування органічної системи заходів політичного, еколого-економічного, правового, інженерно-технічного характеру.

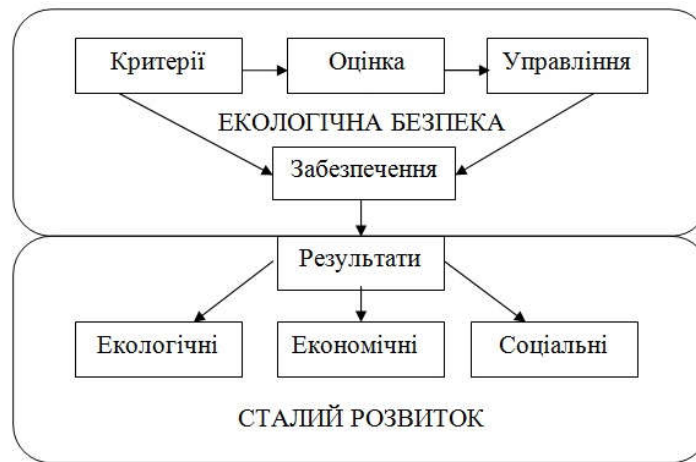


Рисунок 1.2 – Зв’язок екологічної безпеки зі сталим розвитком держави

### 1.1.2 Сучасний стан сфери поводження з ТПВ в Україні

Управління відходами залишається однією із пріоритетних сфер діяльності та екологічної безпеки розвинених країн у двох основних контекстах: охорона довкілля та збереження ресурсного потенціалу. Проблемам екологічної небезпеки, які пов’язані з твердими побутовими відходами (ТПВ), присвячені роботи А. Алімова, Н.Ф. Абрамова, І.В. Бабаніна, І.Л. Бондара, Я.І. Вайсмана, В.В. Вамболь, М.Д. Гомелі, В.М. Шмандія, А.М. Гонопольського, А.М. Касімова, О.М. Клименко, Л.В. Лисенко, Мюррей Р., В.И. Оспищева, А.С. Парфенюка, В.М. Радовенчика,

Т.А. Сафранова, А.В Сиволапа, І.В. Сталінської, Т.П. Шаніної, Dr. Joachim Bomer, Н. Jaskobsen та багатьох інших учених, які зробили суттєвий внесок у розвиток технологій поводження з відходами, забезпечення екологічної безпеки місць їхнього розміщення та аспектам впливу твердих побутових відходів різного морфологічного складу на довкілля [47-58].

Дослідженням впливу полігонів ТПВ на стан довкілля приділяється велика увага в більшості країн світу. На міських звалищах навіть середнього міста щорічно накопичуються сотні тисяч тон побутових відходів. Облаштовані без сучасних інженерно-екологічних вимог, звалища ТПВ є потужними джерелами забруднення атмосфери, гідросфери та ґрунтів [59-61].

Стан поводження з ТПВ є предметом щорічної регіональної доповіді про стан навколишнього природного середовища [62], статистичних оглядів [63], спеціальних досліджень [64, 65], екологічних програм. Опис проблеми, в основному, обмежується даними про кількість і площу звалищ, обсяги розміщених у спеціально відведених місцях відходів (здебільшого, промислових). Але такий масив інформації з розміщення відходів у спеціально відведених місцях не дозволяє повною мірою охарактеризувати екологічні наслідки існуючої ситуації з відходами в Одеській області та визначити ресурсний потенціал таких відходів.

Останніми роками країни Європейського союзу отримали значний досвід з утилізації ТПВ і в продовж часу удосконалювали методи поводження з ними з урахуванням особливостей території та еколого-економічної доцільності [47, 48]. В ЄС прийнято понад 90 директив у сфері природоохоронної діяльності, основні принципи в сфері поводження з відходами визначено в [66], які формують загальну стратегію ЄС щодо управління потоками ТПВ. Основними методами утилізації ТПВ, які використовує уряд ЄС, є рециклінг, зокрема, компостування та отримання біогазу в якості енергоносія [67]. Варто зауважити, що країни низького

економічного рівня досі використовують полігони для видалення частини ТПВ.

Переїняти позитивний досвід поводження з відходами в країнах ЄС в комплексі для України досить складно через особливості роками утвореної системи знехтування проблемою утворення та утилізації ТПВ. Початковим етапом впровадження ефективних методів утилізації ТПВ є роздільне сортування, яке для України з 1 січня 2018 року є обов'язковим через впроваджені зміни до Закону України «Про відходи» [68]. Проте дієвих механізмів щодо виконання національної директиви щодо сортування відходів та заборони складування не переробленого сміття на полігонах та звалищах не вироблено (рис. 1.3).

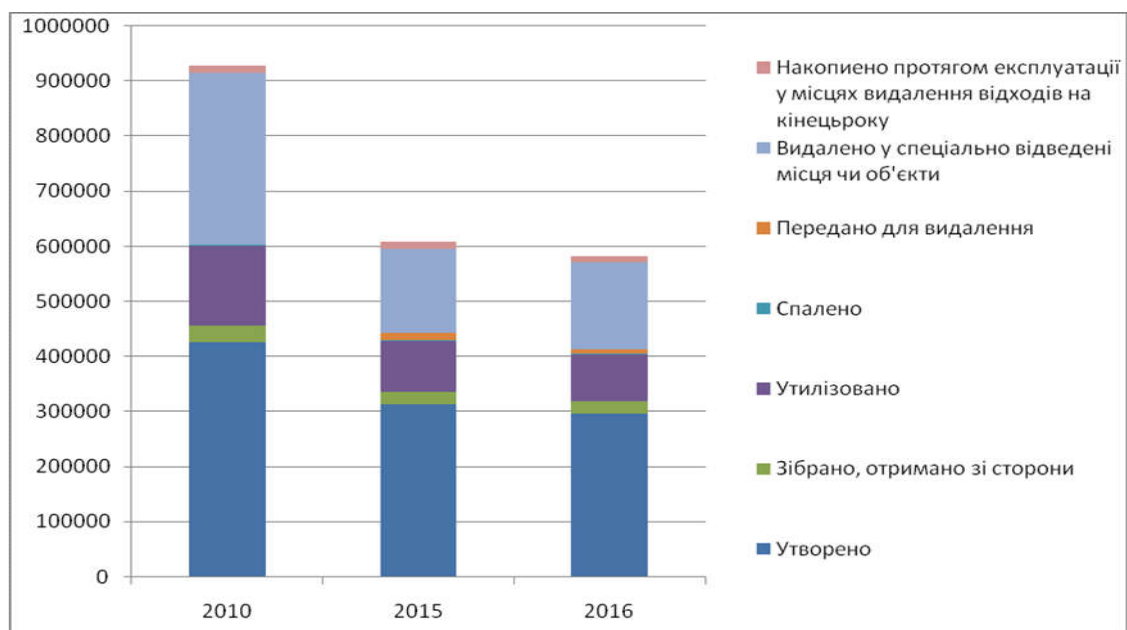


Рисунок 1.3 – Стан сфери поводження з ТПВ в Україні

Так, за даними [63] в Україні за 2016 рік (без урахування даних АР Крим та м. Севастополь) утворилось близько 49 млн. м<sup>3</sup> побутових відходів, або близько 11 млн. тонн, які захоронюються на 5,5 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га.

Завдяки впровадженню в 575 населених пунктах роздільного збирання побутових відходів, роботі 22 сміттесортувальних ліній, 1

сміттєспалювального заводу і 3 сміттєспалювальних установок перероблено та утилізовано близько 5,76% побутових відходів, з них: 2,72 % спалено, а 3,04% побутових відходів потрапило на заготівельні пункти вторинної сировини та сміттєпереробні заводи.

Кількість перевантажених сміттєзвалищ становить 327 од. (6%), а 1339 од. (24%) не відповідають нормам екологічної безпеки.

Неналежним чином проводиться робота з паспортизації та рекультивації сміттєзвалищ. З 1622 сміттєзвалища, які потребують паспортизації, у 2016 році фактично паспортизовано 383 од. (потребує паспортизації 23 % сміттєзвалищ від їх загальної кількості).

Найбільша кількість полігонів, які потребують паспортизації, у Дніпропетровській області – 66% від загальної кількості полігонів в області та Запорізькій області – 63 %.

З 516 сміттєзвалищ, які потребують рекультивації, фактично рекультивовано 86 од. (8% потребує рекультивації). Найбільша кількість полігонів, які потребують рекультивації, у Закарпатській області – 66 % від загальної кількості полігонів в області.

Потреба у будівництві нових полігонів складає понад 464 одиниці. Найбільша потреба у будівництві нових полігонів у Дніпропетровській області – 49 одиниць, у Запорізькій та Київській областях – 42 одиниці.

Через неналежну систему поводження з твердими побутовими відходами в населених пунктах, як правило у приватному секторі, щорічно виявляється близько 29 тис. несанкціонованих звалищ, що займають площу 1,3 тис. га, з них ліквідовано у 2016 році майже 28,9 тис несанкціонованих звалищ площею 1,2 тис. га. Варто зауважити, що однією з проблем у сфері поводження з відходами є відсутність контрольованого управління та паспортизації звалищ, що призводить до спотворених даних щодо фактичного обсягу складованих ТПВ. Так, інтерактивна мапа [69] місць видалення відходів не враховує 617 сміттєзвалищ загальною площею 952,39 га в Одеській області [49] (рис. 1.4).

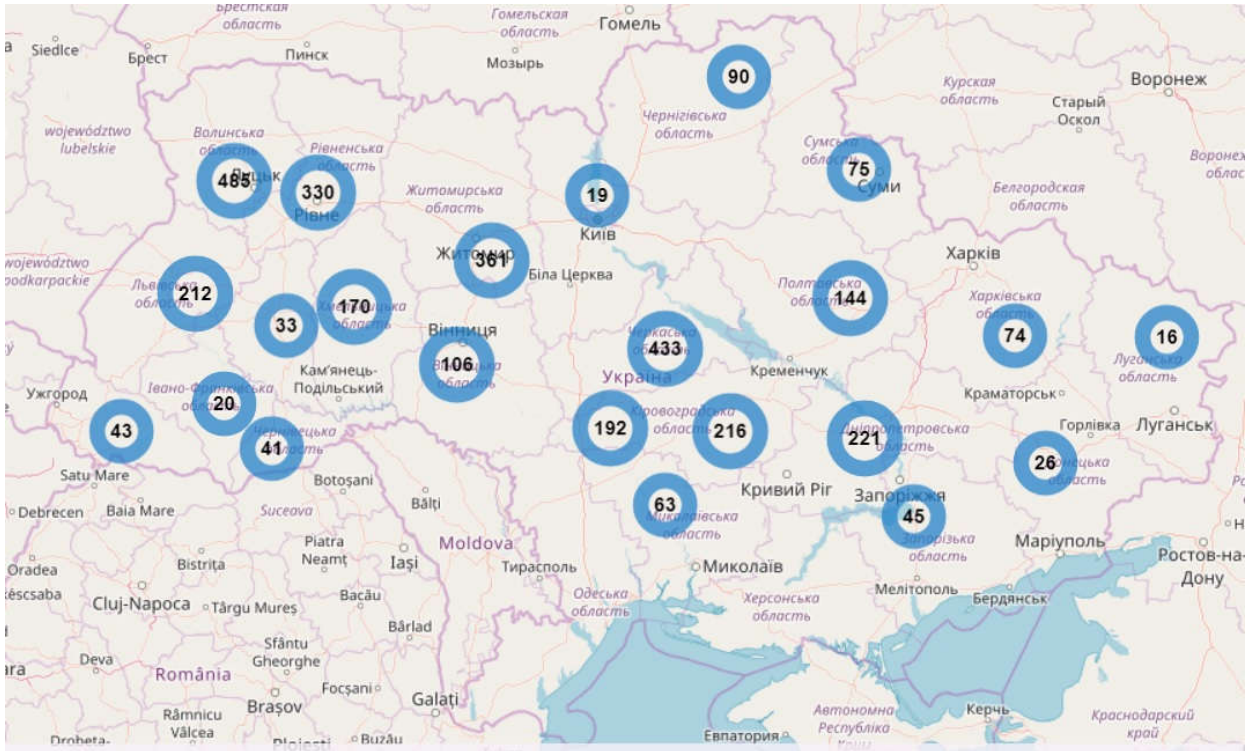


Рисунок 1.4 – Місця видалення відходів в Україні

Основними чинниками, що сприяють такому стану сфери поводження з побутовими відходами є неврегульованість на законодавчому рівні положень щодо встановлення тарифів та оплати послуг у сфері поводження з побутовими відходами і невиконання місцевою владою вимог, визначених Законами України «Про житлово-комунальні послуги» [70] та «Про відходи» [68], відсутність механізмів сортування, уніфікованих та універсальних технологій переробки ТПВ та відсутністю організації належного контролю за перевезенням побутових відходів і використанням полігонів та сміттєзвалищ.

Тому в сучасних реаліях складування ТПВ на звалищах (термін «полігон ТПВ» передбачає створення потужної природоохоронної системи захисту довкілля [68]) є основним методом поводження з потоками ТПВ в Україні (рис. 1.5).





Рисунок 1.5 – Принципова схема фактичного поводження з відходами в Україні

## 1.2 Екологічні аспекти взаємодії звалищ з довкіллям

Найбільш екологічно доцільними рішеннями для управління переробкою ТМВ визнано мінімізацію та запобігання забрудненню довкілля. Міжнародна система переробки орієнтована на мінімізацію відходів за рахунок сортування та вторинного використання сировини, решта потрапляє на переробку й компостування, спалювання та складування залишків. Оскільки до 40% ТМВ відноситься до органічних відходів, що легко розкладаються (харчові відходи, відходи ринків, міських зелених господарств, муніципальної мережі харчування, каналізаційної системи, відходи домогосподарств [58]), вилучення цієї частини відходів зі звалищ за рахунок компостування та перетворення відходу на вторинний матеріальний ресурс

суттєво зменшить екологічне навантаження на фактично розміщенні та потенційно заплановані звалища.

### **1.2.1 Процеси, які протікають на звалищах**

Складовані на звалищах відходи, різnorідні за складом, класами небезпеки, фізико-хімічними і біохімічними властивостями, під впливом атмосферного повітря, води, ґрунтів і, взаємодіючи один з одним, зазнають складних змін. Основні процеси, що протікають в масі відходів на звалищах (у тілі звалища), - це фізичні, хімічні та біохімічні. В реальному стані вони накладаються один на одного, підсумовуються, пригнічуються, видозмінюються.

У початковий момент розміщення відходів на звалищах превалюють фізичні процеси: ущільнення, стиснення, зменшення розміру часток, адсорбція, іонний обмін та ін. Збільшення щільності та зменшення розміру часток сприяють адсорбції води, підвищенню вологості відходів і прискорюють їх розкладання.

Середня щільність ТПВ в місцях їх збору зазвичай становить 140 - 180 кг/м<sup>3</sup>, а при спеціальному механічному ущільненні на полігонах вона збільшується до 600-800 кг/м<sup>3</sup> і більше [71]. Зміна щільності ТПВ відбувається безпосередньо після їхнього захоронення. Щільність залежить від морфологічного складу (відсотковий вміст паперу, деревини, харчових та інших органічних відходів, вуличного сміття, текстилю та ін., рис. 1.6), віку, тривалості перебування в нерухомому стані, кількості перевантажень відходів та інших механічних впливів. За своїми механічними властивостями і структурою ТПВ не мають аналогів і різко відрізняються від інших широко поширених матеріалів, наприклад, піску, щебеню, ґрунту, торфу і т.д.

Після вивантаження відходів на звалище початковий їх обсяг значно зменшується за рахунок самоущільнення, при цьому ТПВ втрачають сипучість. При високій початковій вологості виділяється віджимна вода (фільтрат), а відходи перетворюються на своєрідний субстрат.



Рисунок 1.6 – Склад ТПВ

Субстрати полігонів мають аномальні геофізичні характеристики (питомий електричний опір змінюється від  $0,2 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{м}^3$  в водонасиченому стані до  $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}/\text{м}^3$  при природній вологості) і аномальні інженерно-геологічні показники (середня щільність  $0,6\text{-}0,8 \text{ т}/\text{м}^3$ , пористість  $60\text{-}70\%$ , вологість  $20\text{-}60\%$ ), а також неоднорідні фільтраційні властивості ( $K_{\phi} = 0,1\text{-}1,5 \text{ м}/\text{добу}$ ) і погану водовіддачу [72].

У товщі полігону формується техногенний водоносний горизонт, основа балансу якого – інфільтраційне харчування, що досягає  $60\%$  суми атмосферних опадів. Інфільтрація - провідний чинник, що впливає на інтенсивність протікання хіміко-біологічних процесів, що визначає кількість утворених фільтрату та біогазу. Фільтрат і біогаз утворюються в анаеробній зоні звалища, потужність (висота) якої може досягати  $10 \text{ м}$  і більше через протікання процесів деполімеризації, зброджування, гуміфікації органічної речовини, сульфатредукції та інших процесів.

При збільшенні щільності ТПВ зменшується об'єм пор, заповнених повітрям, що впливає на повітряний режим, і основна маса відходів незабаром після попадання в робоче тіло звалища потрапляє в анаеробну зону. Саме пористе складання звалищ і велика кількість доступної мікробам органіки створюють передумови для активного розвитку мікробіологічних процесів [73].

На подальшій стадії розкладання відходів все більшої значущості набувають хімічні і біохімічні процеси, при цьому не загасають і фізичні. Серед хімічних процесів переважають окислювально-відновні і фотохімічні реакції, відбувається

гідроліз і деполімеризація, утворення важко розчинних і комплексних сполук, що залежать від вмісту кисню в тілі звалища, величини рН та інших параметрів. Біохімічні процеси можливі через наявність в ТПВ органівмісних відходів, таких як папір, картон, харчові відходи, дерево, текстиль, кістка, шкіра та ін.

В результаті обміну газами між аеробною, перехідною та анаеробною зонами (рис. 1.7, [73]) формується харчова структура мікробного ценозу звалища, роль продуцента в якій належить мікробам, що мешкають в середовищі з низьким вмістом кисню. Центральний мікробіологічний процес анаеробної зони, замикає розпад органічних компонентів в товщі відходів з утворенням метану ( $\text{CH}_4$ ).

Таким чином, від фізичних, хімічних і біохімічних процесів, що протікають усередині товщі відходів на звалищі, в кінцевому підсумку, залежить час розкладання ТПВ. Утворені при цьому газу і водорозчинені компоненти, що переходять до складу фільтрату, і визначають забруднюючий вплив звалищ на компоненти довкілля.

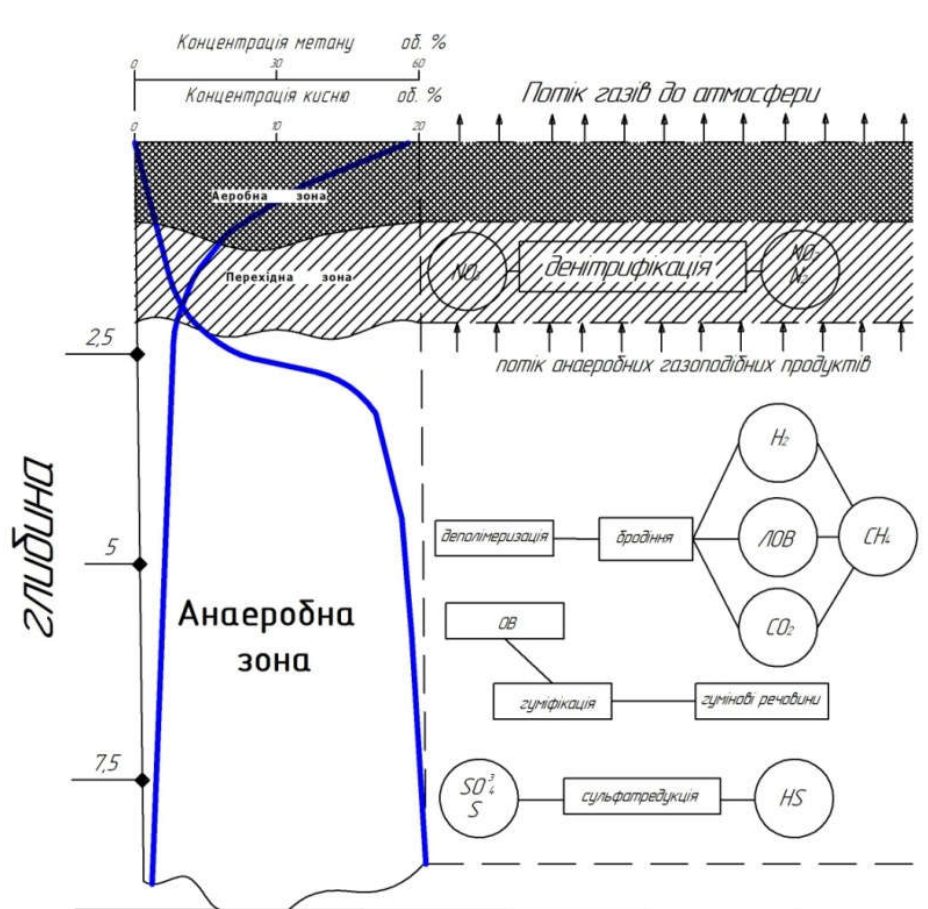


Рисунок 1.7 – Вертикальний розподіл мікробіологічних процесів на звалищі ТПВ

## 1.2.2 Забруднення атмосферного повітря газоподібними речовинами звалища

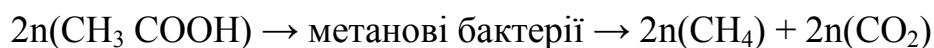
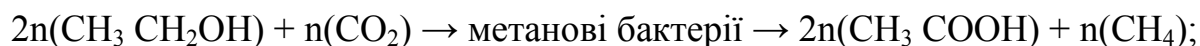
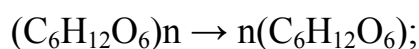
Життєдіяльність різноманітної мікрофлори в тілі звалища призводить до глибокої мінералізації органічних речовин і до утворення великої кількості газоподібних сполук, у складі яких:  $\text{CH}_4$  – 40-60%,  $\text{CO}_2$  – 30-45%,  $\text{N}_2$  – кілька відсотків,  $\text{H}_2$  – до 1%,  $\text{H}_2\text{S}$  – 0,5-1,5%,  $\text{NH}_3$  – до 0,5%, а також мікрокількостей декількох десятків ароматичних, галогенвмісних і хлорованих вуглеводнів, в цілому понад 100 компонентів [74, 75].

За характером впливу на людину і довкілля газопилоподібні викиди, які виділяються з маси відходів, можна розділити на дві групи [76, 77]. Одна група включає викиди токсичних сполук, в першу чергу,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{H}_2$ , пил. Частка цих газів в загальному складі виділень звалища незначна, однак на частині території звалища можуть спостерігатися концентрації газів, які помітно перевищують для повітря населених місць максимально разові ГДК, а в разі  $\text{CO}$  – ГДК для повітря робочої зони [78].

Друга група біогазу містить практично нетоксичні гази – метан і вуглекислий газ. Ці гази, потрапляючи в природне середовище, також формують негативні ефекти, так як належать до парникових газів [79] .

На жаль в Україні відсутні дані з визначення складу і кількості токсичних газів, що виділяються на полігонах. Однак, встановлено перелік показників, які повинні визначатися при аналізі проб атмосферного повітря [80]. Крім метану і окису Карбону (IV) в цей перелік увійшли сірководень, амоніак, окис Карбону, трихлорметан, фенол, хлорбензен, формальдегід.

Біохімічні процеси, що протікають в товщі звалища в анаеробних умовах, при яких утворюються метан і вуглекислий газ, можна представити таким чином:



У разі загоряння полігону склад газів, що виділяються, різко змінюється [81, 82], і не тільки тому, що гідриди, в тому числі метан, перетворюються на оксиди. Горіння органічних фракцій при нестачі кисню призводить до утворення канцерогенних поліароматичних вуглеводнів та інших небезпечних речовин (амоніак, діоксини, фенол, органо-мінеральні сполуки та ін.), концентрації деяких з них в атмосферному повітрі значно перевищують ГДК: метан – в 8500 разів, метилбензен – в 1025, кумол – в 2285, хлороформ – в 66, діхлоретан – в 98, тетрахлоретан – в 2367, сірководень в 25 тис. разів [71]. У продуктах згоряння відходів підвищений вміст важких металів, які можуть зберігатися довгі роки, накопичуючись в донних відкладеннях і в ґрунтах.

Поширення газу і неприємного запаху від полігонів відбувається на відстань до 300-400 метрів. Викликані газом навантаження від запаху обумовлені наявністю домішок таких компонентів як сірководень, органічні сполуки сірки (меркаптани), різні ефіри та ін. Ці речовини з інтенсивним запахом в малих кількостях можуть надавати шкідливу дію на самопочуття мешканців прилеглих районів.

Неконтрольована емісія біогазу призводить до виникнення пожеж та збільшення ризику вибухів. Горіння може відбуватися як на поверхні (відкрито), так і в товщі відходів (приховане, піролітичне горіння). При прихованому горінні відбувається розігрів поверхневих горизонтів відходів до 155 °С [84]. Під товщею відходів вигорають великі пустоти, що призводить до осідання шарів відходів. Завдання ліквідації таких осередків горіння – важке і вимагає великих витрат.

Масштаби утворення біогазу на звалищах співвідносяться з геологічними, і полігони в цьому відношенні можна вважати біогазовими родовищами [84]. За підрахунками експертної групи Міжурядової комісії зі зміни клімату (IPCC) глобальна емісія звалищного метану становить 40 млн.т на рік, або близько 8% його загальнопланетарного потоку [85]. В Україні

емісія метану від захоронення твердих комунальних відходів на полігонах становить близько 329,25 тис. т. метану на рік [86].

### 1.2.3 Вплив звалищ на водні об'єкти

В результаті інфільтрації атмосферних опадів у тіло звалища утворюється унікальний за своєю токсичністю розчин з мінералізацією до декількох десятків грам на 1 л, вмістом іонів амонію і хлору, інших макрокомпонентів до декількох грамів на 1 л, високими концентраціями важких металів (цинк, свинець, нікель, хром, кадмій і 39н.. ) і органічних сполук – фільтрат звалищ ТПВ (таблиця 1.1) [87, 88].

Таблиця 1.1 – Усереднені характеристики фільтрату звалищ та полігонів ТПВ

| Показник   | Середнє значення показника |
|--|----------------------------|
| 1  | 2                          |
| Об'єм фільтрату, що просочується за годину, м <sup>3</sup> /га | 3000 – 6000                |
| рН   | 7,6                        |
| ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>                         | 2320                       |
| БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>           | 795                        |
| Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 1678                       |
| Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>                                   | 1266                       |
| Амоніак, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 236                        |
| Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 0,1                        |
| Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 7,7                        |
| Нітроген загальний, мг/дм <sup>3</sup>                         | 104                        |
| Фосфор загальний, мг/дм <sup>3</sup>                           | 2,9                        |
| Фториди, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 6                          |
| Ціаніди, мг/дм <sup>3</sup>                                    | 0,2                        |

Продовження таблиці 1.1

| 1   | 2    |
|---|------|
| Арсеніум, мкг/дм <sup>3</sup>                         | 34   |
| Плюмбум, мкг/дм <sup>3</sup>                          | 68   |
| Цинк, мкг/дм <sup>3</sup>                             | 51   |
| Фенол, мг/дм <sup>3</sup>                             | 5,2  |
| Галогеновмісні органічні сполуки, мкг/дм <sup>3</sup> | 6600 |

Хімічний склад фільтраційних вод типового звалища в залежності від етапу біохімічної деструкції ТПВ характеризується усередненими показниками: «молодий» фільтрат (0-5 років) - БСК<sub>5</sub> = 10640,0 мг О<sub>2</sub>/л, ХПК = 26800,0 мг О<sub>2</sub>/л; «старий» фільтрат (5-35 років) - БСК<sub>5</sub> = 680,0 мг О<sub>2</sub>/л, ХПК=2280,0 мг О<sub>2</sub>/л [89]. В цілому ж фільтрат є мінералізованим розчином із загальним солевмістом до 14-17 г/дм<sup>3</sup>. У фільтраті будь-якого звалища ТПВ міститься низка важких металів: нікелю, хрому, марганцю, свинцю, кадмію, цинку, кобальту, міді, алюмінію.

Відсутність або недосконалість протифільтраційних екранів призводить до просочування фільтрату вглиб через ґрунти і потрапляння його в підземні води [90, 91]. Формування техногенних гідрогеохімічних аномалій підземних вод на полігонах ТПВ залежить від міграційних процесів забруднюючих речовин, основними факторами яких є природна швидкість потоку підземних вод і активна пористість водовмісних порід [91]. Дальність перенесення забруднюючих речовин залежить як від літологічного складу ґрунтів і їх проникності, так і від типу забруднюючих речовин [92].

#### 1.2.4 Забруднення ґрунтів звалищем ТПВ

Основними шляхами надходження забруднюючих речовин в ґрунти в районах розміщення звалищ ТПВ є поверхневі літо- і гідрохімічні потоки з території звалищ, внутрішньогрунтовий потік, розтікання фільтратів, вітровий перенос пиловатих частинок відходів та їх аерозольне випадання з



атмосферними опадами, а також продукти горіння відходів, які осідають на ґрунт. Аерогенним шляхом до ґрунту привносяться амоніак, важкі метали, діоксини, фенол, бензол і органо-мінеральні сполуки [93].

Одним з основних забруднювачів ґрунтів від звалищ є важкі метали, які містяться у водорозчинній, іонообмінній та неміцно адсорбованій формах. Водорозчинні форми, як правило, представлені хлоридами, нітратами, сульфатами і органічними комплексними сполуками важких металів [94]. Вміст у ґрунтах міді, цинку, нікелю, свинцю, кадмію в 2-10 разів може перевищувати ГДК для цих елементів в ґрунтах, а на відстані до півкілометра вміст важких металів часто вище кларкового показників.

В радіусі до 250 м від звалищ ТПВ, як правило, утворюється ореол забруднення ґрунтів. Концентрація і рівень забруднення ґрунтів пов'язані з ландшафтною структурою території розміщення звалищ, яка зумовлює шляхи міграції забруднюючих речовин з полігону (винос, транзит і акумуляція).

Крім важких металів, забруднювачами ґрунту є також деякі неорганічні водорозчинні солі, які мігрують разом з фільтратом за межі полігону:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  та ін.

### **1.3 Аналіз сучасних методів оцінки рівня екологічної небезпеки звалищ твердих побутових відходів**

Перед впровадженням технологічних рішень щодо зменшення рівня екологічної безпеки впливу звалищ ТПВ на компоненти довкілля та здоров'я населення перш за все, серед інших етапів управління екологічною безпекою, необхідно оцінити рівень небезпеки, оскільки від достовірності його визначення залежить ефективність процесу поводження з відходами. Оцінка рівня екологічної небезпеки є складним інтеграційним процесом через відсутність єдиного, уніфікованого методу, що дозволяє комплексно оцінити

рівень негативного впливу звалища ТПВ на екосистеми і, як наслідок, на здоров'я людини.

Аналітичним оглядом концептуальних питань з управління екологічною безпекою звалищ ТПВ [40, 95-97], встановлено, що на сьогодні відсутня концепція побудови системи управління екологічною безпекою звалищ, яка базується на врахуванні основних вхідних, вихідних та ризикових екологічних аспектів. Тому оцінку та прогнозування рівнів екологічної небезпеки звалищ ТПВ варто реалізовувати із застосуванням як методів індексної оцінки екологічної небезпеки, так і експертних методів, що надасть змогу класифікувати місця складування ТПВ з урахуванням комплексності їх впливу на компоненти довкілля.

У вітчизняній практиці найчастіше використовують методики оцінки екологічної безпеки на основі індексних показників [98-101]. Перевагами індексних методів є використання безрозмірних індексних оцінок, що значно спрощує використання таких методів і зменшує складність обчислень.

Основою методології індексної оцінки рівня екологічної безпеки звалищ ТПВ є визначення показників екологічної безпеки (індексів та ризиків) і встановлення їх рівнів. Розрахунок цих показників дозволяє оцінювати не тільки рівень впливів звалищ ТПВ на навколишнє середовище, але і враховувати ймовірність виникнення негативних наслідків від того чи іншого виду таких впливів [102-103]. Індекс екологічної небезпеки розраховується відповідно:

$$I = \max(I_1 * I_i \dots I_n), \quad (1.1)$$

де  $I_i$  – індекс екологічної небезпеки однієї зі складових НС (атмосферне повітря, поверхневі води, ґрунт);  $I_i = 1 - e^{0,25 * KP - 1}$  – для атмосферного повітря, де КП – кратність перевищення нормативного забруднення ( $KP_{\max} = 0$ ,  $KP_{\min} = 8$ );  $I_i = 1 - e^{0,33 * I^{E_{\max}} - 1,33}$  – для поверхневих вод, де ІЕ – інтегральний екологічний індекс ( $I_{E_{\max}} = 1$ ,  $I_{E_{\min}} = 7$ );  $I_i = 1 - e^{0,016 * Z_c - 1}$  – для ґрунту, де  $Z_c$  – сумарний показник забруднення ґрунтів ( $Z_{c_{\max}} = 0$ ,  $Z_{c_{\min}} = 128$ ).

Отримані таким чином індекси дозволяють прийняти рішення про можливість функціонування звалища або необхідності внесення змін [103]. Проте метод індексної оцінки, дозволяючи встановити рівень екологічного ризику звалища при штатному режимі роботи, не передбачає оцінку екологічного ризику при виникненні аварії (пожежі внаслідок самозагоряння), тобто унеможливорює контроль за рівнем екологічної небезпеки у разі аварійної ситуації.

Враховуючи, що джерела негативного впливу, екологічні аспекти звалищ, об'єкти довкілля, на які вони впливають, становлять єдину взаємопов'язану систему предметів і явищ у природно-техногенному середовищі, розроблено механізм формування екологічної небезпеки звалищ ТПВ, що відображено на рис. 1.8.

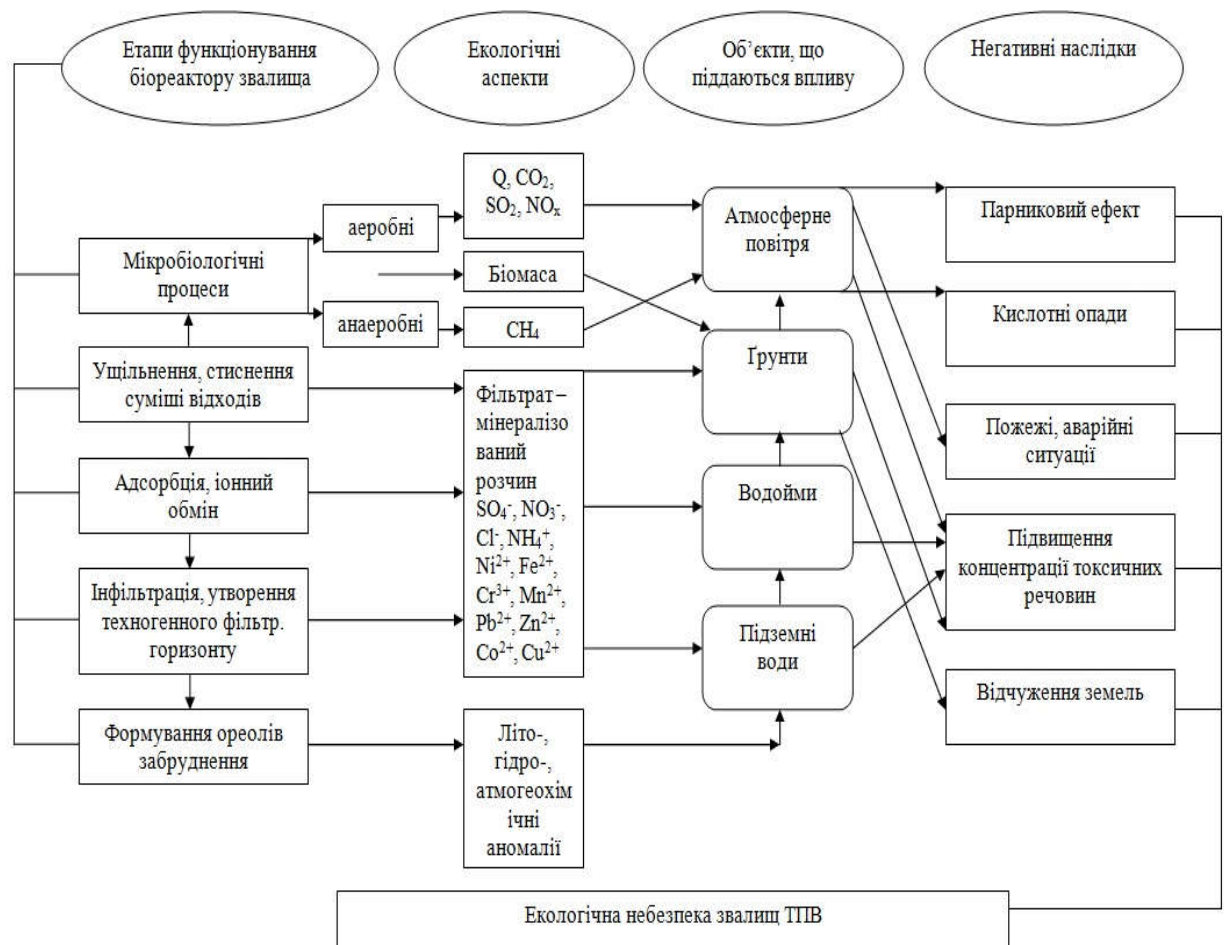


Рисунок 1.8 – Механізм формування екологічної небезпеки звалища

Екологічні аспекти звалища ТПВ побудовано на схемах компонентного, матеріального, енергетичного та матеріально-енергетичного балансів, що дозволяє врахувати як реальний, так і потенційний вплив на компоненти довкілля [104, 105] (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Екологічні аспекти звалища ТПВ: вхідні, вихідні та ризикові

З використанням особливостей запропонованого механізму (рис. 1.8) методом структурно-логічного аналізу визначено загальну концепцію оцінки рівня екологічної небезпеки звалища ТПВ, згідно якої ідентифікація джерел негативного впливу звалищ на об'єкти довкілля має бути здійснена на основі аналізу всіх процесів, які відбуваються, та їх класифікації згідно ступеня впливу. Ідентифікація та оцінка екологічних аспектів реалізується з використанням експертного методу.

Експертні методики дозволяють детально вивчити техногенний вплив на екосистеми на основі розрахунку екоіндикаторів, орієнтованих на оцінку ЖЦ звалища ТПВ [106-108]. В основі експертних методів покладено принцип оцінки екологічних аспектів звалищ ТПВ та ризику на різних етапах повного життєвого циклу (Life Cycle Impact Assessment). Життєвий цикл – це сукупність взаємопов'язаних процесів зміни стану відходу від початку його утворення до кінцевої переробки. До основних стадій ЖЦ звалища ТПВ відносяться (рис. 1.10-1.11):

- перший етап – період роботи полігону, який триває 15-20 років. За цей час відбувається заповнення потужностей полігону відходами;
- другий етап (його умовно можна назвати біореактором) – період після закриття звалища до часу загасання біохімічних процесів в звалищному тілі. У цей період процеси біохімічного розкладу речовини в тілі звалища за відсутності спеціальних технологічних рішень протікають природним чином;
- третій етап – період адаптації звалища до навколишнього середовища.

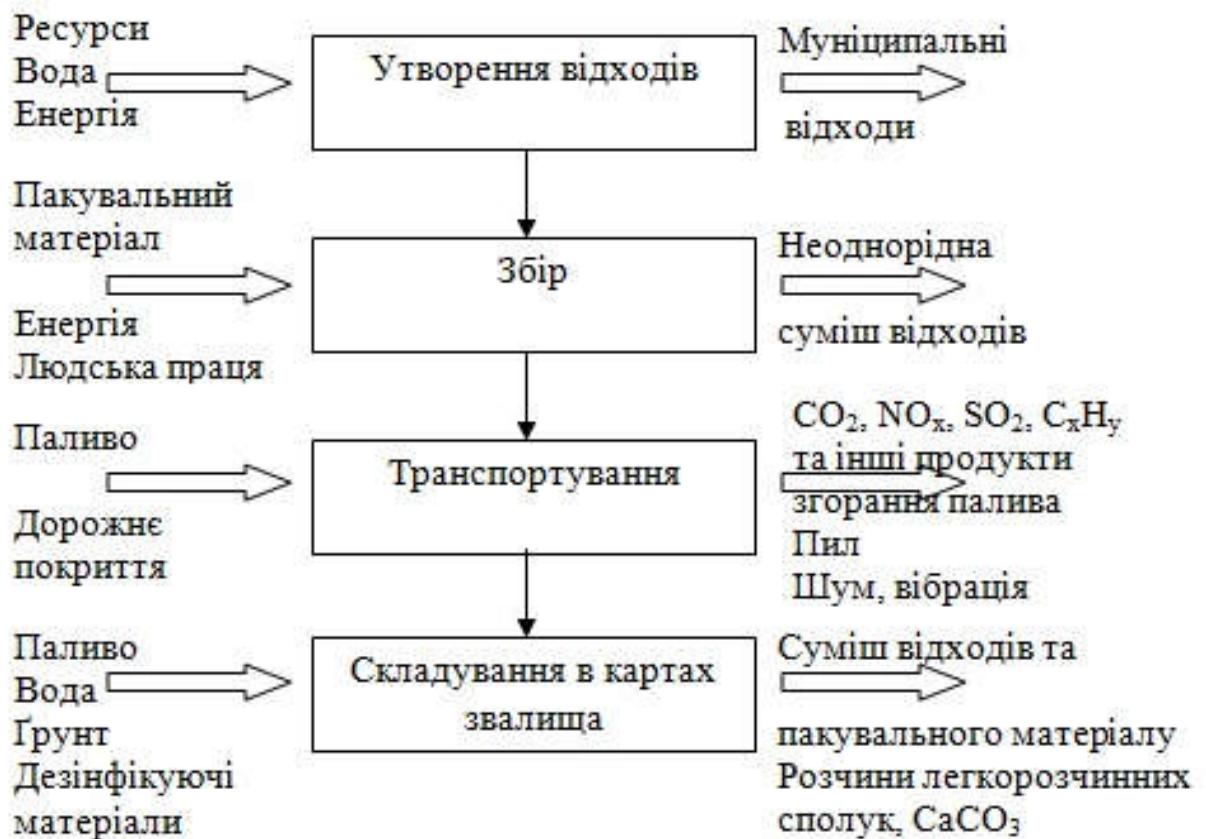


Рисунок 1.10 – Балансова схема першої стадії ЖЦ звалища

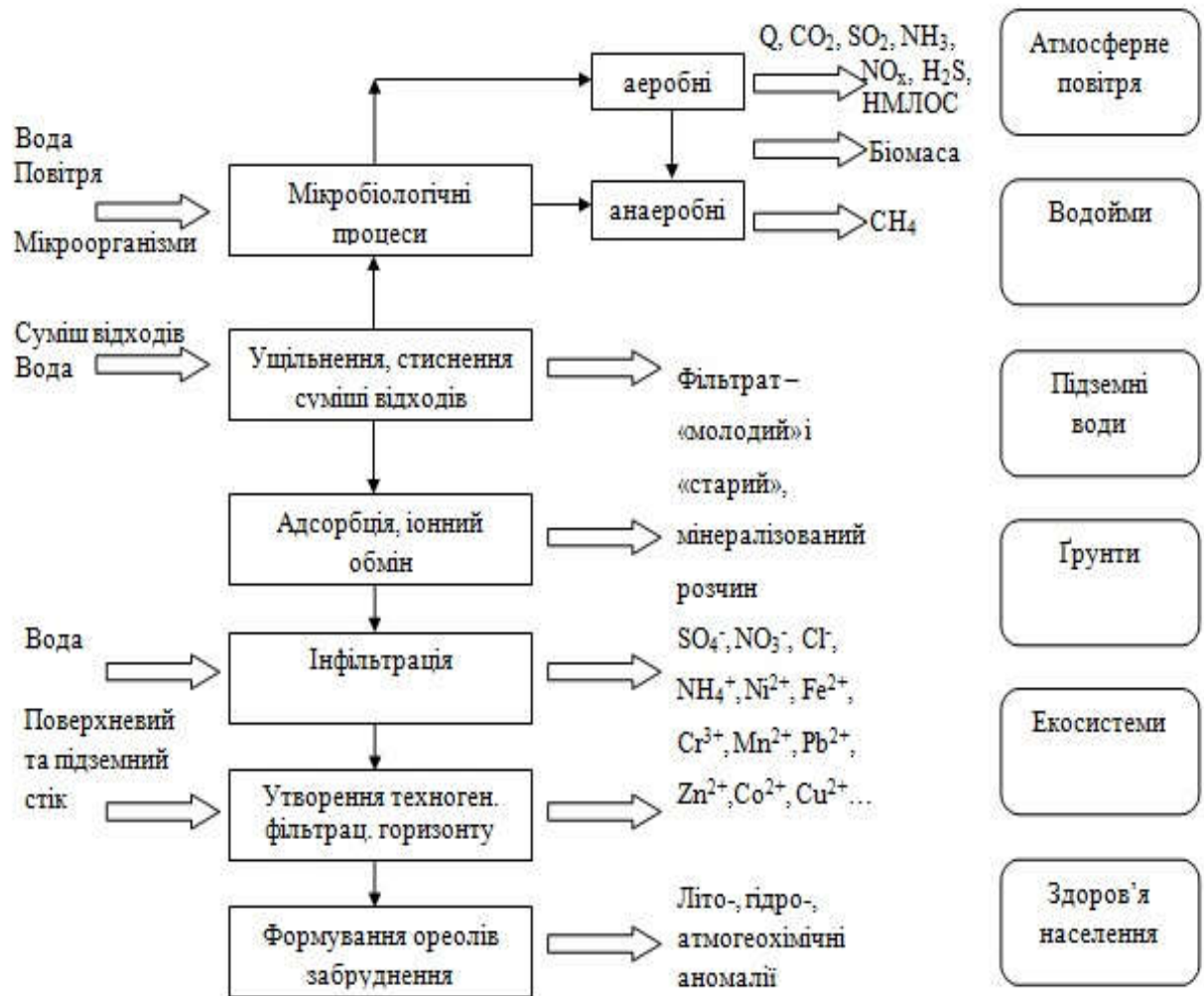


Рисунок 1.11 – Балансова схема другої та третьої стадій ЖЦ звалища

#### 1.4 Аналіз процесів метаноутворення на звалищах ТПВ

Анаеробне розкладання органічних компонентів ТПВ на звалищах призводить до щорічних викидів парникових газів до навколишнього середовища, зокрема, 329,25 тис. т. метану (8231,30 тис. тонн CO<sub>2</sub>-екв.), що складає 11,5% від маси антропогенних викидів цього газу в Україні [109]. Так, викиди парникових газів в сфері поводження з відходами в Україні в 2016 році склали до 12145,93 кт CO<sub>2</sub>-екв.; включаючи метан – 11235,00 кт CO<sub>2</sub>-екв. (449,40 тис. т); оксид Нітрогену (II)– 1121,08 тис. т CO<sub>2</sub>-екв. (3,76

кт); та оксид Карбону (IV) – 8,98 тис. т. [85]. Тому особливої актуальності набувають дослідження з оцінки впливу місць захоронення ТПВ на навколишнє природне середовище, зокрема, оцінка емісії парникових (або, з іншого боку, оцінка енергетичного потенціалу місць захоронення ТПВ).

В сфері поводження з ТПВ за результатами аналізу міжнародної групи експертів РКРК ООН [110, 111] спостерігається відносно висока якість звітності, проте визначеності потребують основні розрахункові коефіцієнти.

Одним з основних нормативних документів з оцінки емісії метану з місць видалення відходів є Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні [85]. Основу розділу з оцінки емісії метану з місць захоронення ТПВ складають, зокрема, роботи С. Л. Шмаріна (з співавторами) [112-116]. Досить детально питання адаптації методик оцінки емісії біогазу зі звалищ та полігонів ТПВ до українських умов викладені в роботах Ю. Б. Матвєєва і А. Ю. Пухнюка [118, 119], а також в дослідженнях Агентства з захисту навколишнього середовища США [109, 120]. Для оцінки енергетичного потенціалу біогазу та емісії парникових газів на звалищах ТПВ застосовують математичне моделювання газоутворення та експериментальні методи дослідження. Моделі газоутворення описують динаміку утворення звалищного газу в часі в залежності від складу і графіка захоронення відходів. Відомо безліч математичних моделей для оцінки газonosного потенціалу полігонів ТПВ [121-124]. Всі відомі методи оцінки газonosного потенціалу полігонів базуються на моделі процесу анаеробної деструкції целюлозовмісних відходів. Для довгострокового прогнозування утворення звалищного біогазу найбільш часто використовують моделі, які засновані на реакції розкладання першого порядку, диференційне кінетичне рівняння якої:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = k_{np} C, \quad (1.2)$$

де  $C$  – концентрація речовини, яка вступає в реакцію;  $\tau$  - момент часу;  $dC/d\tau$  – швидкість реакції;  $k_{np}$ – коефіцієнт пропорційності.



Рішення диференційного рівняння (1.2) має вигляд експоненти, тобто концентрація вихідної речовини з часом змінюється за експоненціальним законом:

$$C = C_0 e^{-k_{\text{пр}} \tau} \quad (1.3)$$

Експоненціальна математична модель утворення звалищного газу, яка заснована на реакції розкладання першого порядку, має вигляд:

$$G_{\tau} = (1 - e^{-k\tau}), \quad (1.4)$$

де  $G_{\tau}$  – кількість газу, що утворюється, по роках,  $\text{м}^3/\text{т}$  відходів;  $G_0$  – загальна кількість газу, що утворюється (потенціал газоутворення),  $\text{м}^3/\text{т}$  відходів;  $k$  – константа швидкості розкладання, що дорівнює натуральному логарифму періоду напіврозпаду відходів ( $k = \ln t_{1/2}$ );  $t$  – вік відходів, років.

Точність розрахункового прогнозування залежить від повноти обліку всіх факторів, які впливають на процес: морфологічного складу відходів, типу звалища або полігону, наявності та масштабів вогнищ загорянь та ін.

Найбільш відомими моделями, випробуваними в умовах різних країн, є:

- 1) модель, розроблена Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) – модель IPCC (2006 г.);
- 2) Land GEM Model, розроблена Агентством захисту навколишнього середовища США (EPA) (2005 рік) і її модифіковані варіанти;
- 3) Українська модель, розроблена НТЦ «Біомаса» (Інститут теплофізики АН України) (2009 г.);
- 4) Східно-Європейська модель (2013).

Порівняння моделей і величин їх основних показників показує, що всі моделі є експоненціальними рівняннями реакції першого порядку, але враховують різні фактори, що впливають на процес метаноутворення. При цьому моделі IPCC розраховують динаміку утворення метану, а українські та східноєвропейські – в цілому звалищного газу (LFG – Landfill Gas). Всі моделі враховують морфологічний склад відходів при розрахунку потенціалу метаноутворення  $L_0$ , але в моделі IPCC потенціал метаноутворення



розраховується за емпіричною формулою, а в інших моделях приймається в залежності від типу полігону (в Американській), категорії відходів (в Українській) або типу відходів (в східноєвропейських).

Значення константи реакції  $k$  все більш уточнюються від моделі до моделі. Так, якщо в моделі IPCC дані тільки мінімальні (0,02) та максимальні (0,2) значення, то в Американській моделі пропонується вже п'ять значень - від 0,02 до 0,7 в залежності від типу полігону, в національній моделі - шістнадцять значень в залежності від категорії відходів і типу регіону, а в Східно-Європейській - двадцять залежно від категорії відходів і клімату. В Українській моделі значення  $k$  приймаються в залежності від типу регіону, в якому знаходиться звалище і типу відходів (дуже швидко розкладаються, повільно розкладаються та ін.). Регіони, які включені в дану модель, відносяться виключно до території України. У Східно-Європейській моделі коефіцієнт  $k$  залежить вже від типу клімату, а також від типу відходів, як і в Українській моделі.

У всіх моделях присутній поправочний коефіцієнт метаноутворення, чисельні значення якого розрізняються, але завжди залежать від глибини звалища і від типу управління звалищем. У Східно-Європейській моделі ширше, ніж в інших моделях, розглянута залежність цього коефіцієнта від глибини звалища.

Східно-Європейська модель включає в себе структури моделі IPCC і Української моделі і допускає можливість розрахунку обсягів утворення звалищного газу за власними даними про клімат і склад відходів.

В цілому Українська модель є уточненою Американською, а Східно-Європейська будується на Американській, але містить деякі елементи моделі IPCC. Східно-Європейська модель враховує найбільшу кількість факторів, що впливають, і тому є в даний час найбільш універсальною.

Необхідно відзначити, що Американська, Східно-Європейська та модель IPCC були розроблені для кліматичних умов і високих стандартів поховання відходів розвинених західних країн. Застосування моделей в

країнах з іншим складом відходів, нерозвиненою системою управління ТПВ може призводити до істотних погрішностей. У зв'язку з цим в Українській моделі враховані такі нехарактерні для західних полігонів фактори, як окиснення метану на відкритих звалищах, вплив загорянь та ін. [125].

Обсяг утворення метану на звалищах залежить від умов складування, маси відходів, кліматичних особливостей місцевості та вмісту компонентів, які біорозкладаються, в складі ТПВ. Дію перших трьох факторів проаналізовано в багатьох працях та детально досліджено в роботі [117], проте склад ТПВ є основним показником при інвентаризації викидів парникових газів, оскільки він впливає як на вміст Карбону, що біорозкладається, так і на швидкість утворення метану [113].

За результатами досліджень С.Л. Шмаріна та інших дослідників [113-116] розрахунок викидів метану від місць захоронення ТПВ через уточнення складу ТПВ та вмісту компонентів, що біорозкладаються, дозволяє підвищити достовірність даних про викиди парникових газів.

Проведена в роботі [125] адаптація трьох найбільш поширених методик розрахунку емісії метану з місць захоронення ТПВ дозволяє застосувати їх до окремих об'єктів або територіальних одиниць в Одеській області. Найбільш проробленою представляється Національна модель газоутворення. При проведенні розрахунків для певного звалища зручно скористатися LandGEM Version 3.02. Комплексні результати розрахунків можна отримати при використанні електронних таблиць IPCC Waste Model.

### **1.5 Порівняльна характеристика біотехнологічних методів утилізації органічних відходів**

Системний сучасний аналіз стану поводження з відходами в країні спонукає вести пошук більш раціональних, ефективних та економічно доцільних шляхів переробки і утилізації ТПВ. Це насамперед вдосконалення нормативно-правової бази щодо регулювання поводження з відходами з

урахуванням функцій і обов'язків органів виконавчої влади та суворе дотримання чинного законодавства у цій сфері, забезпечення фінансування впровадження та популяризації нових екологічно безпечних методів утилізації, зокрема запровадження системи роздільного збирання ТПВ та введення, розповсюдження і надання переваги біотехнологічним методам утилізації [126].

Сучасні способи поводження з органічними відходами можна розділити на три групи методів: захоронення та складування, спалювання, утилізація

Аналіз стану проблеми забруднення навколишнього середовища та погіршення стану здоров'я населення дозволяють зробити висновок щодо того, яким чином поводження з відходами буде найбільш екологічно безпечним, економічним та ефективним. Порівняльний аналіз [126, 127] дозволяє зробити висновок, що найбільш еколого-ефективним методом поводження з відходами є їх утилізація.

Утилізація – це така переробка відходів, в результаті якої отримуються продукти, які можна використовувати у інших виробництвах, тобто залучати їх у безперервний цикл виробництва – рециклінг. Вирішення проблеми поводження з відходами таким чином є раціональним, ресурсозберігаючим, екологічно безпечним та економічно доцільним. Утилізація ТПВ потребує високої організації збору сміття по всій території країни, успішність застосування цього методу залежить значною мірою від загальної культури та відповідальності населення.

У випадку з утилізацією відходів найбільший інтерес представляє біотехнологія. Перспективність та ефективність застосування біотехнологічних процесів обумовлена їх компактністю і одночасно крупномасштабністю, високим рівнем продуктивності праці. Ці процеси піддаються контролю та регулюванню, реалізуються у «м'яких» умовах, при нормальному тиску і невисоких температурах середовища, вони в меншій мірі забруднюють навколишнє середовище відходами і побічними

продуктами, мало залежать від кліматичних і погодних умов, не вимагають великих земельних площ, не потребують застосування пестицидів, гербіцидів та інших чужорідних для навколишнього середовища агентів. Тому біотехнологія в цілому і її окремі розділи знаходяться в низці найбільш пріоритетних напрямів науково-технічного прогресу і є яскравим прикладом «високих технологій», з якими пов'язують перспективи розвитку багатьох виробництв. Біологічні технології знаходяться в даний час у фазі бурхливого розвитку, але рівень їх розвитку багато в чому визначається науково-технічним потенціалом країни. Всі високорозвинені країни світу відносять біотехнологію до однієї з найважливіших сучасних галузей, вважаючи її ключовим методом реконструкції промисловості у відповідності до потреб часу, і вживають заходів зі стимулювання її розвитку [128].

З точки зору екологічної доцільності біотехнологічні заходи не мають конкурентів, тому що є природними, а отже, не супроводжуються побічними ефектами, які важко, і часто неможливо прогнозувати при розробленні природоохоронних технологій у випадку застосування хімічних, фізико-хімічних, фізичних заходів, а також деяких біологічних, що базуються на використанні організмів, які не є представниками природних екосистем.

Серед біотехнологічних методів, які можуть бути використані для ефективної утилізації органічних відходів можна виділити найбільш вивчені та перспективні на даний момент з точки зору еколого-економічної доцільності:

- анаеробне зброджування (біометаногенез);
- аеробне зброджування;
- компостування;
- вермікомпостування.

Анаеробне зброджування (біометаногенез, біоконверсія) – це найбільш розповсюджений метод утилізації відходів, який відповідає сучасним вимогам екології та є альтернативним джерелом отримання енергії. Біометаногенез в умовах поступового виснаження традиційних енергетичних

ресурсів (нафти, газу, вугілля тощо) і особливо зростаючого дефіциту пального та ускладнення централізованого забезпечення її природним газом має важливе значення [129, 130].

При визначенні економічної ефективності біотехнологій метанового зброджування необхідно враховувати не тільки значення біогазу у вирішенні енергетичних проблем, а й ефект від знезараження гною, виробництва високоякісних добрив і захист навколишнього середовища. Незважаючи на значні капіталовкладення, термін окупності промислової біогазової установки складає приблизно три роки.

Найголовнішою перевагою компостування, як складової маловідходного чи безвідходного виробництва, є екологічність цього методу. Крім того, що завдяки компостуванню зменшується навантаження на природне довкілля за рахунок виключення потрапляння до нього відходів, які значною мірою негативно впливають на навколишнє середовище та вносять в нього забруднюючі та токсичні речовини, в результаті компостування отримується цінний вторинний ресурс – біогумус, який за сучасного стану ґрунтів може допомогти вирішити проблему стрімкого спаду родючості земель. Біогумус – концентроване органічне добриво, яке є сипучою дрібногранульованою масою з розміром гранул 1-3 мм та утворюється під час проходження процесів, що властиві природі. Добриво легко засвоюється рослинами протягом всього циклу свого розвитку та є складовою уникнення зростання темпів деградації навколишнього середовища. У добриві міститься комплекс необхідних поживних речовин і мікроелементів, ґрунтові антибіотики, вітаміни і ферменти, гормони росту і розвитку рослин. У біогумусі мешкає унікальне співтовариство мікроорганізмів, які створюють ґрунтову родючість [131-134].

Ефективним та екологічно безпечним методом утилізації органічних відходів (тваринництва, побутових та промислових відходів) є метод вермікомпостування з використанням дощових та інших видів черв'яків.

Цей метод дає можливість трансформувати різні види відходів, які до цього були основними забруднювачами навколишнього середовища, з одного боку, в повноцінний білок тваринного походження, придатний для використання у годівлі тварин та харчування людей і у фармацевтичній промисловості (черв'ячна біомаса), а з іншого боку – у зернисте гумусне добриво (біогумус) [135]. На компост за допомогою дощових черв'яків переробляють навіть відходи, які важно піддаються утилізації – відходи целюлозно-паперової промисловості.

### **1.6 Утилізація органічної складової ТПВ методом компостування**

В країнах ЄС та у світі стрімко поширюється органічне виробництво як цілісна система раціонального природокористування, що стає основою застосування сучасних технологій компостування органічної сировини з отриманням якісного продукту переробки.

Переробка твердих відходів в компост – досить досконалий метод їх знешкодження та подальшого використання. Основними перевагами застосування технологій компостування в обробці відходів є повернення наявних у відходах поживних речовин рослин в оборот екосистеми, скорочення кількості відходів, одночасне корисне використання інших органічних відходів продуктів в компості (листя, трава, гній, очисний мул комунальних вод та ін.). Проте, загальна частка відходів, що переробляються компостуванням, залишається невеликою. Наприклад, в Європі з отриманням компосту переробляють близько 2% відходів. В СНД побудовано низку компостних заводів, але практично всі вони виробляють компост низької якості [136].

Увага до технологій раціоналізації способів підготовки гною та інших органічних відходів була звернена ще на початку XX століття. На основі сформованого пошарового методу компостування в буртах у 30-х роках запропоновано технологію компостування з пошаровим формуванням

напівзаглиблених буртів (метод Індорі) [137]. Деякі пошукові роботи були спрямовані на розробку різноманітних способів прискорення процесу компостування зі зміною абіотичних параметрів перебігу процесу [138, 139].

Серед сучасних дослідників процесу компостування як раціонального способу управління відходами інноваційними є праці М. В. Гаценка [140], М. К. Лінника [141], О. О. Ляшенка [142], В. В. Шацького [143], в яких багато уваги приділено питанням технології компостування, механізації приготування субстрату, оптимізації керованих параметрів перебігу процесу, оформленню буртів, складу субстрату та співвідношенню основних поживних речовин в ньому. Проте поряд з питаннями прискорення процесу компостування як заходу зменшення органічних відходів актуальним залишається утворення конкурентоспроможного органічного добрива, яке за еколого-економічними показниками здатне задовольняти потреби агропромислового комплексу країни.

Аеробне компостування є однією з найкращих найбільш доступних технологій для інтегрованої системи управління відходами за рахунок мінімізації антропогенного впливу на довкілля, відповідності новітнім вітчизняним та зарубіжним розробкам, економічної та практичної прийнятності технології.

Але компостування характеризується відносно невисокою популярністю в порівнянні з іншими методами утилізації відходів через низку його недоліків, таких як довгий виробничий цикл та іноді одержання продукту нестабільної якості. Через це багато досліджень в галузі переробки ТПВ присвячено способам прискорення процесу компостування. Це може бути досягнуто різними шляхами, такими як розробка високоефективних апаратів компостування та зміна біотичних (вермікомпостування, використання спеціалізованих культур та співтовариств мікроорганізмів) або абіотичних (температура, рН та ін.) параметрів перебігу процесу.

Процес компостування проходить 3 фази (рис. 1.12).

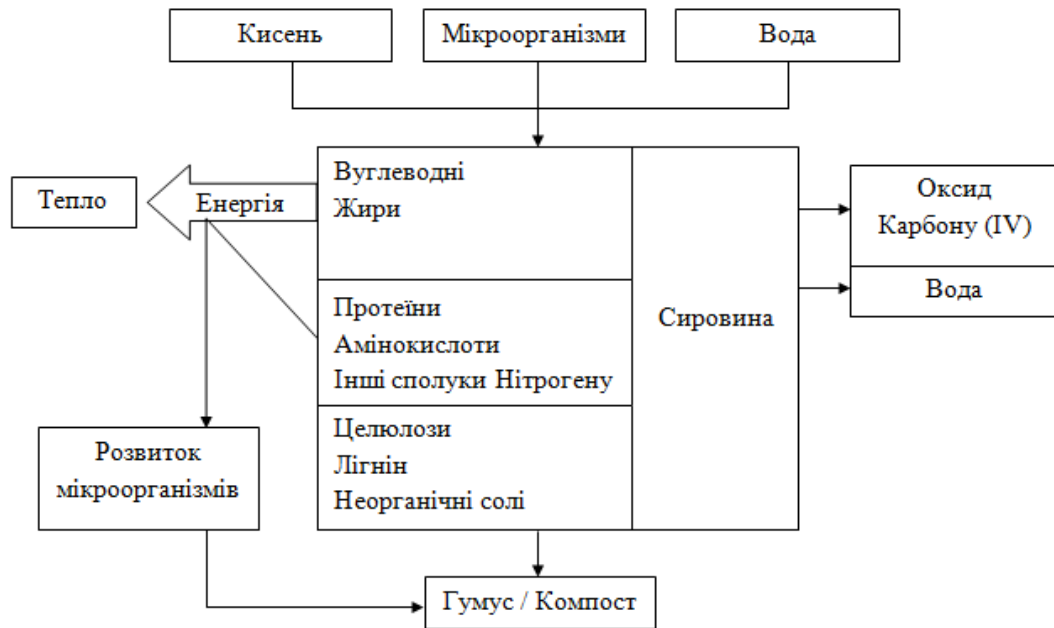


Рисунок 1.12 – Схема компостування

На першій фазі відбувається саморозігрів внаслідок хімічних реакцій розкладання при інтенсивній діяльності бактерій і мікроорганізмів. У процесі розкладання речовин, що легко розкладаються, компост може нагріватися до температури  $65^{\circ}\text{C}$ . За таких температурних умов вмирає переважна більшість хвороботворних організмів і гине насіння бур'янів.

На другій фазі відбувається розкладання матеріалів, що важко розкладаються, на стійкі речовини, які утворюють гумус. Температура починає знижуватися, компост набуває бурого кольору і структуру ґрунту.

Третя фаза — дозрівання компосту, який набуває однорідної структури й запах лісового ґрунту.

Час, необхідний для перетворення відходів у повноцінний компост залежить від багатьох факторів, таких як температура, вологість, сировина для компостування, спосіб компостування, використання додаткових засобів, однак, щоб отримати гігієнічно безпечний компост, процес компостування повинен тривати 12-24 місяців.



Компост вважається готовим, коли в ньому не розрізняються рештки сировини, що входять до його складу, маса стає однорідною, пухкою і темною, а насіння бур'янів втратило здатність проростати.

Системи аеробного компостування поділяються на відкриті і закриті, з примусовою пневматичною (напірною, відсмоктувальною), механічною чи комбінованою системами аерації. На сьогодні відомо багато систем компостування органічних відходів, які знайшли своє використання в різних галузях господарювання з метою перероблення і подальшого використання як органічного добрива [144]:

1) компостування в купах (за способом накопичення і зберігання гною розрізняють звичайне накопичення, підготовка «гарячого» за методом Кранцю, підготовка «холодного» ущільненого гною);

2) компостування в буртах (природне компостування в буртах без технологічних втручань, компостування з періодичним перелопачуванням буртів, компостування з природною неконтрольованою аерацією, компостування з контрольованою примусовою аерацією);

3) компостування на механізованих майданчиках;

4) компостування в напівзакритих механізованих спорудах (компостування в спорудах тунельного типу, в контейнерах);

5) компостування в закритих механізованих спорудах (біоферментаційні камери–платформи, вертикальні біоферментаційні споруди, компостування із застосуванням біобарабанів).

Номенклатура технологій виробництва компостів залежить від природно-кліматичних умов, господарсько-економічного стану сільськогосподарського підприємства, наявності матеріально-технічної бази.

Усе це визначає принципову спрямованість технологій: використання у технологічному процесі виробництва компостів засобів механізації як універсального, так й спеціалізованого призначення; застосування мобільних спеціалізованих засобів механізації, що розроблені під технологію; використання стаціонарних засобів механізації.

Технологічні процеси виробництва компостів включають виконання таких основних операцій: прийом, складання та подання на змішування вологопоглинаючих матеріалів; прийом, збереження та подавання гною (посліду) на змішування; прийом, збереження та подавання на змішування мінеральних добавок; змішування гною (посліду), вологопоглинаючого матеріалу і мінеральних добавок та формування бурта суміші; витримування буртів суміші з періодичною аерацією; збір та використання дощових стоків та гноївки з ділянки компостування; навантаження компосту в транспортно-технологічні машини.

Щоб прискорити процес компостування і забезпечити оптимальний хід процесу, можуть бути використані біореактори закритого типу. У біореакторах для прискорення процесів розкладання відходи перемішуються, додатково підводиться повітря. Під час процесу переробки підтримуються оптимальні параметри розкладання: певна вологість, температура, кількість кисню, рН, кількість Фосфору і Нітрогену, підтримуються певні співвідношення С:N, С:Р і С:Н. Забезпечення цих умов дає можливість отримати якісний компост за дуже короткий термін, скорочуючи процес компостування до декількох тижнів (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Блок-схема приготування збалансованих сумішей перед компостуванням (за [145])

Основними факторами, які впливають на процес компостування, є температура, аерація, вологість та рН середовища.

Температура – один з найважливіших параметрів, які забезпечують ефективність компостування. Вона суттєво змінюється в процесі компостування за рахунок теплового ефекту, що з'являється в результаті окислювальної деструкції ковалентних зв'язків у речовин, що окислюються. Звичайно в будь-якому процесі компостування виділяють чотири температурні стадії: мезофільну, термофільну, стадії охолодження та кінцевого дозрівання компосту.

Дослідження довели, що мікроорганізми термофільної стадії мають головне значення в розкладанні органічних субстратів, вони розкладають більше, ніж 2/3 лігніну в процесі компостування, в той же час в мезофільній стадії мікроорганізми переробляють в основному речовини, що легко розкладаються, а на стадіях охолодження та дозрівання розкладаються гумінові речовини, що залишилися. На основі цього вчені зробили припущення, що термофільні мікроорганізми можуть переробити більшу частину органічних речовин, які розкладаються мезофільними мікроорганізмами на інших стадіях. Інакше кажучи, мезофільна стадія, а також стадії охолодження та дозрівання не є необхідними частинами процесу компостування, а, відповідно, період компостування може бути значно скорочено, якщо суміш, що компостується, нагрівати штучно з метою підтримання необхідних умов для росту термофілів [146].

Іншим важливим параметром аеробного компостування є аерація. Існує три види аерації сумішей, що компостуються: примусова аерація, яка здійснюється нагнітанням повітря в бурти, компостні кучі або відповідні апарати для аеробного процесу; пасивна аерація, що здійснюється спеціальним розміщенням горизонтальних бортів в напрямі рози вітрів та прокладкою всередині бортів спеціальних труб з перфорацією, які забезпечують пасивне надходження повітря в середину суміші, що

переробляється; метод компостування з природною аерацією, без використання яких-небудь пристосувань, але з урахуванням рози вітрів.

За даними дослідження, в якому проводилось визначення оптимального ступеню аерації, найбільш ефективним способом аерації суміші з сільськогосподарських відходів, що компостується, є примусова аерація зі швидкістю нагнітання повітря 0,41 л/хв кг сухого матеріалу, що компостується [147].

Вміст води в сумішах, що компостуються, має суттєве значення для одержання високоякісного компосту. Звичайно процес перебігає цілком ефективно при вмісті води в компостній кучі 35-65 %. Підтримувати ці значення особливо важливо при примусовій аерації, коли вода видаляється разом з газами, що виділяються. Вологість суміші, яка компостується, з метою забезпечення високої ефективності процесу не повинна знижуватись нижче, ніж 50 %.

Значення рН в суміші – ще один важливий показник ефективності процесу компостування. Звичайно значення рН суміші, яка компостується, змінюється від слабкокислих (в результаті синтезу карбонових кислот) до слабколужних (за рахунок утворення іонів амонію) в інтервалі від 4,5 до 8,1. Як правило, ці значення тісно зв'язані з діяльністю мікроорганізмів, які приймають участь в компостуванні [148].

## **1.7 Висновки до розділу 1**

Виконаний в літературному розділі аналіз сучасної ситуації в сфері управління екологічною безпекою, поводження з відходами та використання біотехнологічних механізмів для зниження рівня екологічної небезпеки дозволив зробити наступні висновки:

1. Метою екологічної безпеки як комплексного поняття та підсистеми національної безпеки є досягнення сталого розвитку держави. Забезпечення

екологічної безпеки базується на визначенні її критеріїв, комплексної оцінки та розробки правової та технологічної системи управління.

2. Стан сфери поводження з ТПВ в Україні незадовільний через відсутність системних механізмів впровадження ресурсо- та енергозберігаючих методів утилізації ТПВ, відмову від сучасних технологічних заходів та організації комплексної схеми управління потоками відходів.

3. Комплексна оцінка та впровадження механізмів управління екологічною безпекою у сфері поводження з ТПВ повинна бути заснована на визначенні екологічних аспектів взаємодії звалища ТПВ з компонентами довкілля, враховувати балансові схеми життєвого циклу звалища, прогностичні сценарії його існування.

4. Досягнення задовільного рівня екологічної безпеки у сфері поводження з ТПВ необхідно реалізувати такими способами знезараження та переробки відходів, які гармонійно та оптимально взаємодіють з екологічним циклом, тобто оптимальними є методи утилізації ТПВ, які базуються на природних процесах, позбавлені побічних ефектів та забезпечують рециклінг як техногенної неорганічної частини, так і органічної частини ТПВ. Біотехнологічні методи є найбільш доцільними та безпечними і в комплексі з механобіологічною технологією реалізуються наступним чином:

- з ТПВ видаляються крупногабаритні та небезпечні відходи;
- з ТПВ видаляється та сортується функціональна частина відходів (метал, пластик, скло, папір та ін.);
- залишається частина ТПВ, яка містить харчові та інші органічні відходи, і підлягає аеробній біологічній переробці – компостуванню – з отриманням компостів;
- видалені функціональні відходи реалізуються переробником вторинної сировини;
- отримані компости використовуються для підвищення врожайності сільськогосподарських рослин або для рекультивації земель.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЗВАЛИЩ ТПВ

#### 2.1 Методологія управління екологічною безпекою звалищ ТПВ

На основі поставленої мети і завдань дослідження роботи визначено основні напрямки проведення теоретичних і експериментальних досліджень, розроблена програма їх реалізації, встановлена послідовність і причинно-наслідковий взаємозв'язок етапів програми досліджень (рис. 2.1).

Програму дисертаційних досліджень можна представити у вигляді чотирьох комплексних етапів. Теоретичні дослідження реалізовано проведенням аналітичного огляду сучасних літературних і патентних джерел з управління екологічною безпекою звалищ ТПВ, які доводять необхідність врахування основних вихідних екологічних аспектів звалищ ТПВ, що функціонують або плануються, для прийняття комплексних управлінських рішень. Перший етап дозволив визначити мету і завдання досліджень з управління екологічною безпекою звалищ ТПВ, надання оцінки рівня екологічної небезпеки та розробки комплексу заходів, спрямованих на його зниження.

Метою другого та третього етапів – експериментальних досліджень – є практична реалізація і підтвердження адекватності розроблених теоретичних положень з управління екологічною безпекою звалищ ТПВ. Для комплексної оцінки і прогнозу впливу звалища ТПВ на компоненти довкілля та розробки удосконаленої технології утилізації органічної складової ТПВ розроблено трьохрівневу схему експериментальних досліджень. На основі проведених досліджень було створено систему показників з оцінки впливу звалища ТПВ на довкілля, в результаті чого виконано комплексну оцінку для прийняття відповідних організаційно-технічних рішень щодо управління екологічною

безпекою звалища – удосконалення технології компостування побутових відходів.

Загалом методологія експериментального дослідження ґрунтується на застосуванні системного аналізу процесу формування екологічної небезпеки звалищ ТПВ, що дозволяє диференціювати загальне завдання дослідження на низку завдань з дослідження окремих факторів – джерел негативного впливу на об'єкти навколишнього середовища, механізму формування негативного впливу джерел на об'єкти, методів і способів зниження негативного впливу звалищ ТПВ на навколишнє середовище.

На першому рівні проводили натурний експеримент за розробленою програмою, яка включала: перелік аналізованих показників, місця відбору проб та періодичність відбору проб атмосферного повітря, фільтрату та природних вод, ґрунтів. Крім того, проаналізовано відомості про складування відходів (обсяг, склад, час, місце складування, клас небезпеки, тощо), а також про кліматичні, ґрунтово-геологічні та інші природні умови зони розміщення звалища.

Другим рівнем експериментальних досліджень став блок статистичної обробки результатів експериментальних досліджень, заснований як на класичних методах статистичного аналізу [149], так і на методах цензурованих вибірок [150], а також індуктивного висновку [157]. Ідентифікація джерел негативного впливу звалищ ТПВ на об'єкти довкілля здійснюється на основі аналізу всіх фізико-хімічних та біохімічних процесів та їх класифікації згідно ступеню впливу. Ідентифікація та оцінка екологічних аспектів проводиться експертним (напівкількісним бальним) методом [152]. Через встановлений механізм формування впливу екологічних аспектів на об'єкти довкілля методом структурно-логічного аналізу формується загальна концепція оцінки екологічної небезпеки. Наведені методи в сукупності з аналізом використовуються для створення алгоритму управління екологічною безпекою звалищ ТПВ.

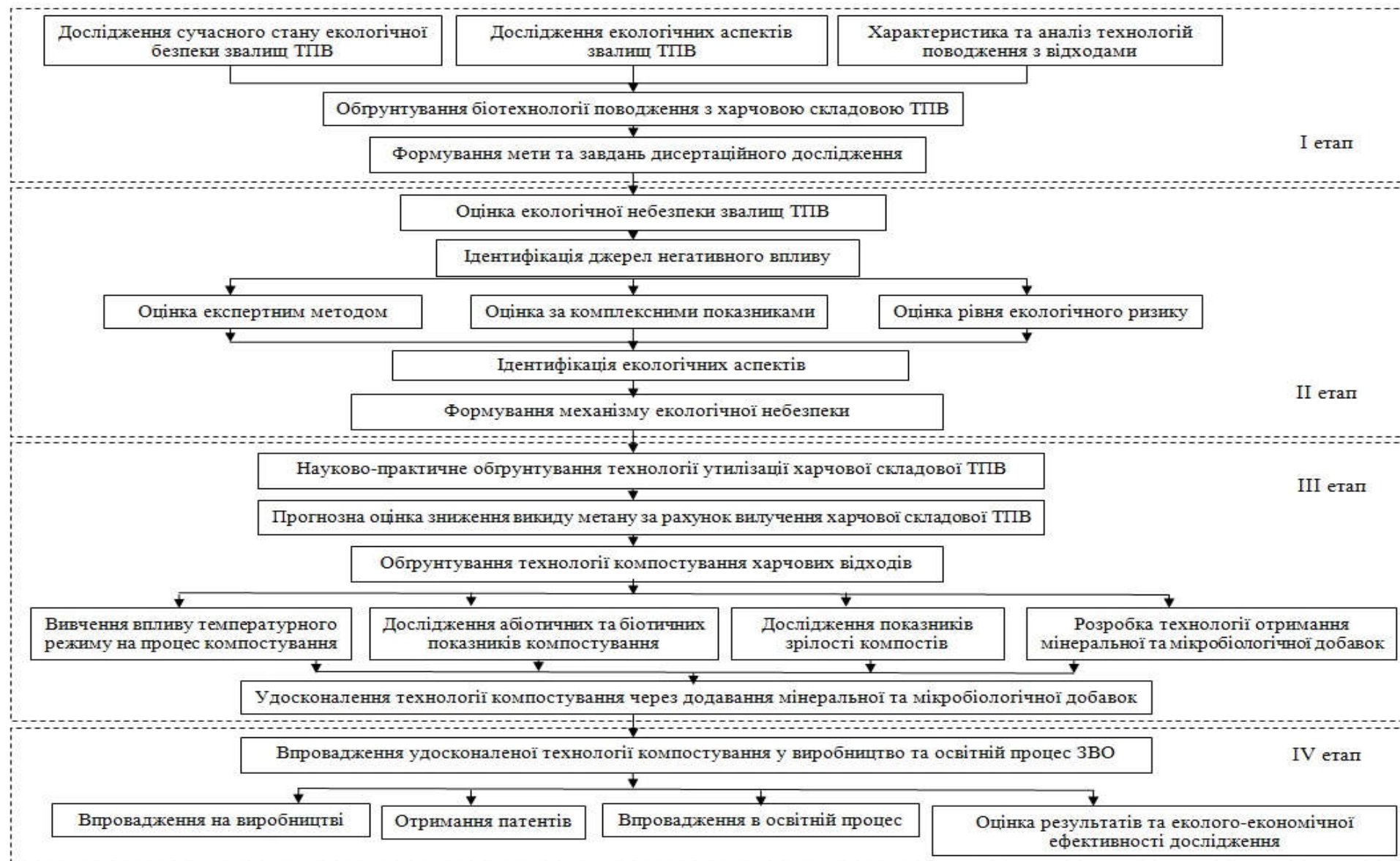


Рисунок 2.1 – Програма дисертаційних досліджень



На третьому рівні експериментального завдання було проведено комплексне дослідження процесів компостування харчової складової ТПВ, засноване на хімічних, біохімічних, фізико-хімічних та мікробіологічних методах, яке дозволило обґрунтувати доцільність та ефективність удосконалення технології компостування харчової складової ТПВ з додаванням мікробіологічних та мінеральних добавок.

Відмітною особливістю дисертаційних досліджень є поєднання методів натурного експерименту, лабораторних досліджень та математичного моделювання. В роботі використаний комплексний метод досліджень, а саме аналіз та узагальнення досліджень процесів, які відбуваються в тілі звалищ твердих побутових відходів; математичний апарат теорії планування дослідів; методи та засоби теорії ймовірності та прикладної статистики; графоаналітичний та числовий аналіз; статистичне опрацювання результатів із використанням засобів обчислювальної техніки; лабораторні та експериментальні дослідження.

Дослідження були проведені в лабораторіях кафедри екології і природоохоронних технологій та кафедри мікробіології ОНАХТ (Одеса).

На третьому етапі дисертаційного дослідження згідно з алгоритмом управління розроблено комплекс техніко-технологічних заходів для зниження негативного впливу звалищ ТПВ, удосконалено технологію компостування харчової складової ТПВ, виконано аналіз ефективності впровадження розроблених рішень.

## **2.2 Характеристика об'єкту дослідження**

Об'єктом дослідження впливу звалищ ТПВ на компоненти довкілля з метою подальшої оцінки рівня екологічної небезпеки та управління відходами обрано типове для України звалище ТПВ в Одеській області у районі Дальницьких кар'єрів – полігон ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри».

За даними профільного підприємства з вивезення сміття ТОВ «Союз» в 2017 році обсяги збирання, перевезення та складування ТМВ на звалищі склали більше 1,6 млн. м<sup>3</sup> відходів з м. Одеса. За статистичними даними Департаменту екології та розвитку рекреаційних зон Одеської міської ради протягом року на звалище ТПВ-1 потрапляє більше 2,1 млн. м<sup>3</sup> відходів з міст Одеси, Чорноморська та прилеглих до них населених пунктів. Звалище ТПВ-1 в місті Одесі є одним із типових українських звалищ, які, як правило, експлуатуються з мінімальним впровадженням екологічних заходів. Всі муніципальні відходи м. Одеси без попереднього сортування зберігаються на звалищі, що є потенційним джерелом інтенсивного забруднення атмосфери, підземних вод (і, в цілому, загрози епідемічного стану) та потребує вдосконалення процесу зберігання відходів.

Міське звалище побутового сміття «Дальницькі кар'єри» розташоване в 9 км на захід від міста Одеси, межує з найближчими населеними пунктами – сс. Дальник і Нова Долина, які розташовані північніше і південніше звалища на 3 км (рис. 2.2).

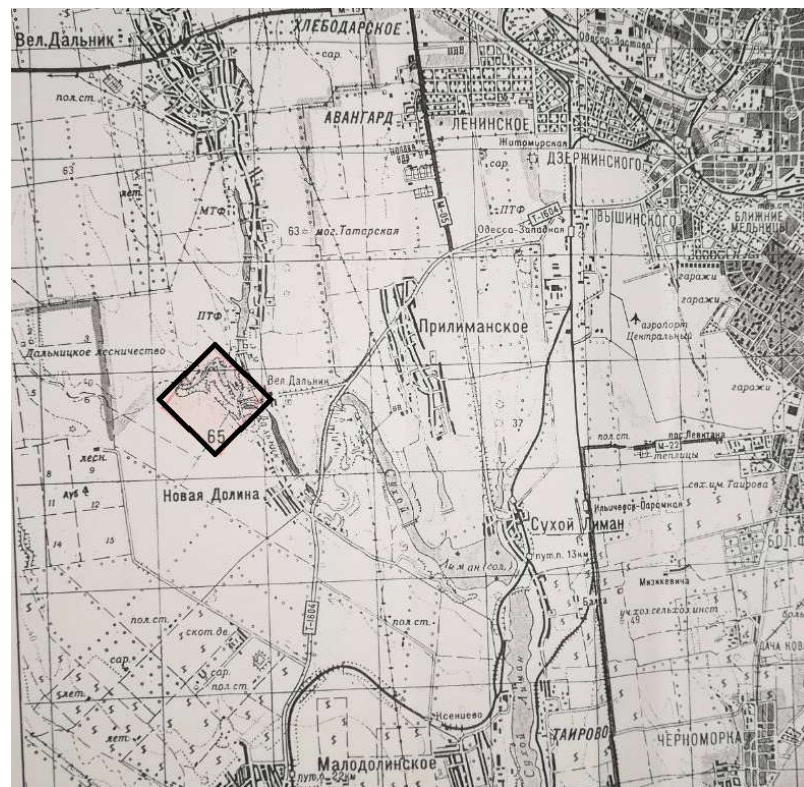


Рисунок 2.2 – Оглядова схема території досліджень

Звалище розташоване на землях сільгосппідприємства «Дружба» Біляївського району площею 35,8 га і на землях сільгосппідприємства ім. Фрунзе Овідіопольського району площею 60,4 га, та приурочене відпрацьованим Дальницьким кар'єрам вапняку. Найближча автотраса Одеса-Овідіополь розташована в 1.5 км на схід від звалища. Звалище з'єднане з автотрасою асфальтованою дорогою.

Територія звалища «Дальницькі кар'єри» розташована в межах Причорноморської низовини, в орографічному відношенні є степовою рівниною, полого нахиленою на південь і південний схід, і порізаною балками і нечисленними річками.

В балці Сухий лиман, яка перерізає схил рівнини, на місці відпрацьованих Дальницьких кар'єрів, організоване міське звалище побутових відходів.

Гідрографічна мережа району пов'язана з басейном Чорного моря і представлена лиманами і малими річками. Сухий лиман (затоплене гирло р. Дальник) знаходиться на південь від м. Одеси, довжина його 11 км, глибина 1-6 м, ширина 0,4-1,5 км. Річка Дальник бере початок за межами досліджуваного району, протікає паралельно звалищу, приблизно в 500 м, впадає в Сухий Лиман.

На момент досліджень в заплаві річки Дальник (навпроти міського звалища) побудований каскад ставків для розведення риби. Ставки відокремлені один від одного насипними дамбами з пропускними регульованими спорудами. З обох сторін ставків прориті дренажно-обвідні канали глибиною до 2-х м, по яким скидається вода річки Дальник і дренажні води (рис. 2.3).



Для обліку залежності накопичення забруднюючих речовин велике значення має інверсія температури. Найбільша кількість приземних інверсій спостерігається в нічні години в квітні-травні. Підняті інверсії в 2-х кілометровому шарі в денні години спостерігаються частіше, ніж в нічні; за рік найбільше число інверсій в піднесеному шарі спостерігається в холодну пору року.

У геоструктурному відношенні район дослідження відноситься до Причорноморської западини, чим і визначається його геологічна будова.

Докембрійський кристалічний фундамент, з якого складається дно Причорноморської западини, занурений на глибину більше 4000 м. На кристалічному фундаменті западини залягає потужна товща осадових відкладень палеозойського, мезозойського і кайнозойського періодів, представлених вапняками, пісками та глинами.

Значну потужність в досліджуваному районі мають техногенні сучасні насипні ґрунти, представлені звалищем побутових відходів потужністю до 20 м і відвалів розкривних порід кар'єру, представлених суглинками з брилами і щебенем вапняку.

Гідрогеологічні умови досліджуваного району розглядаються через можливе забруднення підземних вод фільтратом зі звалища. Основним експлуатованим водоносним горизонтом в районі міста Одеси є водоносний горизонт середньосарматського ярусу неогену, перекритий зверху товщею мотичних глин з коефіцієнтом фільтрації менше 0,002 м/добу ( $2,3 \cdot 10^{-6}$  см/с).

Водоносні горизонти, які розташовані вище по розрізу (від сарматського) і розвинені в межах досліджуваної території, використовуються в основному для господарсько-побутових потреб населення з шахтних колодязів з мінералізацією води більше 3,0 г/л.

Заболоченість та джерела на території звалища побутових відходів утворились в результаті дренажу підземних вод понтичного водоносного горизонту в кар'єр і збору талих та дощових вод з прилеглих до кар'єру водозбірних площ, а також акумуляції їх на території звалища.



Присутня при розробці кар'єру дренажно-водовідвідна канава для збору та відводу дренажних та поверхневих вод при організації міського звалища була засипана. В теперішній час дренажна канава збереглася тільки у верховині кар'єру, відвід поверхневого стоку відбувається по струмку, русло якого слабо виражене в рельєфі.

Заболоченість на території розповсюдження міського звалища утворилося в товщі мотичних глин через просочування та акумуляцію поверхневих вод та дренування в кар'єр підземних вод з понтичних вапняків.

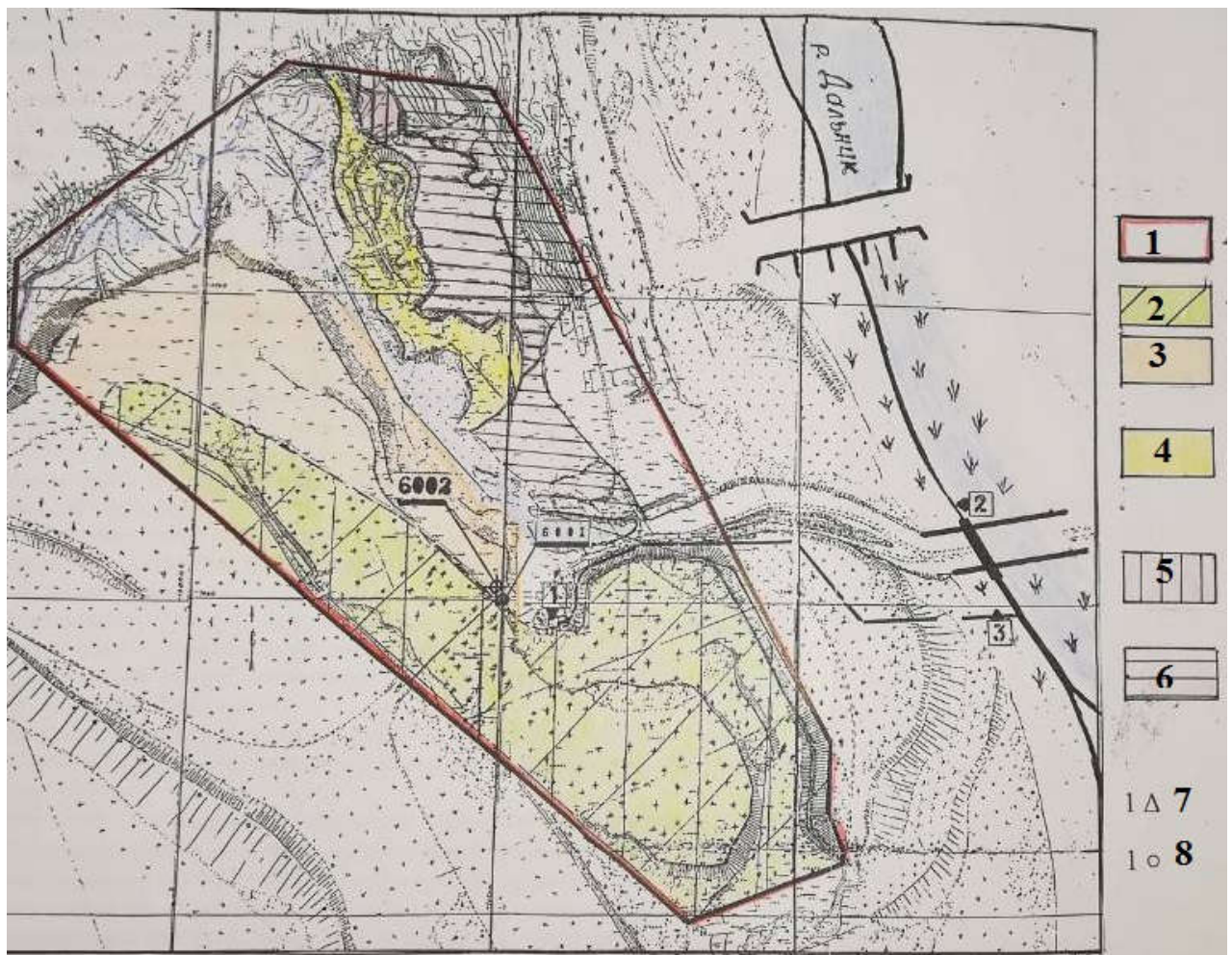


Рисунок 2.4 – Карта-схема відбору проб води (7) та ґрунтів (8): 1 – межа території звалища; 2 – відпрацьована територія звалища; 3 – територія, яка зайнята звалищем; 4 – ділянка розповсюдження розкритих порід – суглинків з включенням вапняку; 5 – ділянка розповсюдження міцних вапняків; 6 – ділянка розповсюдження слабких вапняків.

Забруднення ґрунтів важкими металами значно вище на території звалища і в безпосередній близькості до території звалища, ніж у річці Дальник.

За бактеріологічними показниками вода характеризується індексом ЛКП, вміст якого складає 24000 за всіма пробами води та індексом ЕС від 6200 до 24000. Колі-фаги та ентеробактерії у воді не спостережено.

Фонова концентрація забрудненості повітряного середовища в районі міського звалища наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Фонова концентрація забруднюючих речовин

| Градації швидкості повітря,<br>м/с       | Концентрація, $C_{\phi}$ , мг/м <sup>3</sup> |          |        |          |         |
|--|--|----------|--------|----------|---------|
| Інгредієнти /<br>градації напрямку вітру | 0-2  | 3-12     |        |          |         |
|  | будь-<br>яке                                 | північне | східне | південне | західне |
| Пил                                      | 0,3  | 0,3      | 0,5    | 0,3      | 0,3     |
| Оксид Сульфуру (IV)                      | 0,04   | 0,04     | 0,06   | 0,04     | 0,04    |
| Оксид Карбону(II)                        | 3,6  | 3,8      | 5,0    | 3,8      | 3,6     |
| Оксид Нітрогену (IV)                     | 0,06   | 0,06     | 0,10   | 0,06     | 0,06    |
| Сажа                                     | 0,08   | 0,08     | 0,10   | 0,08     | 0,08    |
| Фторид Гідрогену                         | 0,010  | 0,010    | 0,016  | 0,010    | 0,010   |
| Формальдегід                             | 0,019  | 0,019    | 0,030  | 0,019    | 0,019   |

При розгляді всього комплексу проблем, пов'язаних з перевантаженням звалища ТПВ, зі збором, транспортуванням, знезараженням та утилізацією ТПВ, в першу чергу важливим є питання щодо складу та властивостей звалищного субстрату (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Склад побутових відходів (м. Одеса), [153]

| Найменування       | %       | Середній % | Середньорічне накопичення,<br>тис. тон |
|--------------------|---------|------------|--|
| Папір              | 25-40   | 35         | 219,5                                  |
| Харчові відходи    | 20-30   | 25         | 156,8                                  |
| Деревина, листя    | 0,5-3,5 | 3          | 18,8                                   |
| Текстиль           | 4-5     | 4          | 25,0                                   |
| Метал              | 2,4     | 3          | 25,0                                   |
| Скло               | 5-9     | 7          | 43,9                                   |
| Шкіра, гума        | 0,5-3   | 2,5        | 15,7                                   |
| Кістки             | 0,3-2   | 1,5        | 9,4                                    |
| Очерет             | 0,5-3   | 1,5        | 9,4                                    |
| Пластик            | 1,5-2,5 | 2          | 12,5                                   |
| Інші компоненти    | 0,5-2   | 1,5        | 9,4                                    |
| Відсів менше 16 мм | 5-25    | 14         | 87,8                                   |
| Всього             | -       | 100        | 627                                    |

Аналіз морфологічного складу окремих фракцій показує, що дрібнодисперсні фракції (менше 150 мм) містять 90-95% харчових залишків. ТПВ м. Одеса, як і більшості міст України та світу, крім відходів, що утворює населення, включають відходи (переважно харчові) ресторанів, торгівельних підприємств, закладів, державних служб. Крім того, за рахунок сезонного приросту мешканців міста (більше 300 тис. осіб на рік) в складі ТПВ збільшується частка харчової складової, що є особливістю ТПВ Одеського регіону.



## 2.3 Методи і методики, які використовуються в експериментальних дослідженнях

### 2.3.1 Методика визначення складу проб атмосферного повітря

Відбір проб повітря проводився згідно вимог РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [154] в двох пунктах спостереження (рис. 2.5).

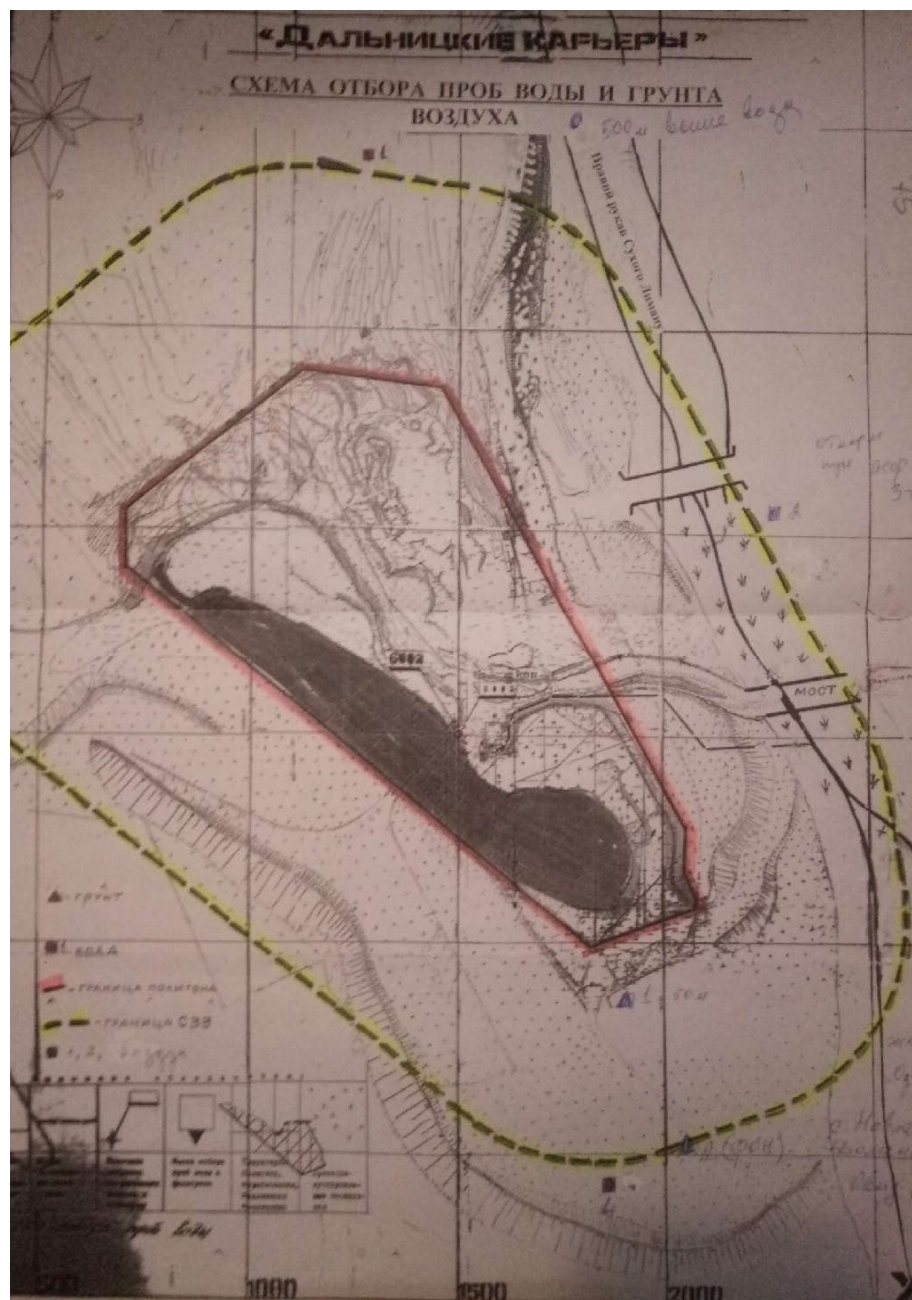


Рисунок 2.5 – Схема відбору проб повітря при натурному експерименті

Вимірювальні прилади і обладнання:

1. Газоаналізатор «СВ-320-А2»
2. Хемолюмінісцентний газоаналізатор оксиду Нітрогену Р-310А-1
3. ІМП Термостат мод. Т-3С
4. Зонт пробовідбірний ПЗ ВЗ «Атмосфера-М» 5-ти каналний
5. Метеостанція LavisVantagePRO2
6. Газоаналізатор К-100
7. Зонт пробовідбірний ПЗ ВЗ «Атмосфера-М» 1-но каналний
8. Газоаналізатор 623 ПИ 08

Таблиця 2.3 – Перелік використаних методик вимірювання

| Показник |                      | Назва та позначення методики вимірювання  | Одиниці вимірювання | Діапазон, мг/дм <sup>3</sup> , і похибка вимірювань, % |
|----------|----------------------|---|---------------------|--|
| №        | назва                |   |                     |  |
| 1.       | Оксид Карбону (IV)   | керівництво по експлуатації (КЕ) ІРМБ 413416.100<br>Газоаналізатор К-100          | мг/дм <sup>3</sup>  | 0 – 50<br>$\Delta = \pm 20$                            |
| 2.       | Оксид Сульфуру (IV)  | КЕ ІРМБ 413312.024.РЭ<br>Газоаналізатор «СВ-320-А2»                               | мг/дм <sup>3</sup>  | 0 – 2,0<br>$\Delta = \pm 25$                           |
| 3.       | Вуглеводні (сумарні) | КЕ ААЮД 423 181.001.РЭ<br>Газоаналізатор 623 ПИ 08                                | мг/дм <sup>3</sup>  | 0 – 50<br>$\Delta = \pm 15$                            |
| 4.       | Оксид Нітрогену (IV) | КЕ ІРМБ 413312.014. РЭ<br>Хемолюмінісцентний газоаналізатор оксиду азоту Р-310А-1 | мг/дм <sup>3</sup>  | 0 – 1,0<br>$\Delta = \pm 20$                           |
| 5.       | Гідрид Сульфуру (II) | КЕ ІРМБ 413312.024. РЭ<br>Газоаналізатор «СВ-320-А2»                              | мг/дм <sup>3</sup>  | 0 – 0,2<br>$\Delta = \pm 25$                           |

### **2.3.2 Методика визначення складу проб водних об'єктів (фільтрату з відстійників)**

Хімічні аналізи в процесі дослідження було виконано на базі лабораторії УНДІ Медицини транспорту, м. Одеса, відповідно до методик виконання вимірювань, допущених до використання та наведених у «Переліку методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів, скидів, тимчасово допущених до використання Мінекоресурсів України» та уніфікованих методів дослідження якості вод [155]. До Переліку методик (табл. 2.4) входять відомості щодо методик виконання вимірювань і визначень складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, розроблених на замовлення Мінприроди та атестованих Укрметртестстандартом Держспоживстандарту України, уведених в дію наказами Мінприроди від 03.09.2002 № 336, від 30.06.2004 № 257, від 21.06.2005 № 219, від 02.02.2007 № 33, від 01.11.2007 № 549; галузевих і виробничих МВВ, атестованих відповідно до ГОСТ 8.010-99, щодо яких отримано дозвіл власників цих методик на використання їх для здійснення державного контролю за дотриманням встановлених екологічних нормативів; «Переліку методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, тимчасово допущених до використання Мінекоресурсів України», затвердженого наказом Мінекоресурсів України від 03.11.2003 № 98 [156].

Таблиця 2.4 – Перелік використаних методик вимірювання

| Показник |  | Назва та позначення методики вимірювання   | Одиниці вимірювання               | Діапазон і похибка вимірювань         |
|----------|--|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| №        | назва                                  |  |                                   |                                       |
| 1        | 2                                      | 3  | 4                                 | 5                                     |
| 1.       | Сухий залишок                          | КНД 211.1.4.042-95<br>Методика гравіметричного визначення сухого залишку (розчинених речовин) в природних та стічних водах       | мг/дм <sup>3</sup>                | 50-1000<br>$\Delta = \pm (5-50)$      |
| 2.       | Сульфати                               | КНД 211.1.4.026-95<br>Методика турбідиметричного визначення сульфат-іонів в очищених стічних водах                               | мг/дм <sup>3</sup>                | 10-1000<br>$\Delta = \pm (2,5-100)$   |
| 3.       | Хімічне споживання кисню (ХСК)         | КНД 211.1.4.021-95<br>Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах                         | мгО/дм <sup>3</sup>               | 5-10000<br>$\Delta = \pm (0,7-800)$   |
| 4.       | Біохімічне споживання кисню (БСК)      | КНД 211.1.4.024-95<br>Методика визначення біохімічного споживання кисню після <i>n</i> днів (БСК) в природних і стічних водах    | мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | 3-10000<br>$\Delta = \pm (0,21-700)$  |
| 5.       | Фосфати (ортофосфати, фосфор фосфатів) | КНД 211.1.4.043-95<br>Методика фотометричного визначення фосфатів у стічних водах  | мг/дм <sup>3</sup>                | 2-500<br>$\Delta = \pm (0,14-34)$     |
| 6.       | Амоній (Нітроген амонійний, амоніак)   | КНД 211.1.4.030-95<br>Методика фотометричного визначення амоній-іонів з реактивом Неслера в стічних водах                        | мг/дм <sup>3</sup>                | 0,15-5<br>$\Delta = \pm (0,071-1,22)$ |
| 7.       | Нітрити                                | КНД 211.1.4.023-95<br>Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах | мг/дм <sup>3</sup>                | 0,03-10<br>$\Delta = \pm (0,009-2)$   |

Продовження таблиці 2.4

| 1   | 2                | 3   | 4                  | 5                                      |
|-----|------------------|---|--------------------|--|
| 8.  | Нітрати          | КНД 211.1.4.027-95<br>Методика фотометричного визначення нітратів з саліциловою кислотою у поверхневих та біологічно очищених водах | мг/дм <sup>3</sup> | 0,5-110<br>$\Delta = \pm (48-25)$      |
| 9.  | Завислі речовини | КНД 211.1.4.039-95<br>Методика гравіметричного визначення завислих (суспендованих) речовин в природних і стічних водах              | мг/дм <sup>3</sup> | 5-5000<br>$\Delta = \pm (20-10)$       |
| 10. | Залізо           | КНД 211.1.4.034-95<br>Методика фотометричного визначення загального заліза з ортофенантроліном в поверхневих та стічних водах       | мг/дм <sup>3</sup> | 0,1-100<br>$\Delta = \pm (0,018-0,14)$ |

Оскільки до Переліку методик вимірювання не входять відомості щодо методик експрес-вимірювань показників складу та властивостей проб вод в процесі досліджень було також використано уніфіковані методи дослідження якості вод для таких показників: температура, запах, кольоровість, прозорість, осад, реакція рН, хлориди, лужність, мідь, кобальт, кадмій, свинець, цинк, докладний опис яких наведено в «Унифицированных методах анализа вод» под ред. д.х.н. Ю.Ю. Лурье [157].

Похибка вимірювань, у залежності від конкретної методики наводиться у вигляді границь абсолютної похибки ( $\Delta$ ), границь відносної похибки ( $\delta$ ), середнього квадратичного відхилення ( $\sigma$ ), довірчих границь похибки ( $\varepsilon$ ), невиключеної складової систематичної похибки ( $\theta$ ), допустимої розбіжності результатів паралельних вимірювань ( $d$ ), допустимого відхилення від середнього арифметичного результатів паралельних вимірювань в умовах збіжності ( $d_c$ ), допустимої відтворюваності результатів повторних вимірювань ( $D$ ), допустимого відхилення від середнього арифметичного результатів повторних вимірювань в умовах відтворюваності ( $D_c$ ) за довірчої ймовірності  $P = 0,95$ .

Проби відбиралися у трьох точках пробовідбору, а саме – у ставку-

відстойнику господарської зони, в лівому рукаві Сухого лиману, 500 м вище звалища ТПВ (фон) та 500 м нижче звалища, біля с. Нова Долина в Овідіопольському районі з двох відстійників, які знаходяться безпосередньо поруч зі звалищем, куди фільтрат потрапляє самопливом без очищення.

### 2.3.3 Методика визначення складу проб ґрунтів

Проби ґрунтів відбирали у двох точках – в безпосередній близькості від звалища (50 м в південній частині звалища) та на границі санітарно-захисної зони (500 м) – методом конверта з глибини 5-10 см. Після транспортування в пластиковій тарі проби підлягали лабораторному аналізу за стандартизованими методиками (табл. 2.5)

Таблиця 2.5 – Перелік використаних методик вимірювання

| Показник |               | Назва та позначення методики вимірювання (од. вим. – мг/кг)   |
|----------|---------------|---|
| №        | назва         |   |
| 1        | 2             | 3   |
| 1.       | рН            | рН-метр у водних витяжках, підготовлених за ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки» |
| 2.       | Хлориди       | ГОСТ 26425-85 «Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке»   |
| 3.       | Нітрати       | ГОСТ 26426-85 «Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом»   |
| 4.       | Сульфати      | ГОСТ 26426-85 «Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке»  |
| 5.       | Бікарбонати   | ГОСТ 26424-85 «Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке»   |
| 6.       | Нафтопродукти | РД 52.18 МУ. «Измерение содержания элементов в образце»   |

Продовження таблиці 2.5

| 1  | 2                           | 3  |
|----|-----------------------------|--|
| 7. | Рухливі форми ртуті, свинцю | атомно-емісійний спектрометр ЭМАС-200CCD у відповідності до МВВ № 35/16-2017 «Поліелементний аналіз біологічних матеріалів, об'єктів навколишнього середовища, відходів та полімерних матеріалів методом атомної емісії з електродуговою атомізацією». В якості розчинника використовували стандартну буферну суміш – графітовий порошок та хлористий калій у співвідношенні 1:1. Визначення рухливих форм ртуті проведено після обробки проби нітратною кислотою за допомогою аналізатора ртуті «Юлія-2М» |

### 2.3.4 Приготування компостних сумішей, проведення процесу компостування і відбір проб

В якості сировини для компостування використовували суміш харчових (очистки картоплі, кабачків та моркви, листя капусти), сільськогосподарських (бур'ян) і садово-паркових (листяний опад) відходів у ваговому співвідношенні 1:1:1. Листяний опад використовували в якості наповнювача. Сировину подрібнювали до розмірів 10-15 мм, підсушували на повітрі протягом 2 годин і загрузали в реактор. Для підвищення ефективності процесу компостування та порівняння особливостей перебігу процесів використовували в якості мікробіологічної добавки екстракт з ґрунту, в якості мінеральної – розчини мінеральних солей (нітрат кальцію, дігідрофосфат калію і сульфат магнію).

Варто зазначити, що за результатами досліджень [158] структура мікробних комплексів є невід'ємною складовою детальної характеристики ґрунтів, тому доцільно використовувати його мікробні комплекси в якості мікробіологічної добавки для компостування в природних умовах.

Експеримент проводили в трьох стаціонарних реакторах об'ємом 3 дм<sup>3</sup> з примусовою аерацією протягом 6 тижнів. Умови проведення експерименту наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Умови проведення експерименту

| Номер реактора | Інокулят | Добавка         | Температура навколишнього середовища, °C |
|----------------|----------|-----------------|--|
| 1              | грунт    | -               | 18-20                                    |
| 2              | грунт    | мікробіологічна | 18-20                                    |
| 3              | грунт    | мікробіологічна | 55                                       |
| 4              | грунт    | мінеральна      | 18-20                                    |
| 5              | грунт    | мінеральна      | 55                                       |

В кожний реактор вносили суміш, яка компостується (КС), в кількості 1,2 (2/3 об'єму реактора) з вологістю 72%, яка перемішувалась зі 100 г ґрунту (типовий для регіону чорнозем південний мало гумусний) в якості інокуляту. В реактор 1 (контроль) додавали 100 мл води дистильованої, а в реактори 2 і 3 додавали 100 мл мікробіологічної добавки, яка є водним екстрактом ґрунту, одержаного при інкубації ґрунту з водою за гідромодулем (ГМ) 10 протягом 20 хвилин при перемішуванні. В реактори 4 і 5 додатково вносили розчини мінеральних солей в кількості 150 г/кг сухої КС за вагового співвідношення  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} : \text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 4:2:1$

В якості мікробіологічної добавки для підвищення ефективності процесу компостування використовували екстракт з ґрунту (чорнозему південного), який містить целюлозолітичні мікроорганізми та бактеріальні колонії. До числа найбільш активних целюлозо руйнівних мікроорганізмів відносяться бактерії і мікроміцети, проте домінуючу роль в розкладанні целюлозовміщуючих відходів при проведенні процесу компостування мають бактерії [159].

Реактори 1, 2 і 4 були ізольовані від дії температури навколишнього середовища. Реактор 3 і 5 помістили в термостат зі встановленою температурою 55 °C з метою термофільного компостування. Компостування продовжувалось протягом 6 тижнів, при цьому суміш, яка компостувалась, кожного дня перемішували та зволожували для підтримання вологості на



рівні біля 70–75 %. Кожного тижня проводили відбір наважок масою біля 10 г для проведення досліджень.

Контроль параметрів процесу компостування здійснювали за зміною температури, рН та чисельності мікроорганізмів в суміші, що компостується, а також емісії  $\text{CO}_2$  із реактора [160]. Зрілість компосту, який отримували, визначали за індексом пророщування [161] і співвідношенням вмісту загального Карбону і Нітрогену в суміші, яка компостувалась [162].

Температуру всередині суміші, яка компостувалась, вимірювали з допомогою спиртового термометру, який закріплено в кришці реактора, нижній кінець якого знаходився в глибині суміші, яка компостується.

Один раз на тиждень проводили відбір газової фракції із реакторів з допомогою одноразових пластикових шприців на  $50 \text{ см}^3$ . Приєднували шприц до трубки для відводу газів із реактора, потім реактор струшували для вилучення газів з об'єму суміші, яка компостується, і через 5 хв. відбирали пробу газової суміші в кількості  $50 \text{ см}^3$ . Кількість вуглекислого газу в пробі визначали за допомогою газового хроматографу «Хроматэк Кристалл 5000.2».

Наважки проб суміші, що компостується, біля 5 г поміщали в металічні бюкси та висушували до постійної маси для визначення вологості, загального Карбону та загального Нітрогену. Доведені до постійної маси проби подрібнювали в фарфоровій ступці. Просіювали через сито з розміром пор 0,25 мм і потім використовували для визначення загального органічного Карбону за Тюріним [163] і загального Нітрогену за Кьельдалем [164]. Наважки вологих проб масою 5 г поміщали в конічні колби на  $250 \text{ см}^3$ , змішували з  $50 \text{ см}^3$  дистильованої води, струшували на качалці протягом 1 год, потім фільтрували через складчастий фільтр для визначення рН, чисельності мезофільних і термофільних мікроорганізмів і коефіцієнта всхожості.

pH водної витяжки визначали з допомогою лабораторного pH-метра. Чисельність мікроорганізмів визначали з допомогою посіву на тверде поживне середовище в чашки Петрі за методом Коха [159].

Коефіцієнт всхожості визначали за кількістю насіння редису посівного, що проросло, із десяти і довжинами проростків в водних витяжках із компостів порівняно з контролем (дистильована вода).

Контроль якості готового продукту визначали за співвідношенням C/N та вмістом в сухій речовині загального Нітрогену.

Чисельність бактерій при вирощуванні співтовариств мікроорганізмів і в динаміку процесу компостування визначали методом посіву на середовище МПА. Облік бактерій здійснювали через 24 год культивування при температурі 28°C. Чисельність міксоміцетів визначали методом посіву на щільне середовище Чапека (г/л): сахароза або глюкоза - 20,0;  $\text{NaNO}_3$  - 2,0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  - 1,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  - 0,5; KCl - 0,5;  $\text{CaCO}_3$  - 3,0; агар - 20,0; молочна кислота - 4 мл. Облік мікроміцетів здійснювали через 7 діб культивування при температурі 28°C. Чисельність бактерій і мікроміцетів виражали в lg КОЕ г<sup>-1</sup> компосту.

Визначення кількості целюлозоруйнівних мікроорганізмів здійснювали методом граничних розведень [165]. Мікроорганізми вирощували на середовищі Гетчинсона при температурі 28°C впродовж 10 діб. Кількісний облік мікроорганізмів, що розвилися на живильному, середовищі проводили за допомогою таблиці Мак-Креди, складеної на підставі методів варіаційної статистики [159].

## **2.4 Методики оцінки рівня екологічної небезпеки звалища ТПВ**

### **2.4.1 Методика експертної оцінки рівня екологічної небезпеки**

З метою встановлення механізму формування екологічної небезпеки звалищ ТПВ проводиться оцінка суттєвості ідентифікованих екологічних аспектів, і, як наслідок, виділення пріоритетних природоохоронних

напрямків [166-168]. В основу методики оцінки значущості екологічних аспектів звалищ ТПВ [169] покладено визначення індексу впливу, тобто оцінки ступеня впливу екологічного аспекту на НС в балах, де К, П, В – загальні оцінки балів за кількістю (К), поширенням (П) і впливом (В) факторів.

$$IV = K * P * V, \quad (2.1)$$

де К – характеризує кількість (обсяг) впливу; П – особливості поширення впливу; В – ступінь небезпеки впливу.

В основу експертної методики покладено бальний підхід, який відрізняється простотою і дозволяє скласти прийнятну загальну характеристику впливу підприємства на НС. Кожен фактор впливу в залежності від значення зазначених параметрів оцінюється за трибальною шкалою. Перемноженням значень бальної оцінки за трьома параметрами отримується підсумкова оцінка, яка характеризує ступінь даного чинника впливу.

Оцінку рівня екологічної небезпеки звалищ ТПВ запропоновано виконати за допомогою такого експертного методу, як А, В, С – аналіз (релевантні таблиці), який дозволяє ранжувати всі екологічні аспекти за ступенем впливу на компоненти довкілля та здійснювати кількісну оцінку найбільш суттєвих екологічних аспектів за методикою експертної оцінки.

Результатом аналізу таблиці є ранжування стадій ЖЦ та екологічних аспектів за ступенем впливу на довкілля та формулювання обґрунтованих пропозицій щодо мінімізації негативного впливу технологічних процесів виробництва на навколишнє природне середовище.

#### **2.4.2 Методика індексної оцінки рівня екологічної безпеки**

Для оцінки екологічної небезпеки та класифікації підприємств, об'єктів і джерел негативного впливу на навколишнє середовище використовується показник, що дозволяє чисельно оцінити екологічну небезпеку промислового об'єкта, і система класифікації об'єктів, яка заснована на аналізі значення

даного показника [169].

Для оцінки рівня екологічної небезпеки та класифікації підприємств, об'єктів та джерел негативного впливу на навколишнє середовище, в тому числі звалищ ТПВ, з метою їх подальшого врахування запропоновано зведений комплексний індекс екологічної небезпеки  $Z$ :

$$Z = D + R, \quad (2.2)$$

де  $D$  – індекс небезпеки для природних середовищ у умовах штатної роботи,  $R$  – індекс небезпеки об'єкта в умовах надзвичайної ситуації.

Розраховані значення індексів  $D$  та  $R$  дозволяють класифікувати звалище за рівнем екологічної безпеки на чотири групи в залежності від ступеня екологічної небезпеки для навколишнього середовища в штатному та аварійному режимах, а також обґрунтувати доцільність впровадження техніко-технологічних заходів з управління екологічною безпекою.

### 2.4.3 Методика оцінки екологічного ризику звалищ ТПВ

В управлінні екологічною безпекою та здійсненні природоохоронної діяльності особливе місце посідає теорія екологічного ризику.

Методика прогнозування наслідків аварійних ситуацій при розливах і викидах небезпечних речовин [170] охоплює широке коло аварійних ситуацій, природних та природно-техногенних катастроф, пов'язаних з викидом екологічно небезпечних токсичних речовин. Практичне застосування методики доцільно здійснювати на основі програмно-обчислювальної системи, що використовує мінімальну, але достатню для отримання надійних результатів кількість найважливіших параметрів і вихідних даних. Основним результатом розрахунків є отримання якісної залежності екологічного ризику від потужності викиду шкідливої речовини.

Згідно [170], в усіх випадках ризик аварій на об'єкті підвищеної небезпеки для населення рекомендується вважати цілком прийнятним при рівнях:

- а) територіального ризику  $R_t \leq 10^{-7}$ ;

б) індивідуального ризику  $R_i \leq 10^{-8}$ ;

в) соціального ризику  $R_s \leq 10^{-7}$ .

Як критерій соціального ризику може використовуватись також очікувана кількість загиблих в виділеному регіоні за межами СЗЗ (в місті, селищі, на території підприємств і організацій, що знаходяться в промисловій зоні і т. п.) на 1000 мешканців. При цьому рекомендується вважати цілком прийнятним  $M_D \leq 10^{-5}$ .

Рекомендується вважати неприйнятним:

а)  $R_t > 10^{-5}$  для територіального ризику за межами СЗЗ, що має в своєму складі хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки;

б)  $R_i > 10^{-6}$  для індивідуального ризику — для людини, яка знаходиться в конкретному регіоні за межами СЗЗ;

в)  $R_s > 10^{-5}$  для соціального ризику загибелі більше 10 осіб протягом 1 року в виділеному регіоні за межами СЗЗ, або  $M_D > 10^{-3}$ .

Територіальний ризик в  $k$ -й точці простору на виділеному джерелі небезпеки згідно:

$$R_t^k = P_{bij} \cdot P_{um} \cdot P_{af} \cdot P_{ck}, \quad (2.3)$$

де  $P_{bij}$  — імовірність виникнення аварії на  $i$ -му джерелі при реалізації  $j$ -ї ініціюючої події;  $P_{um}$  — умовна ймовірність можливого наслідку аварії;  $P_{af}$  — умовна ймовірність реалізації одного з можливих видів аварії;  $P_{ck}$  — умовна ймовірність смертельного результату в  $k$ -й точці простору.

Індивідуальний ризик загибелі людини в точці  $k$ , що мешкає в розглянутому регіоні:

$$R_i^k = R_t^k \cdot P_n^k, \quad (2.4)$$

де  $P_{nk}$  — імовірність перебування людини в  $K$ -й точці простору.

Очікувана кількість загиблих протягом одного року в розглянутому регіоні  $M_D$ , а також соціальний ризик визначаються за значенням територіального ризику в виділеному регіоні і щільності населення.

$$M_D = R_t \cdot N. \quad (2.5)$$

#### 2.4.4 Методика розрахунку емісії парникових газів та дослідження процесів метаноутворення на звалищах

В щорічному Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні [85] наведено методики і результати проведених розрахунків за всіма видами джерел парникових газів. Для оцінки викидів метану від звалищ ТПВ тут використовується метод другого рівня деталізації – метод затухання першого порядку (ЗПП) [123].

За даним методом річні викиди  $\text{CH}_4$  від відходів, розміщених на звалищах в поточному і попередньому році, визначаються за формулою:

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot \text{MWS}_i \cdot \text{MWS}_{i,j} \cdot L_{oi,j} e^{-k_j(t-x)}, \quad (2.6)$$

де  $A$  – множник норми, який визначається за формулою:

$$A = \frac{(1-e^{-k_j})}{k_j}, \quad (2.7)$$

де  $k_j$  – постійна темпів утворення метану для  $j$ -го компоненту ТПВ, рік<sup>-1</sup>;  $\text{MSW}_i$  – загальна маса ТПВ, які складовані в рік  $i$ , т/рік;  $\text{MSW}_{ij}$  – вміст  $j$ -го компоненту в ТПВ в  $i$ -му році, %;  $t$  – розрахунковий рік, рік;  $x$  – період, за який вносяться дані, рік;  $L_{oi,i}$  – потенціал утворення метану в рік  $i$ , т  $\text{CH}_4/\text{тТПВ}$ :

$$L_{oi,j} = \text{DOC}_j \cdot \text{DOC}_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} \cdot \text{MCF}_i, \quad (2.8)$$

де  $\text{DOC}_j$  – загальна кількість органічного Карбону, який здатний біологічно розкладатися, в  $j$ -ій фракції, тС/тТПВ;  $\text{DOC}_F$  – частка Карбону, яка бере участь в реакціях розкладення ( $\text{DOC}_F=0,5$ );  $F$  – вміст метану в біогазі ( $F = 0,5$ );  $16/12$  – коефіцієнт перерахунку Карбону в метан;  $\text{MCF}_i$  – фактор корекції метану, який залежить від умов захоронення ТПВ.

Викиди метану в атмосферу визначаються за рахунок видобутку або спалення метану на факелі з огляду на окислення у верхній частині:

$$Q(t)^{\text{em}} = [Q(t) - R]^{1-\text{OX}}, \quad (2.9)$$

де:  $R$  - зібраний метан, т;  $\text{OX}$  - коефіцієнт окислення метану.

Модель пропонує індивідуальний розрахунок для кожної категорії органічних відходів ( $DOC_j$ ,  $k_j$ ), які згруповані залежно від швидкості розкладання та вмісту органічного вуглецю. У 2012 році проведено польові та лабораторні експерименти з визначення DOC в харчових відходах [114]. Результати показали, що DOC для харчових відходів, ймовірно, може бути набагато нижчим, ніж значення за замовчуванням МГЕЗК 2006, але з урахуванням особливостей та несистемного характеру дослідження необхідна додаткова діяльність для розробки національного коефіцієнта. Постійна швидкість виробництва метану  $k_j$  приймається за умовчанням для помірної кліматичної зони відповідно до [110].

## **2.5 Розробка алгоритму управління екологічною безпекою звалищ ТПВ**

Управління екологічною безпекою – це складний процес, який базується на загальних закономірностях формування екологічної небезпеки. Існують різні теорії та методики управління екологічною безпекою: синергетичний підхід, економічний підхід, комплексна ієрархічна система техніко-технологічного управління та інші.

Стратегія управління екологічною безпекою базується на наступних основних положеннях [171]:

- управління повинно здійснюватися на основі використання закономірностей формування екологічної небезпеки;
- ефективне управління можливе тільки з використанням розроблених підсистем, які відповідають структурним елементам екологічної небезпеки.

Згідно з представленими положеннями, управління екологічною безпекою досліджуваної природно-техногенної системи повинно розроблятися на основі структури механізму сформованої екологічної небезпеки. Техніко-технологічні рішення розробляються на основі принципу,

спрямованого на зниження рівня екологічної небезпеки. Дана стратегія визначає основний напрямок дисертаційної роботи.

Розробка техніко-технологічних рішень базується на результатах експериментальних досліджень способів зниження впливу техногенних факторів на навколишнє середовище і людину, а також можливості їх реалізації в умовах конкретного техногенно-природного об'єкта.

На основі розроблених теоретичних положень щодо ідентифікації джерел впливу та екологічних аспектів, механізму формування екологічної небезпеки, оцінки її рівня розроблено алгоритм управління екологічною безпекою, наведений на рис. 2.6.

Наведена послідовність і зміст етапів на рис. 2.6 є теоретичною основою, на якій ґрунтується оцінка існуючого стану екологічної небезпеки звалищ ТПВ і розробка комплексу техніко-технологічних рішень з управління екологічною безпекою, зокрема, удосконалення технології утилізації харчової складової ТПВ з метою зменшення впливу звалищ на компоненти довкілля.





Рисунок 2.6 – Алгоритм управління екологічною безпекою звалищ ТПВ

## 2.6 Висновки до розділу

Аналіз та використання методологічних підходів до комплексної оцінки та управління екологічною безпекою звалищ ТПВ дозволив зробити наступні висновки:

1) Дослідження в сфері управління екологічної безпекою звалищ ТПВ неможливі за відсутністю обґрунтованої методології, тому розроблено програму дисертаційних досліджень, механізм формування екологічної небезпеки, методологію та алгоритм управління екологічною безпекою звалищ ТПВ.

2) Характеристика об'єкту дослідження дозволила отримати інвентаризаційні відомості про складування відходів (обсяг, склад, час, місце складування, клас небезпеки, тощо), а також про кліматичні, ґрунтово-геологічні та інші природні умови зони розміщення звалища, що повною мірою характеризує екологічні аспекти взаємодії звалища з елементами довкілля.

3) Моніторингові дослідження є невід'ємною частиною екологічної оцінки процесів функціонування звалища, тому потребують використання загальноприйнятих апробованих методів і методик дослідження. Надано характеристику методам, які використовувалися при моніторинговому обстеженні звалища, методам статистичної обробки результатів експериментальних досліджень, обґрунтовано перелік хімічних, біохімічних, фізико-хімічних та мікробіологічних методів експериментальних досліджень з удосконалення технології компостування харчової складової ТПВ.

4) Викладені методологічні основи використання методик з оцінки екологічної небезпеки звалищ ТПВ, обґрунтовано використання комплексу експертних, індексних, ризикових та прогнозних інструментів. Методологічні підходи є теоретичним базисом для проведення експериментальних досліджень та розробки удосконаленої технології компостування харчової складової твердих побутових відходів.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗВАЛИЩ ТПВ НА КОМПОНЕНТИ ДОВКІЛЛЯ

#### 3.1 Оцінка впливу звалища ТПВ на довкілля експертним методом

В роботі виконано оцінку рівня екологічної небезпеки звалищ ТМВ на компоненти довкілля за допомогою такого експертного методу, як А, В, С – аналіз (релевантні таблиці). Цей метод дозволяє класифікувати всі екологічні аспекти складування ТПВ на звалищі, які впливають на компоненти довкілля прямо чи опосередковано, за ступенем їх значущості, а отже, для формування алгоритму управління ступенем екологічної небезпеки.

Метод дозволяє ранжувати всі екологічні аспекти за ступенем впливу на компоненти довкілля та здійснювати кількісну оцінку найбільш суттєвих екологічних аспектів за методикою експертної оцінки (релевантні таблиці). За допомогою релевантних таблиць оцінюють вплив основної та допоміжної сировини, стадій технологічного процесу переробки відходу в природних умовах, стадій життєвого циклу звалища, вхідних та вихідних аспектів процесу впливу звалища на навколишнє природне середовище, включаючи:

- вплив основних факторів життєвого циклу відходу на елементи довкілля (повітря, вода, ґрунти);
- оцінку утворення відходів та споживання ресурсів;
- фізичний вплив та ризикові екологічні аспекти.

Ступінь впливу в релевантних таблицях оцінюється як:

- відсутній (0 балів);
- незначний (2 бали);
- помірний (5 балів);
- значний (10 балів);

- перевищуючий встановлені норми (за таких умов звалище функціонувати не може – необхідно передбачити заходи зниження впливу).

Ступінь впливу окремої категорії ТПВ, стадії життєвого циклу чи екологічного аспекту оцінюють за сумою балів:

- А – вплив значний (300-600 балів);
- В – вплив помірний (100-300 балів);
- С – вплив незначний (0-100 балів).

Результатом аналізу таблиці є ранжування стадій життєвого циклу та екологічних аспектів за ступенем впливу на довкілля та формулювання обґрунтованих пропозицій щодо мінімізації негативного впливу технологічних процесів виробництва на навколишнє природне середовище.

Оцінюючи повний життєвий цикл звалища слід враховувати, що, як правило, найбільший негативний вплив на довкілля пов'язаний зі стадією біореєктору, яка характеризується утворенням значної кількості поллютантів, формуванням літо-, гідро- та атмогеохімічних аномалій та пожежонебезпечних ризиків. Проведено оцінювання рівня екологічної небезпеки звалищ ТПВ на компоненти довкілля за допомогою такого експертного методу, як А, В, С – аналіз, або релевантні таблиці (або матриці Леопольда).

За допомогою релевантних таблиць оцінено вплив звалища ТПВ на компоненти довкілля, стадій життєвого циклу, вхідних і вихідних екологічних аспектів процесу переробки відходу на звалищі в природних умовах і складено таблиці для кожної стадії повного життєвого циклу звалища ТПВ (Додаток А). У таблиці 3.1 зведено бальну оцінку вкладу складових ТПВ на компоненти довкілля протягом всього життєвого циклу звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри».

Таблиця 3.1 – Загальна оцінка вкладу складових ТПВ на компоненти довкілля протягом всього життєвого циклу

| Компонент ТПВ                         | Бал | Оцінка |
|---------------------------------------|-----|--------|
| Харчові та рослинні                   | 514 | A      |
| Макулатура                            | 404 | A      |
| Гума, шкіра                           | 387 | A      |
| Полімерні відходи                     | 367 | A      |
| Текстиль                              | 367 | A      |
| Деревина                              | 373 | A      |
| Інші, які не піддаються біодеструкції | 291 | B      |

Аналіз релевантних таблиць дозволяє обґрунтувати вилучення харчових та рослинних відходів з морфологічного складу ТПВ, як таких, що на всіх стадіях життєвого циклу звалища чинять найбільший вплив на компоненти довкілля, який оцінюється в 514 балів, переважно завдяки стадії мікробіологічних процесів та утворення фільтрату (274 бали, додаток А). Це доводить необхідність розробки технологічних рішень в сфері управління саме з харчовою компонентою ТПВ, як вторинним ресурсом високого потенціалу, здатним до значного зменшення рівня екологічної небезпеки.

Серед технічних та технологічних заходів щодо поводження з харчовою складовою ТПВ перше місце варто віднести процесам компостування, як досить досконалому методу їх знешкодження та подальшого використання. Основними перевагами застосування технологій компостування в обробці відходів є повернення наявних у відходах поживних речовин рослин в оборот екосистеми, скорочення кількості відходів, одночасне корисне використання інших органічних відходів продуктів в компості (харчові відходи, листя, трава, гній, очисний мул комунальних вод та ін.).

### 3.2 Комплексна індексна оцінка екологічної небезпеки звалища ТПВ

Для оцінки екологічної небезпеки та класифікації джерел негативного впливу на навколишнє середовище використовується показник, що дозволяє чисельно оцінити екологічну небезпеку звалища, і система класифікації об'єктів, яка заснована на аналізі значення даного показника [169].

У якості такого показника пропонується зведений комплексний індекс екологічної небезпеки  $Z$ , який характеризує ступінь небезпеки, який сформований реальним ( $D$ ) та потенційним ( $R$ ) впливом об'єкту на компоненти довкілля.

$$Z = D + R \quad (3.1)$$

Розрахунок комплексної індексної оцінки екологічної небезпеки звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» наведено в Додатку Б. Результати розрахунку індексних показників  $D$  і  $R$  наведені нижче.

Індекс  $D$  характеризує негативний вплив звалища на флору і фауну ( $d_{\phi}$ ), атмосферне повітря ( $d_{\text{повітря}}$ ), воду ( $d_{\text{води}}$ ), ґрунт ( $d_{\text{ґрунту}}$ ), (формула 3.2):

$$D = \left( \frac{d_{\phi}}{3} \right) * (d_{\text{ґрунту}} + d_{\text{води}} + d_{\text{повітря}}) \quad (3.2)$$

$$d_{\psi} = \frac{2S_{\text{зв}}}{(S_{\text{зв}} + S_{\text{сзз}})} \quad (3.3)$$

де  $S_{\text{зв}}$  – площа зони впливу викидів об'єкту,  $\text{км}^2$ ;  $S_{\text{сзз}}$  – площа санітарно-захисної зони об'єкту,  $\text{км}^2$ .

За результатами розрахунку – (Додаток Б)  $d_{\phi} = 0,63$ .

Індекс небезпеки для повітря:

$$d_{\text{повітря}} = \frac{1}{2} \left( \sum \left( \frac{2KHO_i}{(KHO_i + KHO_3)} \right) + \frac{1}{N} \sum \frac{C_i}{C_i + ГДК_i} \right), \quad (3.4)$$

де  $KHO_i$  – коефіцієнт небезпеки об'єкту за викидом  $i$ -ї речовини;  $KHO_3$  – загальний індекс небезпеки для об'єкту;  $C_i$  – максимальна разова концентрація  $i$ -ї ЗР у повітрі,  $\text{мг/м}^3$ ;  $ГДК_i$  – максимальна разова ГДК  $i$ -ї речовини у повітрі,  $\text{мг/м}^3$ ;  $N=6$ .

$$KHO_3 = \sum KHO_i = \sum \left( \frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (3.5)$$

де  $M_i$  – маса викиду об'єктом  $i$ -ї речовини, т/рік;  $a_i$  – коефіцієнт класу небезпеки  $i$ -ї речовини.

Для розрахунку прийнято фактичні концентрації забруднюючих речовин, які отримані при обстеженні звалища. Розрахунок індексу небезпеки для повітря наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку індексу небезпеки для повітря

| № п/п | Код, найменування   | $M_i$ , т/год | $ГДК_i$ , мг/м <sup>3</sup> | $C_i$ , мг/м <sup>3</sup> | $КН_i$ | $a_i$ | $KHO_i$  | $KHO$  | $d_{\text{повіт}}$ |
|-------|---|---------------|-----------------------------|---------------------------|--------|-------|----------|--------|--------------------|
| 1     | 301, Оксиди Нітрогену (у перерах. на Оксид Нітрогену (IV) [NO+NO <sub>2</sub> ])                                  | 2,83          | 0,2                         | 3,1                       | 3      | 1     | 14,15    | 534,17 | 5,66               |
| 2     | 330, Оксид Сульфуру, (IV)   | 0,16          | 0,5                         | 0,055                     | 3      | 1     | 0,32     |        |                    |
| 3     | 333, Сірководень  | 0,98          | 0,008                       | 0,002                     | 2      | 1,3   | 518,2949 |        |                    |
| 4     | 337, Оксид Карбону  | 5,9           | 5                           | 3,1                       | 4      | 0,9   | 1,16063  |        |                    |
| 5     | 2754, Вуглеводні насичені C <sub>12</sub> -C <sub>19</sub> (розч. РПК-26611 і ін.) у перерах. на C <sub>орг</sub> | 0,04          | 1                           | 0,81                      | 4      | 0,9   | 0,055189 |        |                    |
| 6     | 410, Метан  | 7,87          |                             | 3,7                       | 4      | 0,9   | 0,189367 |        |                    |

Індекс небезпеки для води:

$$d_{\text{води}} = \frac{1}{W} \sum 0,5 \left[ \frac{2БСК_w}{(БСК_w + БСК_{ow})} + \frac{1}{N_w} \sum \frac{2C_{tw}}{C_{tw} + C_o} \right], \quad (3.6)$$

де  $W$  – число водойм, що забруднюються фільтратом звалища (р. Дальник,  $W=1$ );  $БСК_w$  – БСК фільтрату звалища для  $W$ -го забрудненого

водоймища, мг/л; БСК<sub>ow</sub> – базовий БСК для W-го забрудненого водоймища, норматив, мг/л; N<sub>w</sub> – кількість ЗР, що скидаються об'єктом у водний об'єкт W (N<sub>w</sub>=10); C<sub>i</sub> – розрахункова концентрація i-ї ЗР у воді W-го водоймища, мг/л; C<sub>o</sub> – базовий показник концентрації ЗР для низькоконцентрованого фільтрату, норматив, фон, мг/л.

Для розрахунку прийнято фактичні концентрації забруднюючих речовин у фільтраті, які отримані при обстеженні звалища.

Розрахунок індексу небезпеки для води наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку індексу небезпеки для води

| № п/п | Забруднюючі речовини                | C <sub>i</sub> | C <sub>o</sub> | d <sub>i</sub> | d <sub>води</sub> |
|-------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| 1     | Завислі речовини                    | 29,0           | 0,750          | 1,95           | 1,51              |
| 2     | Хлориди                             | 494,0          | 117,0          | 1,62           |                   |
| 3     | Сульфати                            | 2598,0         | 50,0           | 1,96           |                   |
| 4     | Нітрати                             | 20,750         | 2,20           | 1,81           |                   |
| 5     | Нітроген амонійний                  | 0,80           | 0,50           | 1,23           |                   |
| 6     | Нітрити                             | 0,025          | 0,02           | 1,11           |                   |
| 7     | Залізо                              | 0,350          | 0,30           | 1,08           |                   |
| 8     | Ортофосфати                         | 2,30           | 2,30           | 1,00           |                   |
| 9     | Кальцій                             | 448,0          | 45,0           | 1,82           |                   |
| 10    | Сухий залишок                       | 6915,0         | 1000,0         | 1,75           |                   |
|       | БСК <sub>w</sub> /БСК <sub>ow</sub> | 16,90          | 6,0            | 1,48           |                   |

Індекс небезпеки для ґрунту:

$$d_{\text{ґрунту}} = \frac{1}{3} (d_{\text{ґрунту}}^{\delta} + d_{\text{ґрунту}}^{\beta} + d_{\text{ґрунту}}^{\rho}), \quad (3.7)$$

де  $d_{\text{ґрунту}}^{\delta}$  – індекс забруднення ґрунту мікроорганізмами;  $d_{\text{ґрунту}}^{\beta}$  – індекс небезпеки хімічного забруднення ґрунту;  $d_{\text{ґрунту}}^{\rho}$  – небезпеки деградації ґрунту.



$$d_{\text{грунту}}^6 = \frac{1}{7} \sum d_i^6. \quad (3.8)$$

де  $d_i^6$  – індекс  $i$ -го показника забруднення ґрунту мікроорганізмами, визначається за сімома санітарно-біологічними показниками.

Індекс  $i$ -го показника забруднення ґрунту обирались з [172] за показниками: кишкові палички; ентеробактерії; патогенні ентеробактерії; ентеровіруси; яйця гельмінтів, аскарид, волосоголовців, токсокар, онкосфер, та інші; цисти кишкових патогенних найпростіших; лялечки мух в ґрунті 20 см х 20 см. За результатами мікробіологічного аналізу в ґрунтах звалища виявлено кишкові палички; ентеробактерії; яйця гельмінтів; лялечки мух в ґрунті.  $d_i^6 = 0,57$

Індексу небезпеки хімічного забруднення:

$$d_{\text{грунту}}^3 = \frac{1}{N} \sum \frac{2C_i}{C_i + ГДК_i}, \quad (3.9)$$

де  $C_i$  – концентрація в ґрунті  $i$ -ї ЗР, мг/кг;  $ГДК_i$  – ГДК  $i$ -ї речовини для ґрунту, мг/кг;  $N$  – кількість ЗР.

Результати розрахунку індексу небезпеки хімічного забруднення ґрунту проведено з урахуванням даних ґрунтового моніторингу та наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку індексу небезпеки хімічного забруднення ґрунту

| № п/п | ЗР        | $C_i$ , мг/кг | $ГДК_i$ , мг/кг | $d_{\text{грунту}}^3$ |
|-------|-----------|---------------|-----------------|-----------------------|
| 1     | Свинець   | 1667          | 32              | 1,52                  |
| 2     | Кадмій    | 2,9           | 0,7             |                       |
| 3     | Ртуть     | 0,18          | 2,1             |                       |
| 4     | Мідь      | 386           | 3               |                       |
| 5     | Цинк      | 3656          | 23              |                       |
| 6     | Нікель    | 40            | 4               |                       |
| 7     | Кобальт   | 3,5           | 5               |                       |
| 8     | Марганець | 1664          | 700             |                       |
| 9     | Хром      | 3,5           | 0,05            |                       |

Індекс небезпеки деградації ґрунту розраховували за формулою:

$$d_{\text{ґрунту}}^D = \frac{1}{3} \left( \frac{S_{\text{поруш}}}{S_0} + \frac{1}{N_p} \sum \frac{2p_k}{p_k + p_0k} + \frac{1}{N_q} \sum \frac{2(q_k + q_0k)}{2q_k} \right), \quad (3.10)$$

де  $S_{\text{поруш}}$  – сумарна площа порушених земель, га;  $S_0$  – площа впливу викидів об'єкту, га;  $N_p$  – кількість показників ступеня деградації ґрунтів на порушених землях;  $N_q$  – кількість показників ступеня деградації ґрунтів на землях зони впливу;  $p_k$ ,  $q_k$  – значення показників ступеня деградації ґрунту;  $p_{0k}$ ,  $q_{0k}$  – значення показників ступеня деградації ґрунту в межах норми.

Величини показників обрано з методичних вказівок [174].

Результати індексу небезпеки деградації ґрунту наведено в табл. 3.5

Таблиця 3.5 – Результати розрахунку індексу небезпеки деградації ґрунту

| № | Показник   | $p_k$             | $q_k$ | $p_{0k}$ | $q_{0k}$ | $d_{\text{ґрунту}}^D$ |
|---|--|-------------------|-------|----------|----------|-----------------------|
| 1 | Потужність абіотичного наносу, см                            | 40                | 2     | 1        | 1        | 1,69                  |
| 2 | Зменшення вмісту фізичної глини на величину від вихідного, % | 10                | 5     | 4        | 4        |                       |
| 3 | Коефіцієнт фільтрації, м/добу                                | $5 \cdot 10^{-5}$ | 0,03  | 1        | 1        |                       |
| 4 | Кам'янисте покриття, %                                       | 50                | 10    | 4        | 4        |                       |
| 5 | Зменшення запасів гумусу в профілі ґрунтів, %                | 30                | 15    | 8        | 8        |                       |
| 6 | Вміст суми токсичних солей в гумусовому шарі, %              | 0,4               | 0,15  | 0,1      | 0,1      |                       |
| 7 | Збільшення площі засоленості ґрунтів, %                      | 3                 | 1,5   | 0,1      | 0,1      |                       |

Таким чином, згідно з формулою (3.7)  $d_{\text{ґрунту}} = 1,26$ .

Через розрахунок допоміжних індексів за формулою 3.2 отримаємо значення  $D = 1,77$ .

Розрахунок зведеного індексу  $R$  небезпеки звалища в разі надзвичайної ситуації на об'єкті здійснюється згідно з формулою (3.11):

$$R = 0,5[(1/N)\sum Y_j + Y_{\text{відх}}], \quad (3.11)$$

де  $Y_j$  – загальний індекс небезпеки для  $i$ -ї забруднюючої речовини, що враховує сукупний обсяг даної речовини за всіма одиницями небезпеки;  $Y_{\text{відх}}$  – загальний індекс небезпеки утворення відходів ліквідації надзвичайної ситуації,  $Y_{\text{відх}} = 1$ ;  $N$  – число забруднюючих речовин, за якими визначається індекс  $R$ .

Потенційно небезпечним об'єктом при надзвичайній ситуації на звалищі є складоване сміття. Аварійною ситуацією на звалищі вважається ймовірність пожежі. Димові гази, які утворюються під час займання та горіння побутового сміття, являють собою складну багатокomпонентну суміш, у складі якої ідентифіковано і кількісно визначено 27 інгредієнтів [192]. Особливо небезпечні пожежі на звалищах, де токсичні сполуки переносяться в навколишнє середовище взагалі без газоочищення, а птахи переносять отруєні продукти розкладання.

При згорянні 1 т ТПВ утворюється 4-8 тис. м<sup>3</sup> димових газів, що містять оксиди азоту і сірки, хлороводень та поліароматичні вуглеводні, хлорбензоли і важкі метали (ртуть, вісмут, свинець, кадмій, мідь та ін.). Крім того, залишається 25...40 % шлаку и золи, що містять ті ж самі токсичні речовини. Димові гази, що викидаються в атмосферу, є складною багатокomпонентною сумішшю, в склад якої входять оксиди сірки, азоту, вуглецю, альдегіди, кетони, граничні вуглеводні парафінового ряду, циклопарафіни, циклічні ароматичні вуглеводні, в тому числі канцерогенні, а також важкі метали.

Речовинами, які найбільшою мірою визначають токсичність димових газів при горінні ТПВ, є [175] є сажа, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, Hg, важкі метали, діоксини. Для того, щоб оцінити приблизні масштаби викидів основних токсичних компонентів димових газів при горінні звалищ ТПВ, пропонується використовувати дані з обсягу згорілих ТПВ, що можливо оцінити візуально. У відповідності з цим, масу викиду  $i$ -го компонента продуктів згорання ТПВ ( $M_i$ ) можна розрахувати за формулою:

$$M_i = 10^{-3} \cdot C_i \cdot V_g \cdot V_{ТПВ} \cdot \rho_{ТПВ}, \quad (3.12)$$

де  $C_i$  – концентрація  $i$ -ї речовини в продуктах горіння ТПВ, мг/м<sup>3</sup>;  $V_g$  – обсяг димових газів, що утворюється при згорянні 1 тонни ТПВ (4...8 тис. м<sup>3</sup>), м<sup>3</sup>/т;  $V_{ТПВ}$  – обсяг ТПВ, що згоріли, м<sup>3</sup>;  $\rho_{ТПВ}$  – насипна щільність ТПВ ( $\rho_{ТПВ} \approx 0,25$  т/м<sup>3</sup>).

Загальний індекс небезпеки для  $i$ -ї забруднюючої речовини, що враховує сукупний обсяг даної речовини за всіма одиницями небезпеки розраховується за формулою:

$$Y_j = \frac{2K_{чсj}}{K_{чсj} + K_{нj}}, \quad (3.13)$$

де  $K_{чсj}$  – середній індекс небезпеки  $j$ -ї речовини при надзвичайній ситуації на об'єкті;  $K_{нj}$  – індекс небезпеки викиду  $j$ -ї речовини при безаварійному режимі роботи об'єкту.

$$K_{нj} = \left( \frac{M_j}{ГДК_j} \right)^{a_j}, \quad (3.14)$$

де  $M_j$  – маса викиду об'єктом  $i$ -ї речовини, т/рік, при безаварійній роботі;  $ГДК_j$  –  $ГДК$   $j$ -ї речовини в повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

$$K_{чсj} = \frac{1}{N_E} \sum Q_n k_{jn}, \quad (3.15)$$

де  $N_E$  – число одиниць екологічно небезпечних при надзвичайній ситуації продуктів;  $Q_n$  – ймовірність аварії  $n$ -ї одиниці небезпечного обладнання, що належить об'єкту;  $k_{jn}$  – коефіцієнт небезпеки маси  $j$ -ї речовини, що потрапляє в довкілля при аварії  $n$ -ї одиниці потенційно небезпечного обладнання.

$$k_{jn} = \left( \frac{V_{jn}}{ГДК_j} \right)^{a_j}, \quad (3.16)$$

де  $V_{jn}$  – максимальна маса ЗР, яка потрапляє в навколишнє середовище при аварії  $n$ -ї одиниці небезпечного обладнання, м<sup>3</sup>;  $ГДК_j$  – максимальна разова  $ГДК$   $j$ -ї речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

$$Q_n = 1 - e^{-P_n} \quad (3.17)$$

де  $P_n$  – інтенсивність (число) відмов для  $n$ -ї одиниці потенційно небезпечних об'єктів на звалищі за рік.

Результати розрахунку індексів для Оксиду Нітрогену (IV), Оксиду Сірки, (IV), Оксиду Карбону наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку загального індексу небезпеки

| №<br>п/п | Речовина        | $M_j$ , т/год | $ГДК_j$ ,<br>мг/м <sup>3</sup> | $k_{nj}$ | $V_{jn}$ ,<br>м <sup>3</sup> | $k_{in}$ | $K_{cej}$ | $Y_j$ | R   |
|----------|-----------------|---------------|--------------------------------|----------|------------------------------|----------|-----------|-------|-----|
| 1        | NO <sub>x</sub> | 2,83          | 0,2                            | 14,15    | 50                           | 250      | 100       | 1,97  | 1,5 |
| 2        | SO <sub>2</sub> | 0,16          | 0,5                            | 0,32     | 1030                         | 2060     | 824       | 2,0   |     |
| 3        | CO              | 5,9           | 5                              | 1,16     | 12                           | 2,2      | 0,88      | 2,0   |     |

За результатами розрахунку складових комплексного індексу екологічної небезпеки  $Z$  ( $D=1,77$ ;  $R=1,5$ ) можна проаналізувати ситуацію та віднести звалище до однієї з чотирьох груп екологічної небезпеки:

I група ( $D \leq 1$ ,  $R < 1$ ) – об'єкти, що не становлять значну екологічну небезпеку при безаварійному режимі роботи і у разі надзвичайної ситуації;

II група ( $D \leq 1$ ;  $1 < R < 2$ ) – об'єкти, що становлять підвищену екологічну небезпеку лише в разі надзвичайної ситуації;

III група ( $1 < D < 4$ ,  $R \leq 1$ ) – об'єкти, що становлять значну екологічну небезпеку тільки у разі безаварійного режиму роботи;

IV група ( $1 < D < 4$ ,  $1 < R < 2$ ) – об'єкти, що становлять значну екологічну небезпеку для навколишнього середовища і при нормальному режимі роботи, і в разі надзвичайної ситуації.

Таким чином, можна зробити висновок, що звалище ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» належить до IV групи небезпеки – тобто до об'єктів, що становлять екологічну небезпеку і при нормальному, і у разі аварійного режиму роботи.

### 3.3 Оцінка екологічного ризику звалища ТПВ

Розрахунок рівня екологічного ризику проведено для оцінки рівня потенційної екологічної небезпеки у випадку виникнення пожежі на звалищі та потрапляння у повітря токсичних речовин, зокрема, діоксинів (Додаток В).

Актуальність оцінки обумовлена вкрай токсичними ефектами деяких речовин, які потрапляють в повітря за умови неконтрольованого горіння маси відходів. За даними [176], при згоранні ТПВ в газоподібний стан переходять 72...95 % ртуті, 85 % хлору, 75 % миш'яку, 38 % фтору, 5...33 % свинцю, 4...27 % цинку, 1...7 % міді, 7 % нікелю, 6 % хрому і 0,02 % заліза, що містяться в спалюваних відходах. Згорання ТПВ у разі наявності в них хлорорганічних сполук (пластмас) супроводжується утворенням і викидом в атмосферу великої кількості високотоксичних сполук з групи діоксинів та фуранів (від ~11 до ~20 мас. % від їх загальної кількості) [177]. У димових газах від горіння сміття містяться хлоровані дибензодіоксини і дибензофурані в концентрації до 14 нг/м<sup>3</sup> і більше (при значеннях граничнодопустимих концентрацій в США - 0,02 нг/м<sup>3</sup>, Нідерландах – 0,024 нг/м<sup>3</sup>, Італії - 0,04 нг/м<sup>3</sup>, Росії - 0,5 нг/м<sup>3</sup>) [178].

Використана методика визначення рівнів індивідуального  $R_i$ , соціального  $R_s$  і територіального  $R_t$  ризиків, пов'язаних з викидами екологічно небезпечних (токсичних, радіоактивних, вибухо- і пожежонебезпечних) речовин і матеріалів [179] включає наступні етапи:

1. Визначення ймовірності пожежі (аварії)  $W$ , яка характеризується деякою заданою вагою наслідків  $Q$ . Ця ймовірність може бути визначена на основі залежності  $W(Q)$ , отриманої на основі статистичної обробки наявних даних про аварії даної природи (рис. 3.1).

2. Визначення швидкості і напрямку вітру, найбільш ймовірних для даної пори року і розглянутій території (знаходяться за даними багаторічних метеорологічних спостережень). Особлива увага при цьому приділяється небезпечним напрямками по відношенню до вразливих об'єктів.

3. Розрахунок концентрації розглянутої небезпечної речовини в атмосфері для заданих потужності розливу, найбільш ймовірних метеорологічних умов і відстаней розглянутого (уразливого) пункту до джерела розливу.

4. Визначення ймовірності ураження людини чи групи людей в результаті впливу небезпечної речовини при її розрахованій вище концентрації. Ця ймовірність знаходиться на основі залежності «доза-ефект».

5. Розрахунок відносної частки часу, що проводиться людиною (або групою людей) в даному небезпечному місці.

Територіальний ризик в  $K$ -й точці простору на звалищі твердих побутових відходів згідно [178]:

$$R_t^k = P_{bij} \cdot P_{um} \cdot P_{af} \cdot P_{ck}, \quad (3.18)$$

де  $P_{bij}$  – ймовірність виникнення пожежі на  $i$ -му джерелі при реалізації  $j$ -ї ініціюючої події;  $P_{um}$  – умовна ймовірність можливого наслідку пожежі;  $P_{af}$  – умовна ймовірність реалізації одного з можливих видів пожежі;  $P_{ck}$  – умовна ймовірність смертельного результату в  $K$ -й точці простору.

Індивідуальний ризик загибелі людини в точці  $K$ , що мешкає в розглянутому регіоні:

$$R_i^k = R_t^k \cdot P_n^k, \quad (3.19)$$

де  $P_n^k$  - ймовірність перебування людини в  $K$ -й точці простору.

Індивідуальний ризик мешкання на території регіону шляхом підсумовування індивідуальних ризиків по цій території.

Очікувана кількість загиблих протягом одного року в розглянутому регіоні  $M_D$ , а також соціальний ризик визначаються за значенням територіального ризику в виділеному регіоні і щільності населення.

$$M_D = R_t \cdot N. \quad (3.20)$$

Для цього випадку співвідношення перепишемо у вигляді:

$$R_t^k = P_{bum} \cdot P_{af} \cdot P_{ck}, \quad (3.21)$$

де  $P_{bum} = P_{bij} \cdot P_{um}$  – ймовірність пожежі, що супроводжується викидом діоксинів максимально можливої кількості, рис. 3.1.

Багато складних систем відрізняє можливість їх опису степеневими законами розподілу ймовірностей. Тобто статистичні характеристики подій, які в них відбуваються, звичайно мають щільність ймовірності виду:

$$p(x) = x^{-(1+\alpha)}, \quad (3.22)$$

де показник  $\alpha$  зазвичай лежить в діапазоні від нуля до одиниці. При статистичному описі катастроф і стихійних лих розподіл (3.22) є правилом, яке практично не знає винятків [180].

Для простих систем найбільш типовими є експоненційний та гаусовий розподіл. Незважаючи на чисельні ймовірнісні чинники виникнення пожежі та вигорання звалища, подію вважаємо саме простою системою, оскільки відокремленість звалища в просторі дозволяє знехтувати дуже великими катастрофами, вважаючи їх практично неймовірними (відмовитися від «хвоста розподілу») [181].

Статистичні дані обліку пожеж на звалищах, що сталися, досить обмежені, проте встановлено закономірність, що пожежі на великих звалищах та полігонах ТПВ є тривалими та охоплюють значну площу ( $S$ , га), яка збільшується з часом ( $t$ , год) за експоненційною залежністю [80]:

$$S = e^{0,0329t} \quad (3.23)$$

Для представлення залежності частоти реалізації небезпеки від її масштабу можуть бути використані F/N-діаграми [182]. Так, на основі статистичної обробки даних щодо залежності виникнення пожежі на звалищі та площі вигорання її території (тяжкості та тривалості) надзвичайної ситуації побудовано узагальнену залежність частоти пожеж на звалищах ( $W$ ) від рівня їх тяжкості ( $Q$ ):  $W = F(Q)$ , яка може бути використана для оцінки рівня екологічного ризику пожежі з викидом отруйної речовини.

Ймовірність пожежі ( $P_{\text{bum}}$ ,  $W$ ), що супроводжується викидом діоксинів максимально можливої кількості:

$$P_{\text{bum}} = P_{\text{bij}} * P_{\text{um}}, \quad (3.24)$$



де  $P_{bij}$  – імовірність виникнення пожежі на  $i$ -му звалищі при реалізації  $j$ -ї ініціюючої події ( $W_1$ );  $P_{um}$  – умовна ймовірність можливого наслідку пожежі – ступеню вигорання звалища ( $W_2$ ).

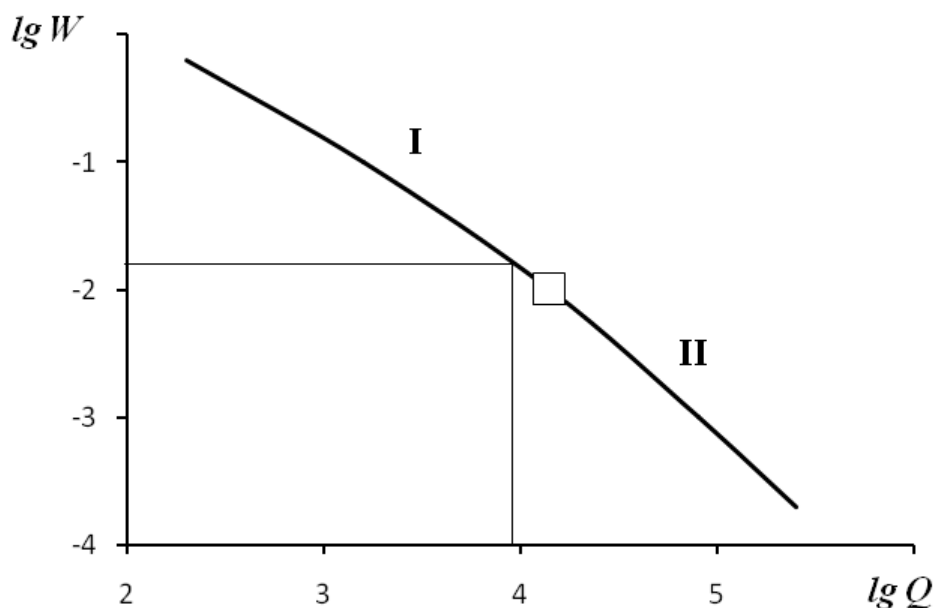


Рисунок 3.1 – Узагальнена залежність логарифму імовірності виникнення пожежі ( $\lg W$ ) на  $i$ -тому звалищі при реалізації  $j$ -ї ініціюючої події від логарифму потужності викиду при пожежі ( $\lg Q$ ) (I) та екстраполяція на випадок великих викидів (II)

Для розрахунку рівня екологічного ризику від виникнення пожежі на одеському звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» прийнято реалізацію події на площі 0,001 га з вигоранням  $\frac{1}{4}$  складованих відходів та викидом  $6000 \text{ м}^3$  димових газів. Величину  $W_1$  знайдемо за залежністю  $\lg W$  від  $\lg Q$  (рис. 3.1). Ця залежність для невеликих викидів побудована за даними В. Маршалла [200] та наведених їм джерел. Проте в нашому випадку необхідно врахувати ймовірність вигорання звалища (рис. 3.2, [183]). Обрахування ймовірності вигорання території звалища зводиться до розрахунку щільності гарячих точок на даній території, яку визначено за [183] та представлено на рис. 3.2.

В безпосередній близькості від звалища на відстані 2 км в південному напрямку знаходиться селище Нова Долина кількістю мешканців 1300 осіб. Умовна імовірність повторюваності вітру в напрямку населеного пункту за

найбільш несприятливих метеорологічних умов (1-6 м/с) дорівнює  $P_{af} = 0,080$  [184].

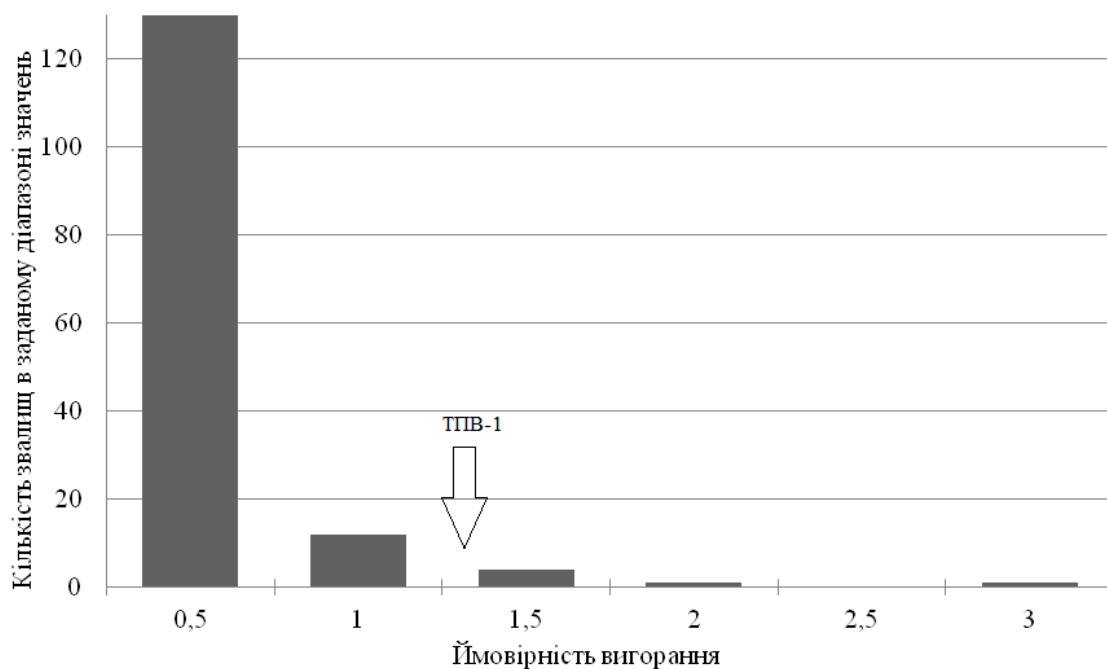


Рисунок 3.2 – Залежність ймовірності вигорання звалища ТПВ від кількості звалищ в заданому діапазоні значень, або «гарячих точок»

Для визначення умовної ймовірності смертельного результату в  $k$ -й точці простору необхідно визначити концентрацію діоксину, що викидається в процесі горіння. За початкові умови прийнято межі концентрацій для забруднюючих речовин, що викидаються в процесі горіння на звалищі: при згорянні  $1 \text{ м}^3$  ТПВ утворюється  $0,5 \cdot 10^{-6} \dots 10 \cdot 10^{-6}$  г діоксинів [185].

Для реалізації розрахунку (додаток В) використано програмний комплекс «ЕОЛ-Атмосфера», який дозволив отримати поля концентрацій діоксинів при розповсюдженні в атмосферному повітрі (рис. 3.3). Розрахункові модулі системи «ЕОЛ-Атмосфера» реалізують «Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. ОНД-86» [186]. Система дозволяє розраховувати поля забруднень для точкової моделі джерела викиду шкідливих речовин. Так, на межі населеного пункту Нова Долина концентрація діоксину в повітрі складатиме  $C_{X_{\max}} = 0,032 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$ .

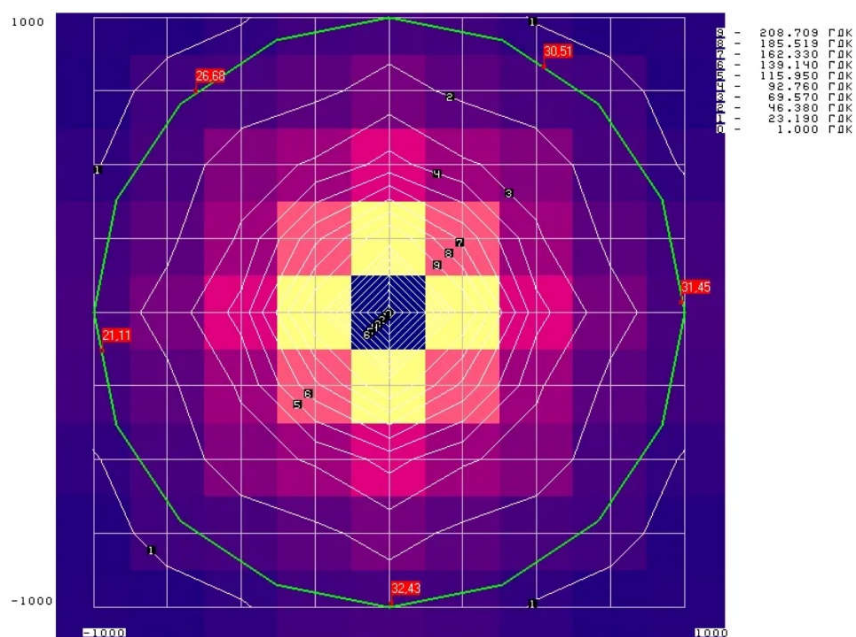


Рисунок 3.3 – Поле концентрацій діоксинів при пожежі на звалищі площею 0,001 га (побудовано в програмному комплексі ЕОЛ-Атмосфера), виокремлено ізолінію межі населеного пункту

Розраховані концентрації діоксину при виникненні пожежі на звалищі дозволяють визначити імовірність смертельного результату через закономірність  $\lg V$  від  $\lg C$  «доза-ефект». Проте токсична дія діоксинів досі залишається маловивченою [187], тому залежність «доза-ефект» побудовано за величиною канцерогенного ризику  $CR_i$  (рис. 3.4).

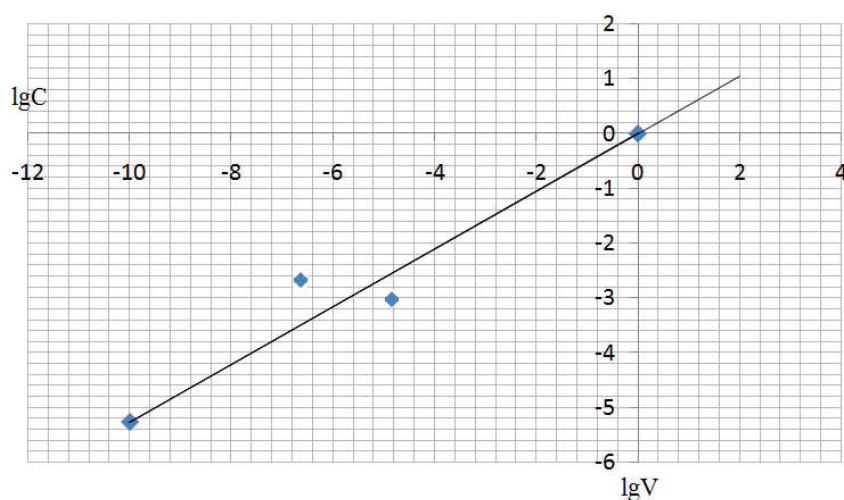


Рисунок 3.4 – Залежність «доза-ефект» для випадку отруєння діоксинами та ймовірності реалізації канцерогенного ефекту (за даними отруєння бенз(а)піреном [187])

Розрахуємо середню добову дозу впливу бенз(а)пірену на населення міста [188], де визначена концентрація бенз(а)пірену в атмосферному повітрі становить  $0,031 \cdot 10^{-3}$  мг/м<sup>3</sup>. Середня добова доза/концентрація впливу протягом часу експозиції (мг/кг-доба):

$$LADD = [(C_a \cdot T_{out} \cdot V_{out}) + (C_h \cdot T_{in} \cdot V_{in})] \cdot EF / BW, \quad (3.25)$$

де  $C_a$  – концентрація речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>;  $C_h$  – концентрація речовини в повітрі приміщення, мг/м<sup>3</sup>;  $T_{out}$  – час, що проводиться поза приміщенням, год/доба;  $T_{in}$  – час, що проводиться всередині приміщення, год/доба;  $V_{out}$  – швидкість дихання поза приміщенням, м<sup>3</sup>/год;  $V_{in}$  – швидкість дихання в середині приміщення, м<sup>3</sup>/год; EF – частота впливу, днів/рік; ED – тривалість впливу, років; BW – маса тіла, кг; AT – період осереднення експозиції, років.

При використанні лінійної моделі величина канцерогенного ризику буде складати:

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (3.26)$$

де SF – фактор нахилу, (мг/(кг\*доба))<sup>-1</sup>, для бенз(а)пірену SF = 3,1.

Ймовірність негативного впливу діоксинів  $P_{ck}$  визначаємо:

$$P_{ck} = PCR = CR \cdot POP, \quad (3.27)$$

де POP – кількість населення в населеному місті становить POP, осіб.

Результати визначення ймовірних складових та розрахунку екологічного ризику наведено в табл. 3.7

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку рівня екологічного ризику

| $Q_i$ , м <sup>3</sup> | $W$ , $P_{bum}$ | $C_i$ , мг/м <sup>3</sup> | $V$ , $P_{ck}$ | $P_{af}$ | $R_t$               | $R_i$               |
|------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|----------|---------------------|---------------------|
| 9000                   | 0,024           | $0,032 \cdot 10^{-3}$     | 0,0391         | 0,08     | $7,5 \cdot 10^{-5}$ | $5,7 \cdot 10^{-6}$ |

За результатами оцінки потенційної небезпеки звалища ТПВ визначено неприйнятні рівні територіального та індивідуального ризику, що є обґрунтуванням для впровадження техніко-технологічних рішень щодо зменшення рівня екологічної небезпеки звалищ.

### 3.4 Оцінка викидів метану зі звалища ТПВ

Розрахунок очікуваної кількості полігонного газу (біогазу), що виділяється при анаеробному розкладанні відходів, визначається за спеціально розробленою Українською моделлю газоутворення, яка враховує місцеві кліматичні умови та особливості Одеського полігону ТПВ і дозволяє здійснювати прогноз газоутворення з набагато вищою точністю, порівняно з рекомендованими формулами ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [72]. В основі моделі лежить загальновідоме рівняння розпаду першого порядку, що застосовується Міністерством екології та природних ресурсів для оцінки викидів метану від полігонів ТПВ в Україні. Безпосередньо для цілей моделювання газоутворення на конкретному полігоні рівняння доповнене спеціальними коефіцієнтами, що характеризують його стан та фізичні умови, а саме:

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MSW_i \cdot MSW_{i,j} \cdot L_{0i,j} e^{-k_j(t-x)} \quad , \quad (3.28)$$

де  $A$  – множник норми, який визначається за формулою:

$$A = \frac{(1 - e^{-k_j})}{k_j} \quad , \quad (3.29)$$

де  $k_j$  – постійна темпів утворення метану для  $j$ -го компоненту ТПВ, рік<sup>-1</sup> (табл. 3.8);  $MSW_i$  – загальна маса ТПВ, які складовані в рік  $i$ , т/рік;  $MSW_{i,j}$  – вміст  $j$ -го компоненту в ТПВ в  $i$ -му році, %;  $t$  – розрахунковий рік, рік;  $x$  – період, за який вносяться дані, рік;  $L_{0i,j}$  – потенціал утворення метану в рік  $i$ , т CH<sub>4</sub>/тТПВ:

$$L_{0i,j} = DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} \cdot MCF_i \quad , \quad (3.30)$$

де  $DOC_j$  – загальна кількість органічного вуглецю, який здатний біологічно розкладатися, в  $j$ -ій фракції, тС/тТПВ;  $DOC_F$  – частка вуглецю, яка бере участь в реакціях розкладення ( $DOC_F = 0,5$ );  $F$  – вміст метану в біогазі ( $F$

= 0,5); 16/12 – коефіцієнт перерахунку вуглецю в метан;  $MCF_i$  – фактор корекції метану, який залежить від умов захоронення ТПВ (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Характеристика компонентного складу відходів (біорозкладений карбон, константа утворення метану на рік для біодеградуючих компонентів ТПВ) та розраховані параметри  $A$  та  $L_{0j,i}$

| Група | Категорія              | Вміст в масі ТПВ, % | Біорозкладений карбон, $DOC_i$ | Константа утворення метану на рік, $k_i$ | $A$  | $L_{0j,i}$ , т $CH_4$ /тТПВ |
|-------|------------------------|---------------------|--------------------------------|--|------|-----------------------------|
| I     | Папір і картон         | 35                  | 0,40                           | 0,048                                    | 0,98 | 0,07                        |
| II    | Текстиль               | 4                   | 0,24                           | 0,048                                    | 0,98 | 0,04                        |
| III   | Харчові відходи        | 25                  | 0,15                           | 0,110                                    | 0,95 | 0,03                        |
| IV    | Деревина               | 3                   | 0,43                           | 0,024                                    | 1,0  | 0,07                        |
| V     | Садово-паркові відходи | 3                   | 0,20                           | 0,070                                    | 0,97 | 0,03                        |
| VI    | Засоби особис. гігієни | 1,5                 | 0,39                           | 0,048                                    | 0,98 | 0,07                        |
| VII   | Гума та шкіра          | 2,5                 | 1,75                           | 0,048                                    | 0,98 | 0,29                        |

Коефіцієнт  $MCF_i$  враховує стан та практику експлуатації полігону, які, в свою чергу, впливають на утворення біогазу. Очевидно, що на некерованих полігонах при однаковому потенціалі утворення метану (табл. 3.8), біогазу утворюється менше, ніж на керованих, оскільки значна частка відходів окислюється у верхніх шарах полігону. При цьому, на глибоких не керованих полігонах з високим рівнем фільтрату, частка аеробного окислення менше, ніж на не глибоких не керованих. У зв'язку з цим Міжурядова група експертів зі зміни клімату розділила полігони на декілька типів, які характеризуються певними значеннями, що наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Значення показника  $MCF_i$ 

| Тип звалища           | $MCF_i$ |
|-----------------------|---------|
| Керовані анаеробні    | 1,0     |
| Керовані напіваеробні | 0,5     |
| Некеровані, глибокі   | 0,8     |
| Некеровані неглибокі  | 0,4     |
| Некласифіковані       | 0,6     |

Згідно практики експлуатації на Одеському полігоні ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри», який експлуатується з 1968 року, в різні періоди застосовувались окремі із перелічених критеріїв. Зокрема, періодично використовується пошарова пересипка відходів, тощо. З огляду на це та на значну глибину відходів полігон ТПВ можна з певним припущенням розглядати як контрольоване напіванаеробне місце видалення відходів, для якого значення  $MCF_i$  прийнято 0,5. Морфологічний склад ТПВ є визначальним чинником при утворенні метану на звалищах, оскільки від нього залежить маса вуглецю, який біологічно розкладається та трансформується в метан та інші гази. Одеська область характеризується високим вмістом складових у ТПВ, які містять біологічно розкладені компоненти [115], що обумовлено місцерозташуванням, наявністю курортної зони. Так, до 40% всієї маси ТПВ складають харчові відходи, середній показник DOC в регіонах України – 13,57.

Для розрахунку обсягу метану, що викидається з Одеського звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри», (Додаток Г), необхідні дані щодо щорічних обсягів ТПВ, які складуються на звалищі. Через обмеженість вихідних даних скористувалися складанням апроксимуючої залежності обсягів ТПВ від кількості населення міста [63] (рис. 3.5).

Підставивши всі складові та коефіцієнти в рівняння (3.28) дослідили інтенсивність газоутворення на Одеському звалищі ТПВ, результати якого наведено в таблиці 3.10.

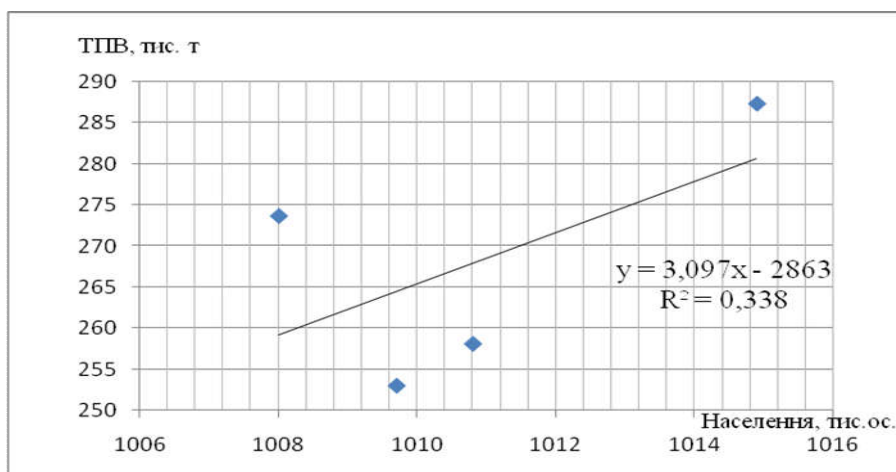


Рисунок 3.5 – Математичне моделювання залежності обсягів утворення ТПВ від зростання населення міста Одеса

Таблиця 3.10 – Обсяги фактичного та прогнозного  
(з відходів без харчової складової) утворення метану на звалищі

| Рік  | Обсяг метану, м <sup>3</sup> /год |                          | Зниження викиду метану при<br>вилученні харчової складової, % |
|------|-----------------------------------|--------------------------|---|
|      | з харчовими<br>відходами          | без харчових<br>відходів |   |
| 1    | 2                                 | 3                        | 4   |
| 2007 | 747,1                             | 608,0                    | 18,6  |
| 2008 | 797,2                             | 641,1                    | 19,6  |
| 2009 | 859,2                             | 682,4                    | 20,6  |
| 2010 | 889,7                             | 697,4                    | 21,6  |
| 2011 | 957,8                             | 740,5                    | 22,7  |
| 2012 | 1007,6                            | 767,8                    | 23,8  |
| 2013 | 1158,9                            | 869,8                    | 24,9  |
| 2014 | 1189,9                            | 879,0                    | 26,1  |
| 2015 | 1349,2                            | 980,3                    | 27,3  |
| 2016 | 1432,4                            | 1022,9                   | 28,6  |
| 2017 | 1435,3                            | 1006,6                   | 29,9  |
| 2018 | 1534,4                            | 1056,0                   | 31,2  |



Продовження таблиці 3.10

|      |        |       |      |
|------|--------|-------|------|
| 2019 | 1228,2 | 828,7 | 32,5 |
| 2020 | 1151,1 | 760,9 | 33,9 |
| 2021 | 1057,7 | 684,4 | 35,3 |
| 2022 | 945,8  | 598,5 | 36,7 |
| 2023 | 812,6  | 502,4 | 38,2 |
| 2024 | 786,1  | 474,5 | 39,6 |
| 2025 | 751,9  | 442,7 | 41,1 |
| 2026 | 708,5  | 406,5 | 42,6 |
| 2027 | 654,7  | 365,7 | 44,1 |
| 2028 | 588,7  | 319,9 | 45,7 |
| 2029 | 508,6  | 268,6 | 47,2 |
| 2030 | 412,4  | 211,5 | 48,7 |

Як бачимо з таблиці, розрахунок викидів метану зі звалища з маси відходів з харчовою складовою та без неї доводить, що вилучення харчових відходів зі звалища дозволить суттєво скоротити обсяги метану – від 20 до 40%.

На рисунку 3.6 показано, що без впровадження техніко-технологічних заходів щодо складування відходів на звалищі та без управління потоками відходів обсяги метану зростатимуть вдвічі впродовж наступного десятиріччя. При впровадженні сучасних технологій в сфері поводження з відходами зменшення та подальше зникнення маси відходів дозволить втричі скоротити обсяги метану та інших парникових газів, а при вилученні харчової компоненти з маси відходів – в 6-7 разів (рис. 3.7).

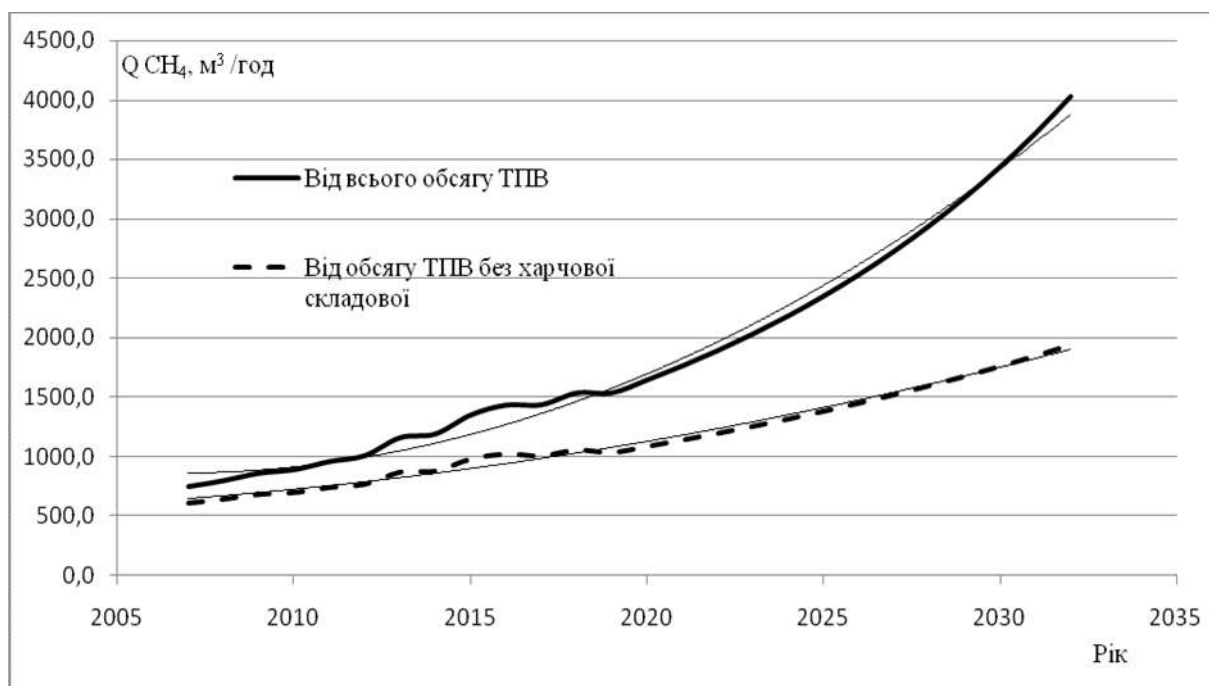


Рисунок 3.6 – Динаміка викиду метану зі звалища ТПВ з поліноміальною кривою від обсягів відходів з харчовою складовою та без неї при збереженні тенденції експлуатації звалища

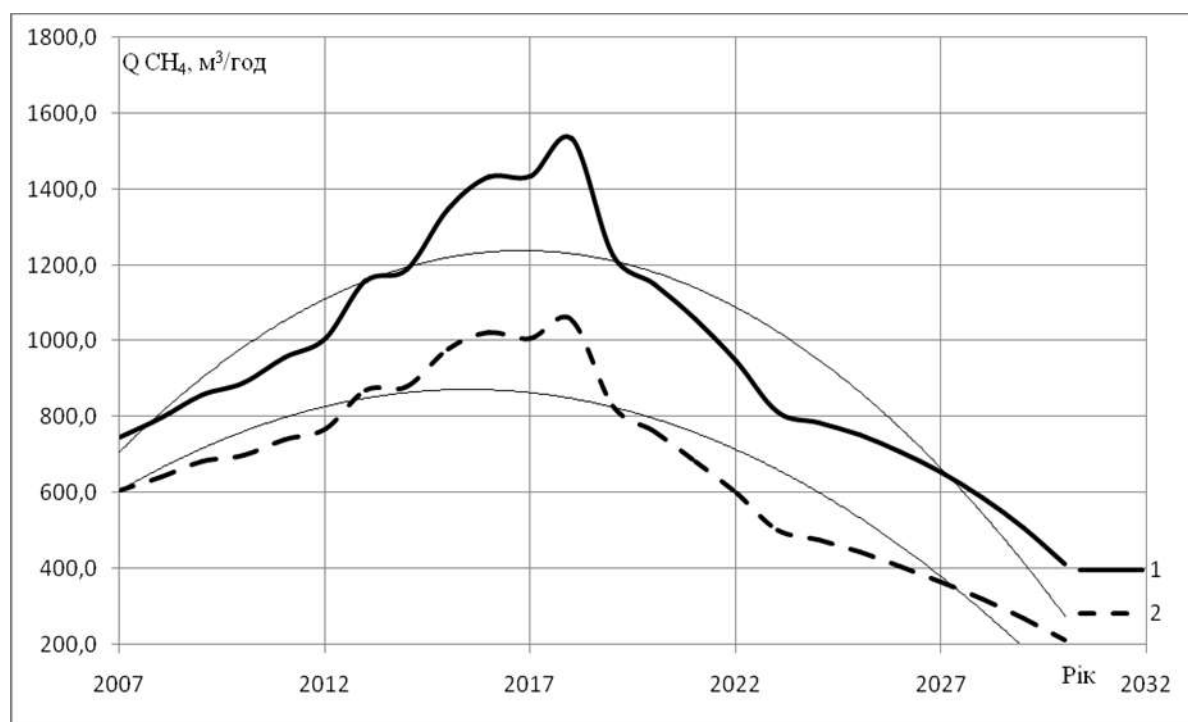


Рисунок 3.7 – Динаміка викидів метану на звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» в процесі розкладання маси відходів з харчовою складовою (1) та без неї (2) при впровадженні техніко-технологічних заходів на звалищі.

### 3.5 Висновки до розділу 3

На основі різних методологічних підходів виконано комплексну оцінку екологічної небезпеки, яка потребує кількісного вираження. В результаті здійснення експертних, індексних, ризикових та прогнозних оцінок впливу звалищ ТПВ на компоненти довкілля підтверджено формування високого рівня фактичної та потенційної екологічної небезпеки та обґрунтовано шляхи щодо його зниження на основі розробки та впровадження комплексу техніко-технологічних рішень з управління екологічною безпекою. За результатами виконаної оцінки рівня небезпеки звалища ТПВ м. Одеси за допомогою різних можна зробити наступні висновки:

1) В сучасних умовах першочерговим завданням для України в сфері поводження з відходами є рекультивація звалищ ТПВ в аспекті дотримання природоохоронного законодавства та підвищення рівня екологічної безпеки.

2) В сфері управління екологічною безпекою звалищ ТМВ доцільно враховувати основні вхідні, вихідні та ризикові екологічні аспекти досліджуваних об'єктів для здійснення комплексної оцінки та прогнозування впливу звалищ на компоненти довкілля.

3) Результати експертної оцінки екологічної небезпеки звалищ ТПВ дозволили обґрунтувати вилучення харчових та рослинних відходів з морфологічного складу ТПВ, як таких, що на всіх стадіях життєвого циклу звалища чинять найбільший вплив на компоненти довкілля.

3) Результати індексної оцінки екологічної небезпеки дозволили віднести Одеське звалище до об'єктів, що становлять значну екологічну небезпеку для навколишнього середовища і при нормальному режимі роботи, і в разі надзвичайної ситуації.

4) Поширені методи індексної оцінки не завжди передбачають оцінку потенційного екологічного ризику при функціонуванні звалищ ТПВ, що унеможлиблює контроль за рівнем екологічної небезпеки у разі аварійної ситуації. За результатами оцінки екологічного ризику звалища ТПВ

визначено неприйнятні рівні територіального та індивідуального ризику, що є обґрунтуванням для впровадження техніко-технологічних рішень щодо зменшення рівня екологічної небезпеки звалищ.

5) Прогнозна оцінка скорочення викидів метану зі звалища за умови вилучення харчової складової з компонентного складу відходів дозволяє обґрунтувати впровадження біотехнологічних заходів щодо поводження з харчовими відходами, що дозволить зменшити викиди парникових газів на 20-40%.

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК НА ПРОЦЕСИ КОМПОСТУВАННЯ ТПВ

#### 4.1 Дослідження впливу мінеральних добавок на процеси компостування

##### 4.1.1 Характеристика компостних сумішей

Умови проведення експерименту детально описано в розділі 2 та представлено блок-схемою на рисунку 4.1.

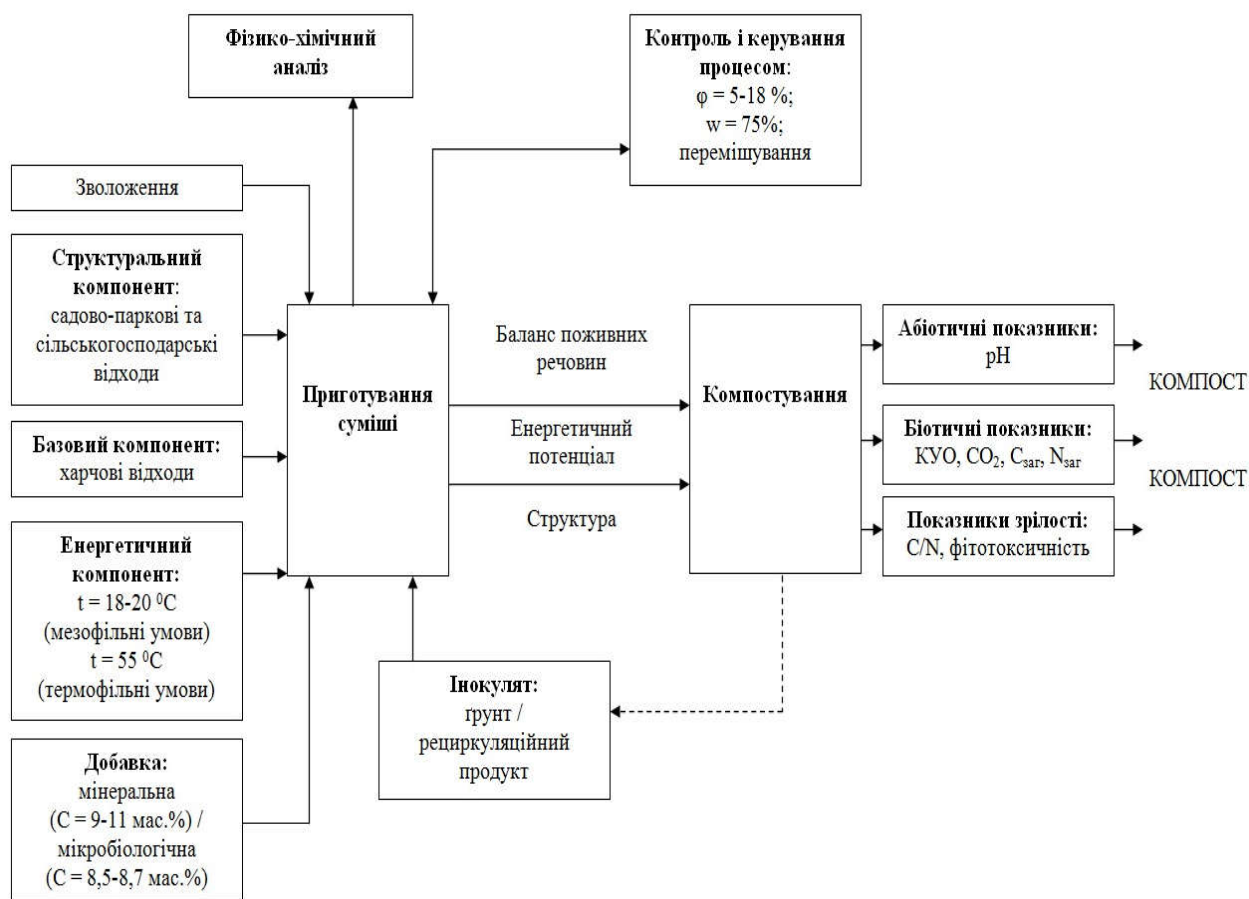


Рисунок 4.1 – Блок-схема приготування компостної суміші та контролю процесу компостування

Основними параметрами процесу приготування вихідних компостних сумішей є:

- вологість – компостування треба проводити при вологості компостних сумішей від 50% до 70%;

- поживні речовини – побутові відходи повинні мати більше, ніж 25% органічних речовин, які легко розкладаються; початкове співвідношення Карбону і Нітрогену (C:N) компостної суміші повинно наближатись до C:N = (25-30):1;

- рН суміші варіюється від 6,0 до 8,0 од. рН;

- дисперсність та структура сумішей – структуральна підготовка повинна запобігати високій щільності закладання суміші та можливості утворення анаеробних процесів; органічні компоненти необхідно подрібнювати.

Під час приготування компостних сумішей компоненти балансуються одночасно за поживними речовинами та вологістю, а після змішування компонентів суміш розпушується до моменту отримання належної поруватості її структури.

Ефективність використання мінеральних добавок в процесі компостування оцінювали в умовах лабораторного експерименту. Характеристика компостної суміші наведена в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Характеристика компостної суміші

| Показник             | Характеристика |
|----------------------|----------------|
| ОР, %                | 87,2±6,4       |
| C <sub>заг</sub> , % | 45,3±4,1       |
| N <sub>заг</sub> , % | 0,5            |
| C/N                  | 36,0±10,1      |

Отримані результати узгоджуються з літературними даними про високий вміст органічної речовини та високе значення C/N побутових та садово-паркових відходів [189, 190].

Відомо, що оптимальним співвідношенням Карбону та Нітрогену є 22-25 [191, 192]. Пропонується при компостуванні вносити додатковий Нітроген у вигляді сечовини, нітрату амоніаку, навозу або осадів стічних вод. З метою доведення рівня C/N до 25 перед компостуванням вносились мінеральна добавка.

#### 4.1.2 Характеристика мінеральної добавки

Відомо, що вміст таких елементів, як N, P, K, Mg, Ca є лімітуючими факторами мінерального складу компостів для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів. В якості добавок для підвищення ефективності процесу компостування та порівняння особливостей перебігу процесів використовували розчини мінеральних солей (нітрат кальцію, дігідрофосфат калію і сульфат магнію).

В реактори 2 і 3 додатково вносили розчини мінеральних солей в кількості 150 г/кг сухої КС за вагового співвідношення  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} : \text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 4:2:1$

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 112 г/кг сухої суміші, що компостується (8,6 мас. %);

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 34,7 г/кг сухої суміші, що компостується (4,3 мас. %);

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 17,4 г/кг сухої суміші, що компостується (2,1 мас. %).

Для приготування розчину, який найбільш інтенсивно сприятиме прискоренню процесу компостування та отриманню зрілого компосту, використовували перехресний експеримент з досягненням оптимального співвідношення C/N (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Визначення кількісного співвідношення мінеральної добавки

| Склад мінеральної добавки, частка                    |                          |   | C/N |
|--|--------------------------|---|-----|
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | $\text{KH}_2\text{PO}_4$ | $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ |     |
| 1  | 1                        | 1   | 32  |
| 2  | 1                        | 4   | 26  |
| 4  | 1                        | 2   | 27  |
| 1  | 4                        | 2   | 35  |
| 2  | 4                        | 1   | 32  |
| 4  | 2                        | 1   | 25  |
| 1  | 2                        | 4   | 30  |

Вибір співвідношення мінеральних солей обґрунтовано розрахунковими даними доцільного вмісту мінеральних солей в компостній суміші.

#### 4.1.3 Характеристика інокуляту

На початку процесу компостування, для «запуску» мікробіологічних ланцюгових реакцій, в кожний реактор додавали 100 г ґрунту (типовий для регіону чорнозем південний малогумусний) в якості інокуляту.

Відомо, що структура мікробних комплексів є невід’ємною складовою детальної характеристики ґрунтів, тому доцільно використовувати його мікробні комплекси в якості мікробіологічної добавки для компостування в природних умовах [158].

Вихідна компостна суміш є багатокомпонентною системою, розкладання і перетворення якої залежить від функціонування цілого комплексу мікроорганізмів, здатних виробляти такі екзоферменти, як целюлази, фосфатази, хітинази, дегідрогенази та ін. Основними групами таких організмів є грибна і бактеріальна мікрофлора, тому для більш детального розуміння і пояснення процесу компостування пропонується враховувати загальну чисельність бактерій і грибів [193, 194].

Оскільки основним компонентом органічної фракції є целюлоза, доцільно поряд з визначенням загальної чисельності бактеріальної і грибної



складових мікрофлори, визначати чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів. Проведено оцінку зміни мікробного населення компостних сумішей [193], яка свідчить, що в компостних сумішах бактерії домінують над грибами. Аналогічний мікробний комплекс спостерігається і в ґрунтах.

До кінця процесу компостування спостерігається значне збільшення чисельності бактерій, зокрема, целюлозоруйнівних (рис. 4.2). Так, якщо на початку компостування їх чисельність становила  $1,2-2,3 \cdot 10^6$  КУО  $\text{г}^{-1}$ , то в кінці процесу вона виявилася в 2-4 рази вищою. Чисельність целюлозоруйнівних грибів, навпаки, різко зменшувалася з  $0,7-1,9 \cdot 10^4$  КУО  $\text{г}^{-1}$  на початковій стадії компостування до повної їх елімінації в кінці. Ймовірною причиною такого домінування бактерій є збільшення температури, яке створює несприятливі умови проживання для більшості грибів.

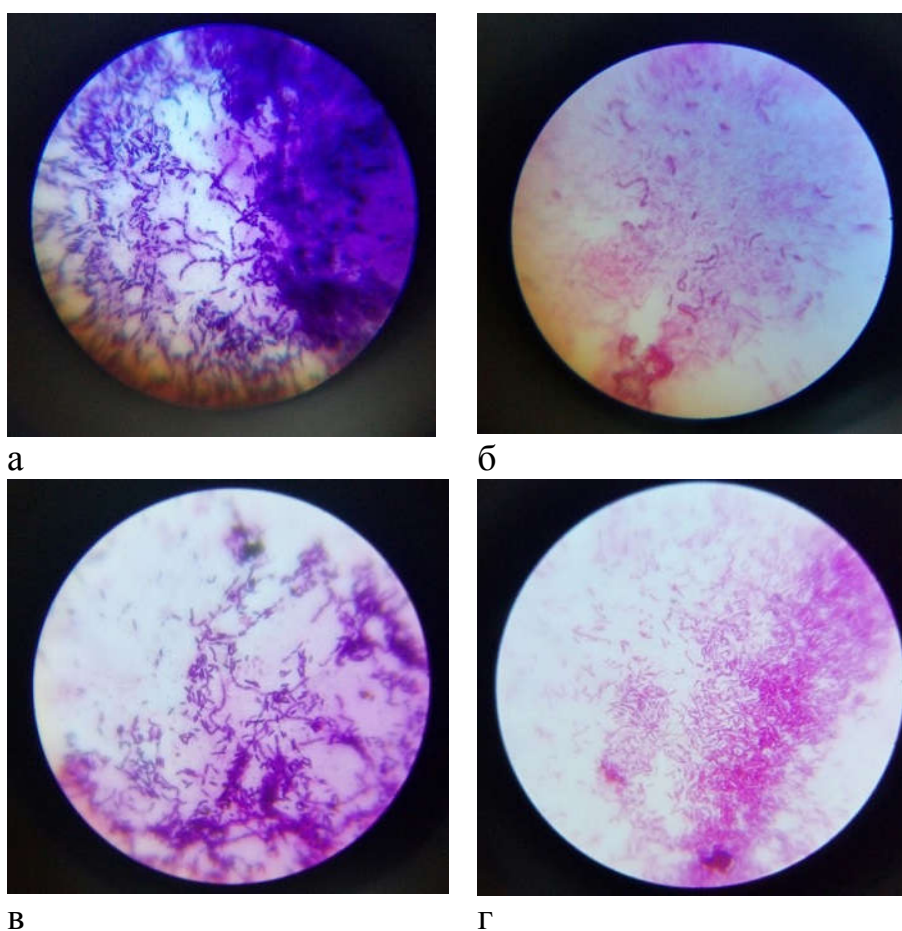


Рисунок 4.2 – Представники мікробних комплексів (а – *Myxobacteriales*, б – *Bacillus mycoides*, в – *B. subtilis*, г – *B. pasteurii*), 1000-кратне збільшення

На основі різних морфологічних і біохімічних ознак, більшість мікроорганізмів, виділених в чисту культуру, відносилися до роду *Bacillus*.

Збагачення мікробного консорціуму компостних сумішей на початковій стадії целюлозоруйнівними мікроорганізмами може сприяти зниженню часу компостування відходів [194]: мезофільні бактерії є домінуючими деструкторами органічних відходів на початкових етапах компостування. Під час термофільної фази їх змінюють термотолерантні бактерії. Домінування бактерій обумовлено їх здатністю швидко рости, використовуючи білки та інші доступні субстрати, а також толерантністю до високої температури.

Все бактеріальне співтовариство поділяють на три основні групи: грам-позитивні коки, грам-позитивні палички і грам-негативні палички. Перша група представлена бактеріями роду *Micrococcus*, *Planococcus* і *Staphylococcus*. Всі грам-позитивні палички віднесені до роду *Bacillus*. Грам-негативні палички, виявлені в компості, були представниками роду *Enterobacter* і *Flavobacterium*.

Руйнування клітковини ведуть бактерії, гриби і актиноміцети за різних умов аерації, при різній температурі та за різних значеннях рН середовища. Розвиток мікроорганізмів на целюлозі передбачає біосинтез і екскрецію ними целюлаз. Регуляція процесу біосинтезу і екскреції ферментів контролюється механізмами індукції і катаболітної репресії. Індукторами синтезу целюлаз можуть бути целюлоза, целобіоза, лактоза та ін. Репресором біосинтезу целюлаз найчастіше є глюкоза. Одні організми синтезують целюлолітичні ферменти при зростанні на будь-якому субстраті, інші, наприклад бактерії, що відносяться до роду *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Cellulomonas*, використовують целюлозу тільки в тих випадках, коли немає інших джерел Карбону [159, 195].

Процес руйнування клітковини починається з гідролізу. Бактерії здатні розщеплювати целюлозу в анаеробних і аеробних умовах. Більшість

представників анаеробних целюлозоруйнівних бактерій, ідентифікованих в ґрунтових екстрактах, відносяться до роду *Clostridium*.

Розкладати целюлозу здатні також і інші анаеробні бактерії: *Acetovibriocelhdolyticus*, *Bacteroidessuccinogenes*, *Anaerocellumthermophilum*, *Thermotoganeapolitana*, *Halocellacellulolytica* [196]. Всі перераховані бактерії утворюють позаклітинний комплекс целюлаз, а продуктами зброджування целюлози є етанол, оцтова, мурашина і молочна кислоти, молекулярний Гідроген і вуглекислий газ, позаклітинна целюлоза розщеплюється до целобіози. До актиноміцетів, що розкладають целюлозу, відносяться представники родів *Streptosporangium*, *Microbiospora*, а також види *Streptomycescellulosae*, *Micromonosporachalcea*, *Thermoactynomycescellulosae*, *Thermomonosporacurvata* [197].

#### 4.1.4 Дослідження зміни абіотичних показників

Абіотичні показники КС суміші представлено механічною структурою та складом, температурою, вологістю, газопроникністю та рН. Показник рН характеризує накопичення продуктів метаболізму мікроорганізмів. Так, через два тижні від початку компостування ТПВ значення рН знижувалися з нейтральних (7,0-7,3) до слабо кислих (6,0-6,5) через утворення кислот, а потім збільшувалися до 6,8-7,1 через виділення амоніаку [199]. На завершальних етапах компостування значення рН стабілізувалися на рівні нейтральних, що є результатом утворення гумусових речовин з буферною ємністю та конвертації органічних кислот мікроорганізмами до  $\text{CO}_2$ . Іноді на початку компостування спостерігається високе значення рН – до 8,8 од. рН, що пов'язане з високою концентрацією  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ . Проте наприкінці процесу значення рН стабілізується на нейтральних значень, що є показником стабільності компостної суміші та завершення росту (активності) мікроорганізмів.

Результати досліджень зміни рН суміші, яка компостується, представлено на рис. 4.3.

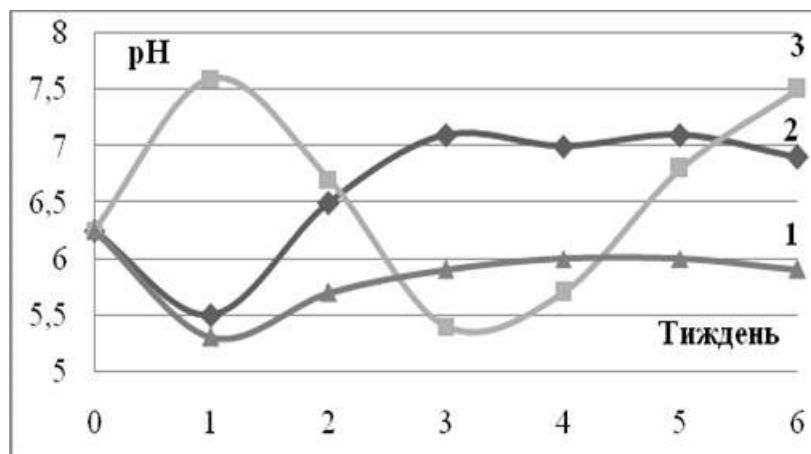


Рисунок 4.3 – Динаміка зміни рН суміші, яка компостується, в реакторах з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1)

Початкове значення рН сировини було слабкокислим, близьким до нейтрального (6,3), що можна пояснити наявністю органічних кислот в КС та рН інокуляту в межах 6,0-7,0. У реакторах з мінеральною добавкою в мезофільних умовах значення рН середовища спочатку змінювалось в слабкокислому інтервалі рН, потім середовище стало близьким до нейтрального, а в термофільних – рН спочатку підвищувалось до 7,6 од. рН, потім знижувалось до 5,4 і далі рН середовища змінювалось на нейтральне. Кінцеве значення рН у всіх компостах було приблизно однаковим (6,9-7,6) на відміну від компостної суміші в контрольному зразку (5,9), що свідчить про завершення процесу дозрівання компостної суміші при додаванні мінеральної добавки і перебіг біохімічних процесів в контрольному зразку.

#### 4.1.5 Дослідження зміни біотичних факторів

До біотичних показників суміші відносяться мікробіологічний склад та показники життєдіяльності мікроорганізмів. Широко розповсюдженим параметром для оцінки стабільності компостів є респірація, яка оцінюється або за споживанням кисню, або за виділенням  $\text{CO}_2$  [198]. За рівнем

респіраторної активності визначається також і ступень зрілості компосту. Так, за рекомендаціями US Composting Council, респіраторна активність зрілих компостів повинна складати менше  $1 \text{ мг CO}_2\text{-C г}^{-1}$  на добу<sup>-1</sup> [199]. Рівень респіраторної активності корелює з витратою органічної речовини [192].

Зміни емісії  $\text{CO}_2$  із реакторів з внесенням мінеральної добавки та в контрольному зразку представлено на рис. 4.4.

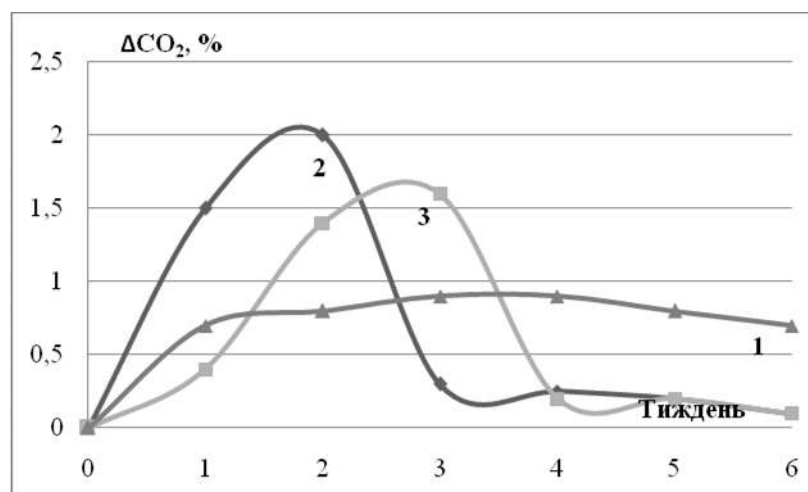


Рисунок 4.4 – Зміна емісії  $\text{CO}_2$  із реакторів протягом процесу компостування суміші з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %  $\text{CO}_2$

Представлені на рис. 4.4 залежності зміни концентрації  $\text{CO}_2$  в просторі реактора від тривалості процесу біодеструкції показово демонструють зміни активності колоній мікроорганізмів при компостуванні. Активність мікроорганізмів значно вища в реакторі, що знаходиться в мезофільних умовах. В реакторах 2 і 3 найбільше значення активності припадає на період з другого по третій тиждень, що свідчить про те, що введення мінеральних добавок стимулює підвищення активності співтовариства мікроорганізмів на початкових стадіях компостування. Показано, що при використанні мінеральних добавок швидкість конверсії складає на другому тиждні компостування 2,1 %  $\text{CO}_2$  в мезофільних умовах, 1,4%  $\text{CO}_2$  в термофільних умовах, на третьому тиждні – 0,25 та 1,6 %  $\text{CO}_2$  відповідно, тоді як респірація

CO<sub>2</sub> в контрольному зразку без внесення добавок змінюється незначно від 0,8 до 0,9 % на другому-третьому тижні, до 0,7 % CO<sub>2</sub> – наприкінці експерименту.

В процесі мінералізації відбувається розкладання органічної речовини, яка приводить до зниження вмісту загального та органічного Карбону, а також органічної речовини. В свіжій компостній суміші початковий вміст органічної речовини змінюється в залежності від складу вихідної маси відходів від 28-87% [194]. Характер динаміки зміни вказаних параметрів залежить від якості компостної суміші та від рівня активності мікроорганізмів в їх складі. Аналіз 37 комерційних компостів, одержаних на підприємствах різних країн, виявив, що середня кількість органічної речовини в зрілих компостах, створених у Франції, складає 58%, в Греції – 50%, в Нідерландах – 24% [200]. За рекомендаціями Мінздраву СРСР рівень вмісту органічної речовини в зрілому компості повинен складати 30-40% [201].

Характер залежності зміни кількості загального Карбону від тривалості компостування, який представлений на рис. 4.5, приблизно однаковий для всіх реакторів, та має класичний характер.

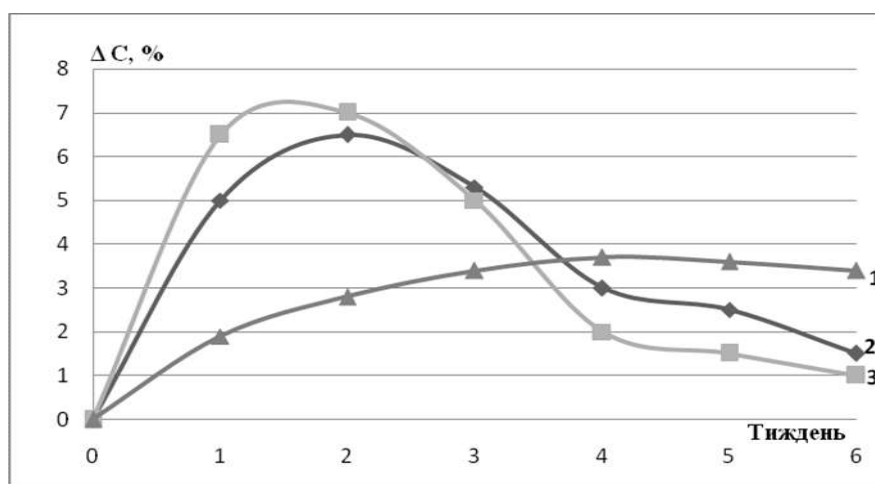


Рисунок 4.5 – Зміна кількості загального Карбону впродовж компостування, в реакторах з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3), в порівнянні з контрольним зразком (1), % /тиждень

Традиційно при компостуванні спостерігається зниження вмісту органічної речовини пропорційно зниженню вмісту загального Карбону через леткість  $\text{CO}_2$ , яке обумовлено дією мікроорганізмів. В перші 4 тижні в реакторах з додаванням мінеральної добавки мінералізується більша кількість органічної речовини (близько 20%), потім Карбон споживається незначно (3-4%). Максимальні швидкості деструкції органічних речовин у всіх реакторах спостерігалися після другого тижня. Сумарні втрати загального Карбону були більш значними в реакторі 3 (22%), ніж в реакторі 2 (близько 21%). Так, якщо початковий вміст загального Карбону становив 45,3%, то в мезофільних умовах при додаванні мінеральної добавки його вміст знизився до 36,2%, в термофільних – до 35,4%, тоді як в контрольному зразку зменшення загального Карбону спостерігалось у межах 12% та склало 40% на останньому тижні компостування. Таким чином, загальні втрати і швидкість втрат загального Карбону більш виражені при термофільному компостуванні, що свідчить про більшу інтенсивність розкладання органічної речовини саме в цьому режимі.

В процесі компостування різних органічних відходів вміст Нітрогену залишається або практично постійним, або збільшується через його іммобілізацію в мікробних клітинах та в утворених гумусових сполуках [194]. Збільшення загального Нітрогену може пояснюватися ефектом концентрації через деградацію лабільних нітрогеновмісних сполук або іммобілізацією неорганічного Нітрогену. В процесі компостування відбувається зниження вмісту амонійного Нітрогену, яке пов'язане з окисненням до нітратного Нітрогену і з емісією у вигляді  $\text{NH}_3$  [194]. Зниження вмісту амонійного Нітрогену з одночасним збільшенням вмісту Нітрогену нітратного наприкінці компостування передбачає, що інтенсивність процесу біологічного розкладання органічної речовини уповільнюється, компост дозріває та його можна використовувати в сільському господарстві.

Як свідчать експериментальні дані досліджень, характер зміни вмісту загального Нітрогену в компостній суміші, який представлений на рисунку 4.6, є практично ідентичним для всіх реакторів.

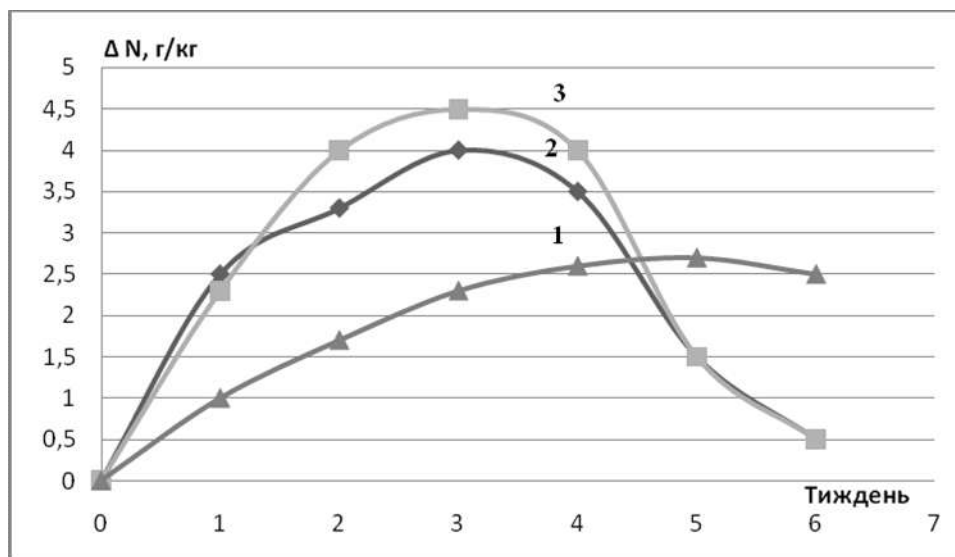


Рисунок 4.6 – Зміна швидкості втрат загального Нітрогену в суміші, яка компостується, в реакторах з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), г/кг за тиждень

В реактори 2 і 3 вносилися мінеральна добавка, яка містить нітрат-іони, тому вміст Нітрогену в масі, що компостується, після першого тижня вищий, ніж у вихідній сировині. Максимальні швидкості втрати Нітрогену у всіх реакторах спостерігалися після третього тижня, причому, в реакторі, що функціонує за термофільних умов, вона була більш значною і склала 4,5 г/кг КС за тиждень.

Сумарні втрати Нітрогену в реакторі 3 виявилися найбільшими (близько 16 г/кг сухої маси, яка компостується), що свідчить про збільшення втрат Нітрогену при термофільному компостуванні в разі внесення мінеральної добавки. Однак, вміст загального Нітрогену в реакторах 2 і 3 в кінці компостування склав 31 і 29 г/кг сухої маси, яка компостується, відповідно, що на 35–40% більше, ніж в контрольному зразку.



#### 4.1.6 Дослідження показників зрілості компосту

Зрілість компосту оцінюється за масовим співвідношенням в ньому загального Карбону і загального Нітрогену (C/N), яке є найбільш показовою характеристикою. Згідно з міжнародними стандартами показник C/N якісного компосту повинен складати 25 та нижче [202].

Найкращим співвідношенням Карбону та Нітрогену для компостування є 22-25 [203], яке забезпечує доступність Карбону та Нітрогену для бактеріального дихання. Високе значення C/N несприятливо діє на процес компостування, оскільки низька доступність Нітрогену може суттєво обмежувати мікробну стабілізацію відходів при здійсненні процесу, а низьке значення C/N призводить до надмірної витрати Нітрогену. Таким чином, в процесі компостування спостерігається зниження загальної кількості Карбону при відносно постійному вмісті Нітрогену, що призводить до зниження значення C/N відносно початкового рівня [199, 203].

На рис. 4.7 наведено залежність зміни C/N від тривалості компостування. Відношення C/N практично не залежить від температури, але помітно знижується при внесенні Нітрогену з мінеральною добавкою.

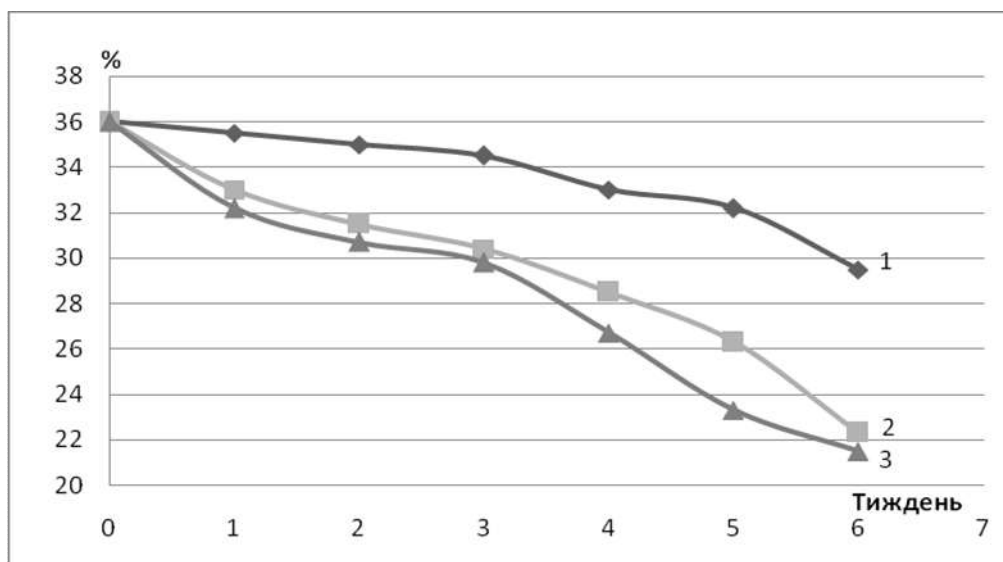


Рисунок 4.7 – Співвідношення C/N в суміші, яка компостується, в реакторах з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), г/кг за тиждень

Кінцеве співвідношення C/N у всіх одержаних компостах менше, ніж 25, що свідчить про скорочення дозрівання компосту при внесенні мінеральної добавки приблизно вдвічі, враховуючи швидкість його зміни.

Різні речовини (високі концентрації органічних кислот, амонійного Нітрогену), які присутні в незрілих компостах, можуть чинити негативні (фітотоксичні) ефекти по відношенню до рослин [204, 205], тому фітотоксичність є важливим показником зрілості компосту та готовності його до використання: так, компост з індексом пророщування менше, ніж 80 %, вважається фітотоксичним, більше, ніж 80 %, – зрілим.

На рисунку 4.8 представлено результати дослідження індексу пророщування в процесі компостування.

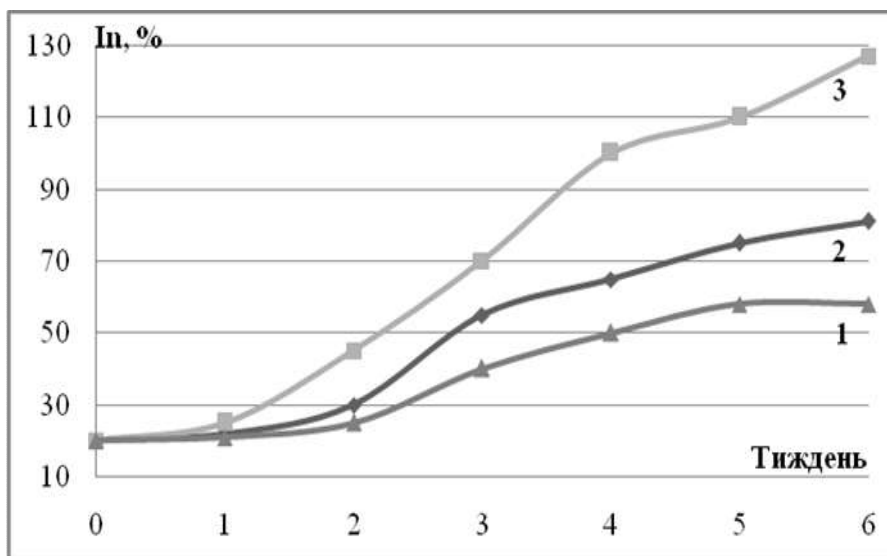


Рисунок 4.8 – Динаміка зміни індексу пророщування в процесі компостування в КС в реакторах з мінеральною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %

Результати дослідження свідчать про те, що індекс пророщування насіння редису поступово знижується зі збільшенням тривалості компостування. Після 6 тижнів компостування компости в реакторах 2 і 3 характеризуються індексом пророщування більше, ніж 100 %, що свідчить про те, що компости не тільки не містять фітотоксинів, але і проявляють стимулюючу дію на процес пророщування.

## 4.2 Дослідження впливу мікробіологічних добавок на процеси компостування

### 4.2.1 Характеристика мікробіологічних добавок

Для дослідження процесів впливу мікробіологічних добавок на процеси компостування в різних температурних умовах було проведено експериментальні дослідження, характеристика приготування субстрату для якого описана в підрозділах 4.1.1, 4.1.3.

В якості мікробіологічної добавки на основі досліджень, описаних в 4.1.2, використовували 100 мл екстракту з ґрунту (чорнозему південного), який містить целюлозолітичні мікроорганізми та бактеріальні колонії [199]. Мікробіологічну добавку, яка є водним екстрактом ґрунту, одержували при інкубації ґрунту з водою за гідромодулем (ГМ) 10 протягом 20 хвилин при перемішуванні.

Оптимальний об'єм екстракту визначали перехресним експериментом (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Визначення оптимального об'єму мікробіологічної добавки для інтенсифікації процесу компостування

| Мікробіологічна добавка |                     | C/N |
|-------------------------|---------------------|-----|
| Об'єм, мл               | Концентрація, мас.% |     |
| 50 мл                   | 4,3                 | 32  |
| 100 мл                  | 8,6                 | 25  |
| 150 мл                  | 12,9                | 30  |

### 4.2.2 Зміна рН компостних сумішей при додаванні мікробіологічної добавки

Як зазначалося в 4.1.4, абіотичний показник рН використовували для характеристики стабільності компостної суміші та завершення активності мікроорганізмів при його нейтральних значеннях.

Результати досліджень зміни рН компостної суміші представлено на рис. 4.9.

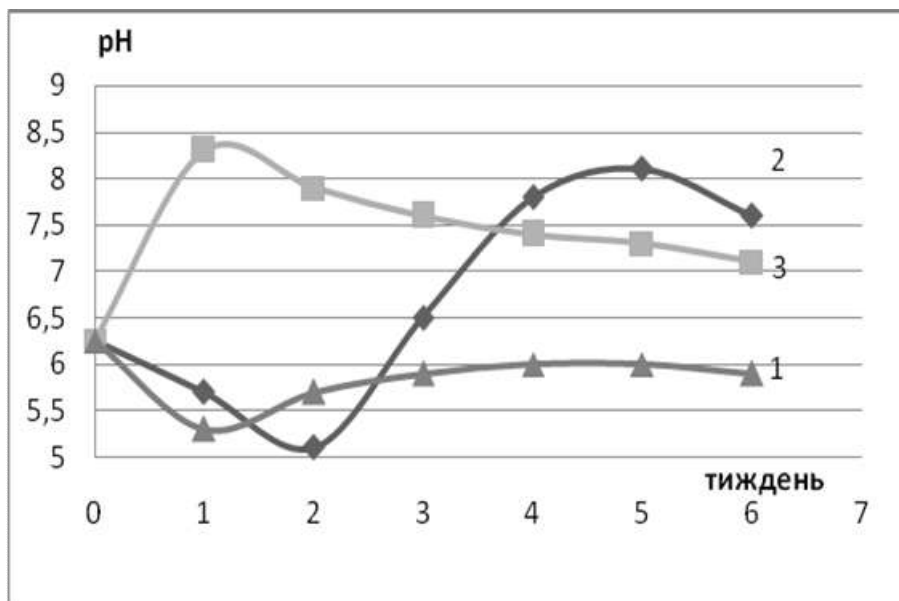


Рисунок 4.9 – Динаміка зміни рН суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1)

Початкове значення рН сировини було слабкокислим, близьким до нейтрального (6,3). Після початку компостування значення рН в мезофільному режимі в реакторі 2 до другого тижня знижувалося до 5,1, на п'ятому тижні піднімалося до 8,1, потім знижувалося до 7,6. Це можна пояснити утворенням органічних кислот в процесі ферментації, а потім їх нейтралізацією. За термофільних умов в реакторі 3 після першого тижня компостування рН середовища стало слабколужним (8,3), що можна пояснити виділенням четвертинних амонієвих основ та солей, а потім поступово знижувалося, стабілізувалося на значенні 7,1. Таким чином, в реакторах з мікробіологічною добавкою при мезофільному компостуванні на початковій стадії компостування рН відхилялося в бік слабкокислих, при термофільному - в бік слабколужних значень. Значення рН, які спостерігаються в реакторах 2 і 3 наприкінці процесу компостування, є оптимальними для вирощування рослин та відповідають вимогам, що

висуваються до зрілого компосту. Стабілізація і навіть деяке зниження рівня рН, яке відмічено на останньому тижні, скоріше за все, є результатом утворення гумусоподібних речовин, про що опосередковано свідчить стабілізація вмісту органічної речовини та розчинного органічного Карбону в цей період.

#### 4.2.3 Дослідження зміни вмісту органічних речовин в компостних сумішах при додаванні мікробіологічної добавки

Представлені на рис. 4.10 залежності зміни концентрації  $\text{CO}_2$  в просторі реактора від тривалості процесу показово демонструють зміни активності співтовариства мікроорганізмів в процесі компостування.

Активність мікроорганізмів значно вище в реакторі, що знаходиться в термофільних умовах (реактор 3). В реакторах 2 і 3 пік активності припадає на період з другого по третій тиждень. Піки респіраторної активності співпадають зі збільшенням швидкості деструкції органічної речовини.

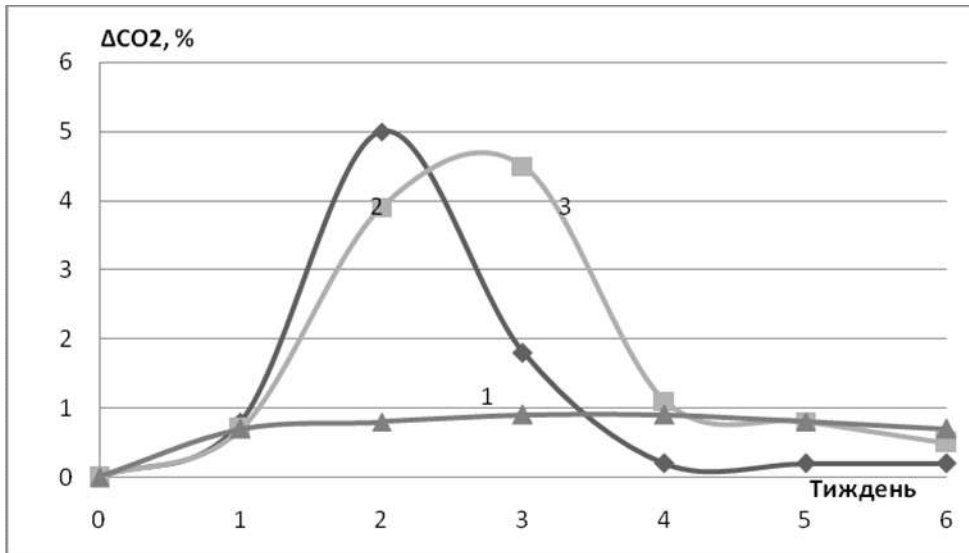


Рисунок 4.10 – Зміна емісії  $\text{CO}_2$  із реакторів впродовж процесу компостування суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %  $\text{CO}_2$

В перші тижні компостування мікроорганізми активно розкладають легкодоступні сполуки, що призводить до збільшення продукції  $\text{CO}_2$ . Саме в цей період спостерігається висока швидкість мінералізації органічної речовини та максимальне зниження вмісту розчинного органічного Карбону (рис. 4.11).

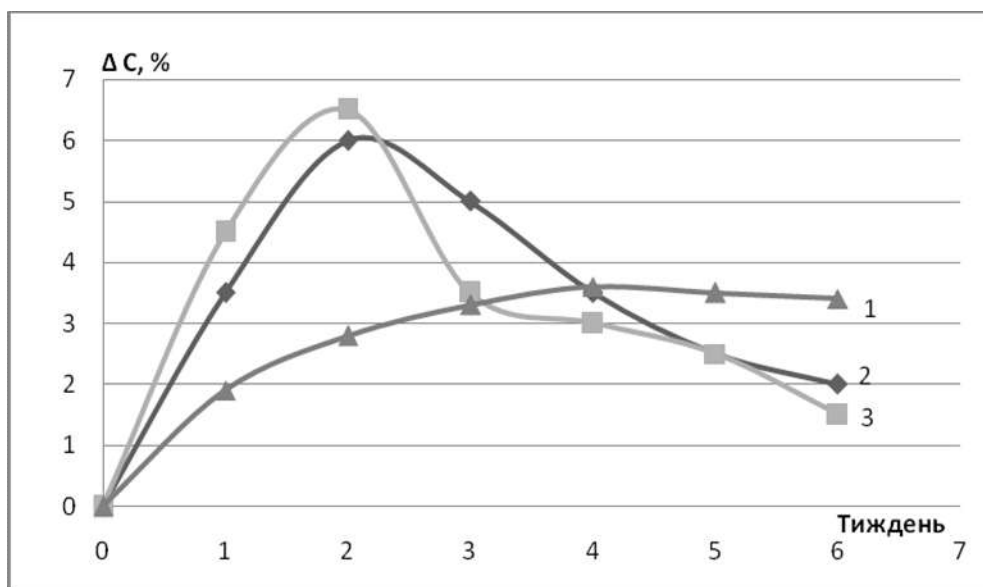


Рисунок 4.11 – Зміна швидкості втрат загального Карбону в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), % /тиждень

Характер залежності зміни кількості загального Карбону від часу компостування, представлений на рис. 4.11, приблизно однаковий для всіх трьох реакторів: в перші 4 тижні мінералізується більша кількість органічної речовини (близько 30 %), потім Карбон споживається незначно (3-4%). Максимальні швидкості споживання органічних речовин у всіх реакторах спостерігалися після другого тижня, причому внесення мікробіологічної добавки збільшує швидкість розкладання Карбону вдвічі, що підтверджує роль ґрунтової мікрофлори в деструкції органічної частини суміші, що компостується, в обох температурних режимах.

Оскільки піки активності в мезофільних та термофільних умовах не співпадають, можна припустити, що в термофільних умовах на третьому тижні бактеріальні колонії починають більш активно розкладати складні органічні сполуки. На завершальному етапі зниження та стабілізація рівня активності свідчить про те, що всі доступні речовини в суміші, що компостується, мінералізовано мікроорганізмами. Таким чином, введення мікробіологічної добавки стимулює підвищення активності співтовариства мікроорганізмів на початкових стадіях компостування – на протязі трьох тижнів, що свідчить про те, що саме в ці терміни активно відбувається деструкція органічної частини суміші, що компостується.

Таким чином, загальні втрати і швидкість втрат загального Карбону більш виражені при використанні мікробіологічної добавки як в термофільному, так і в мезофільному режимах, що свідчить про більшу ефективність процесу компостування, на яку, очевидно, впливають бактеріальні колонії біодобавки – відповідно термофільні та мезофільні.

Зміна вмісту загального Нітрогену характеризує динаміку мінералізації Нітрогеновмісних речовин (рис. 4.12).

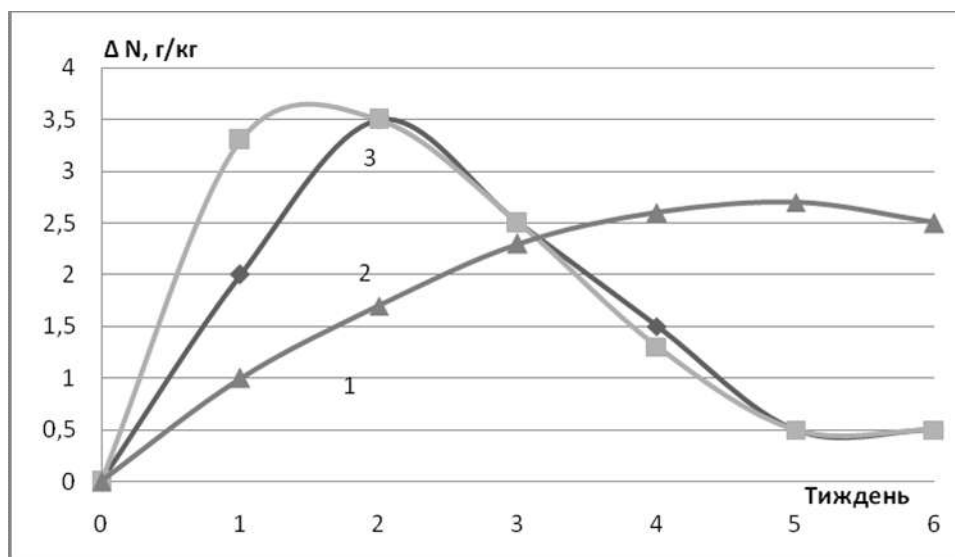


Рисунок 4.12 – Зміна швидкості втрат загального Нітрогену в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), г/кг в тиждень

Максимальні швидкості втрати Нітрогену у всіх реакторах спостерігалися після другого тижня, причому в реакторах 2 і 3 вони були більш значними (3,5 г/кг в тиждень), ніж в реакторі 1. Подібні зміни вмісту загального Нітрогену на початку компостування пов'язані з активним розкладанням Нітрогенвмісних сполук та свідчать про присутність нестабільних речовин. В подальшому в усіх варіантах дослідження спостерігалася зниження рівня загального Нітрогену, яке до кінця шостого тижня склало 0,2-0,5 г/кг. В цілому, наприкінці компостування всі досліджувані зразки продемонстрували вміст загального Нітрогену нижче рівня, який висувається до зрілих компостів [203]. Проте необхідно зазначити, що рівень Нітрогену в зрілих компостах змінюється в достатньо широкому діапазоні та залежить від часу компостування та складу вихідних компонентів. Суміш, що компостується, не містила речовин, які характеризуються високим вмістом Нітрогену (гній, осади стічних вод, бобові культури рослин та ін.), що пояснює знижену кількість Нітрогену в готових компостах.

#### **4.2.4 Дослідження показників зрілості компосту при використанні біодобавки**

Зрілість компосту оцінюється за масовим співвідношенням в ньому загального Карбону і загального Нітрогену (C/N). На рис. 4.13 наведено залежність зміни C/N від тривалості компостування.

Співвідношення C/N досягає мінімальних величин після шостого тижня компостування і далі істотно не змінюється. Кінцеве співвідношення C/N у всіх одержаних компостах менше, ніж 25, що свідчить про скорочення дозрівання компосту при внесенні мікробіологічної добавки приблизно вдвічі, враховуючи швидкість його зміни.



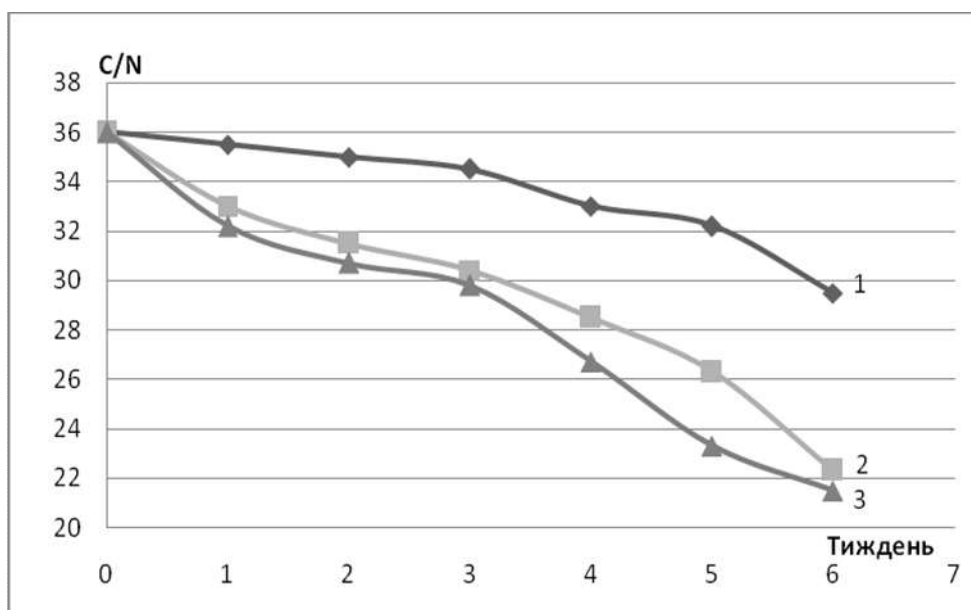


Рисунок 4.13 – Динаміка зміни співвідношення загального Карбону до загального Нітрогену (C/N) в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком, г/кг в тиждень

Аналіз експериментального дослідження свідчить про те, що інтенсивність деструкції органічної частини суміші побутових відходів, що компостується, залежить від бактеріальних колоній, одержаних з екстракту ґрунту, та збільшується вдвічі як в мезофільних, так і в термофільних умовах. Активність термофільних мікроорганізмів дещо вища, проте, враховуючі енергетичні витрати на підігрівання суміші, що компостується, можна рекомендувати компостування в мезофільному режимі з додаванням біодобавки як ресурсозберігаючий захід при компостуванні органічних відходів.

Результати дослідження свідчать про те, що індекс пророщування насіння редису поступово знижується зі збільшенням тривалості компостування (рис. 4.14).

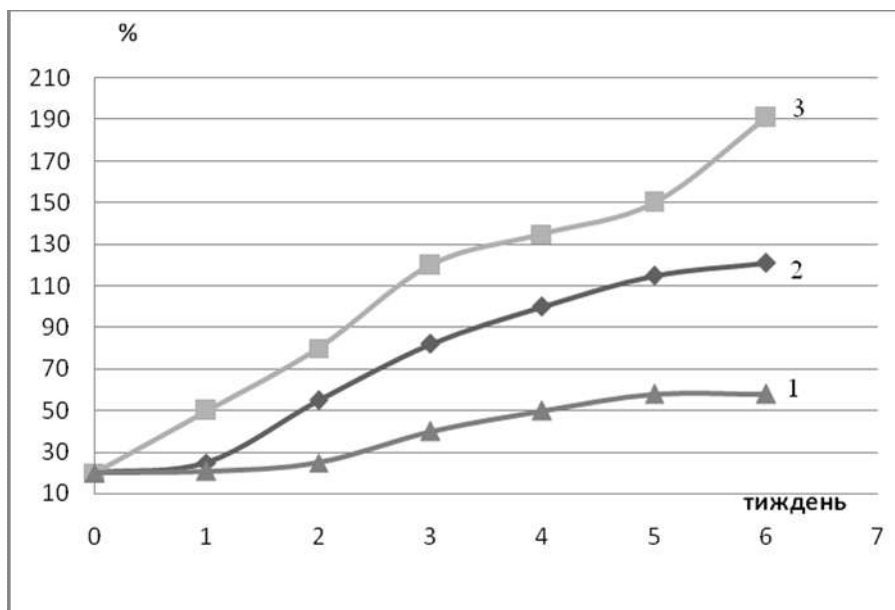


Рисунок 4.14 – Динаміка зміни індексу пророщування в процесі компостування в суміші, яка компостується, в реакторах з мікробіологічною добавкою в мезофільному (2) та термофільному режимах (3) в порівнянні з контрольним зразком (1), %

Відомо, що компост з індексом пророщування менше, ніж 80 % вважається фітотоксичним, більше, ніж 80 % – зрілим. Після 6 тижнів компостування компости в реакторах 2 і 3 характеризуються індексом пророщування більше, ніж 100 %, що свідчить про те, що компости не тільки вільні від фітотоксинів, але і мають стимулюючу дію на пророщування.

### 4.3 Висновки до розділу 4

В розділі 4 викладено результати досліджень із компостування харчової складової ТПВ з додаванням добавок мінерального та мікробіологічного походжень за різних температурних режимів, які дозволили зробити наступні висновки:

1) При визначенні зрілості та стабільності компосту, який отримано при компостуванні харчової складової ТПВ, доцільно використовувати низку абіотичних та біотичних загальних показників (рН, виділення  $\text{CO}_2$ , вміст

загального Карбону та Нітрогену), а також специфічні показники зрілості – співвідношення C:N та фітотоксичність.

2) Температурний режим є одним з вирішальних факторів процесу компостування, оскільки визначає мікробіологічний склад суміші, що компостується. Дозрівання компосту в термофільних умовах завершується швидше, ніж в мезофільних, проте в промислових умовах дотримання термофільного режиму дозрівання КС потребує значних енергетичних витрат, що суперечить вимогам раціонального природокористування.

3) Експериментальні дані дослідження дозволяють зробити висновок, що тривалість дозрівання компосту при внесенні мінеральної добавки скорочується в 2,2 рази за термофільних умов та в 1,4 рази – за мезофільних, а при внесенні мікробіологічної добавки – в 3,3 рази та в 2,1 рази відповідно.

4) Використання мінеральних та мікробіологічних добавок в технології компостування харчової складової ТПВ дозволить отримати органо-мінеральне добриво високої якості як кінцевий продукт переробки та знизити рівень екологічної небезпеки звалища.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СКЛАДОВОЇ ТПВ

Удосконалення технології компостування харчової складової ТПВ включало наступні стадії (рис. 5.1): виділення харчової складової відходів на лінії сортування та приготування компосту з використанням лінії компостування з ділянкою приготування добавок.

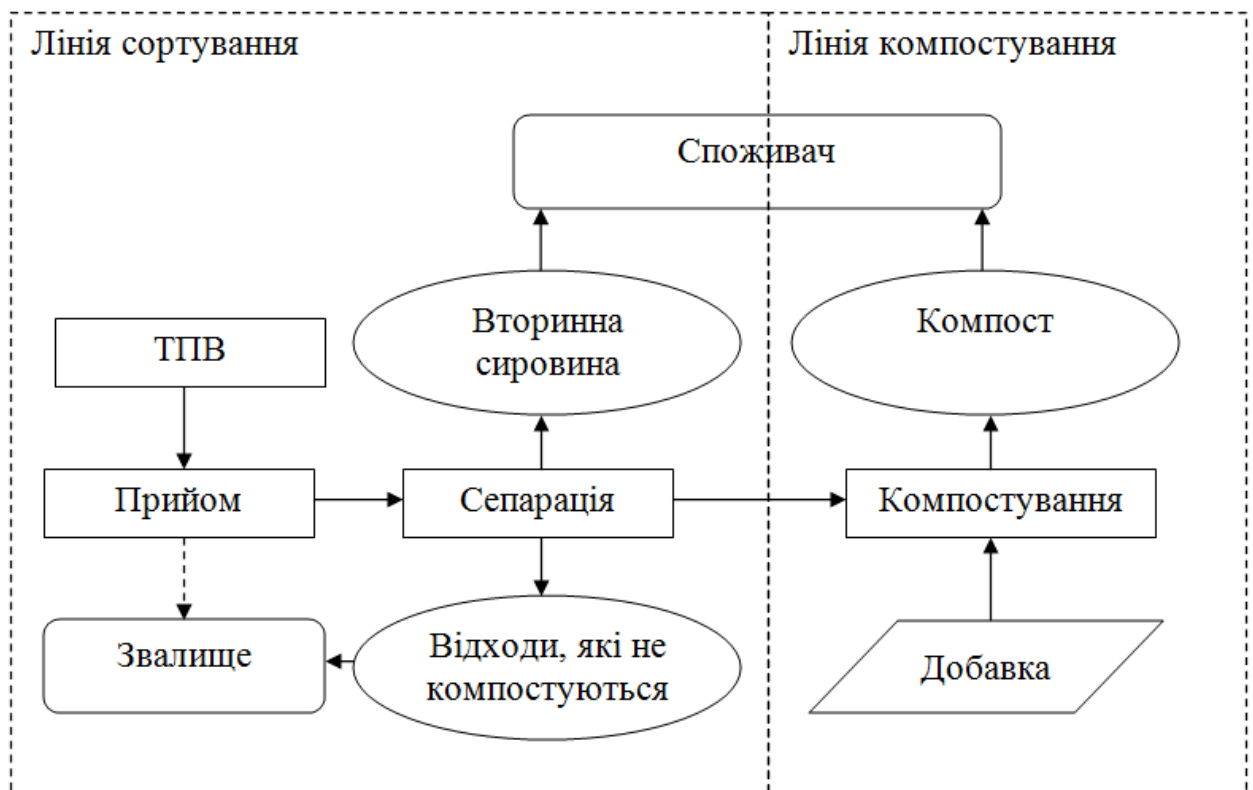


Рисунок 5.1 – Принципова технологічна схема технології компостування

#### 5.1 Організація ділянки та обладнання лінії сортування

Відходи на територію ділянки доставляється кузовними збираючими сміттєвозами, потім зважується на автомобільних вагах та вивантажується на приймаючий пластинчатий транспортер на одній або двох розвантажувальних вузлах сортування. Один вивантажувальний майданчик

призначений для прийому сміття, який відправляється на сортувальний конвеєр, інший – для відходів, які не підлягають сортуванню (вуличне сміття, опале листя та ін.), а також для відсортованих відходів, які доставляються зі спеціалізованих пунктів прийому. Тверді відходи з другого вивантажувального майданчику спрямовуються безпосередньо на загрузочний транспортер пресу для брикетування. В процесі підбору обладнання для сортування та пресування сміття та утильних фракції на звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» було розглянуто комерційні пропозиції, паспорта та прайс-листи на обладнання декількох зарубіжних та вітчизняних фірм.

Відходи, які прямують на сортування, вивантажуються зі спеціалізованого збираючого автотранспорту на розвантажувальний конвеєр та по транспортеру подаються на вібростіл для відсортовування мілких фракцій та органічних відходів, а потім в сортувальну кабінку на стіл та конвеєр ручного сортування – вузол механічного сепарування. Несортовані ТПВ вивантажуються на приймаючий конвеєр, заглиблений в підлогу. Конвеєр піднімає та скидає порції відходів на вібростіл SR 1250x1250, де вони просіюються, та відділяються всі матеріали діаметром менше 80-100 мм, які включають основну масу органічних відходів. Дрібні компоненти падають через нижню частину вібростола, звідки по контейнеру під вібростолом потрапляють на передаючий конвеєр, з якого потрапляють на передаючий конвеєр для відводу хвостів в контейнер. З другого боку, більш крупні частини проходять через вібраційний грохот та скидаються на конвеєр для сортування.

Конвеєр сортування розміщується зверху металевої платформи, де розташовуються сім зон ручного сортування матеріалів, з бункерами накопичення відсортованих матеріалів, які розміщені з кожного боку конвеєру сортування. Відібрані матеріали скидаються під платформу, звідки подаються автовантажувачем до живлячого конвеєру пресу вторсировини, горизонтальна ділянка якого заглиблена в підлогу. На столі, який обладнано

14 робочими місцями, вручну відбираються сухі відходи: папір, картон, текстиль, скло, пластмаса.

На конвеєрі розташовано електромагнітний сепаратор MS 1000-14000 типу Овербанд (рис. 5.2), який відокремлює та скидає чорні метали у відкритий контейнер, розташований під платформою. Коли контейнер заповнюється, він відправляється до пресу металів.

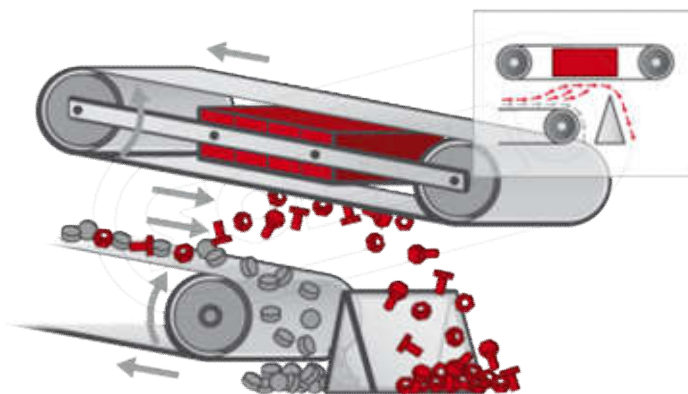


Рисунок 5.2 – Електромагнітний сепаратор MS 1000-14000 типу Овербанд

Аеродинамічне сепарування виконується на конвеєрі зі швидким рухом стрічки (2...7 м/с), звідки матеріал відправляється до подвійної воронки, яка розділена на два відсіку. Важкі фракції (скло, каміння), які мають більшу інерцію, прямують до віддаленого відсіку, а легкі фракції досягають ближнього.

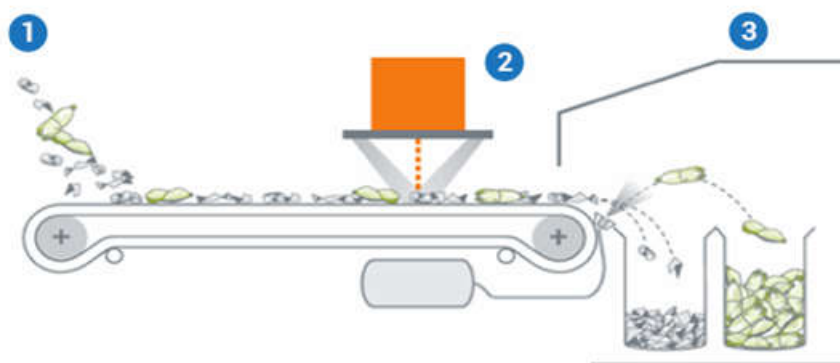


Рисунок 5.3 – Схема роботи автоматизованого оптико-пневматичного сепаратора: 1 – подання матеріалу; 2 – спектрометричне сканування; 3 – роздільна камера

Таким чином, лінія сортування відходів продуктивністю 120000 т/рік дозволяє виділити вторинну сировину, неутильні фракції та фракцію для компостування – харчові та інші органічні відходи.

## **5.2 Організація ділянки та обладнання лінії компостування**

Більшу частину території, що відводиться під розміщення технологічних ліній (50 га), займають складські майданчики для дозрівання та зберігання компосту. В містах з населенням більше 50 тис. мешканців та більше за наявності поблизу міста вільних територій використовують польове компостування [206]. За умови правильно організованого польового компостування отримують компост, забезпечуючи захист від забруднень ґрунту, атмосфери, ґрунтових і поверхневих вод. Існують дві принципові схеми польового компостування:

- з попереднім подрібненням ТПВ;
- без попереднього подрібнення ТПВ.

У першому випадку ТПВ подрібнюють спеціальними дробарками; у другому - подрібнення (менш ефективне) відбувається за рахунок природного руйнування при багаторазовому «перелопачуванні» компостної суміші. Додатково фракції подрібнюють на контрольному грохоті.

Устаткування польового компостування, які оснащені подрібнювальносортувальним обладнанням для попереднього подрібнення ТПВ, забезпечують більший вихід компосту та утворюють менше відходів виробництва (рис. 5.4).

Подрібнення ТПВ відбувається в молоткових дробарках або в невеликих біотермічних барабанах. Час перебування матеріалу в барабані не більше 1 доби при обертанні його з частотою до  $3,5 \text{ хв}^{-1}$  і більше. Барабан забезпечує достатню для подальшої обробки подрібнення ТПВ за 1200 ... 2000 оборотів, або 6 ... 10 год. Потім отриманий матеріал надходить на сито барабанного грохоту з осередками діаметром 38 мм.

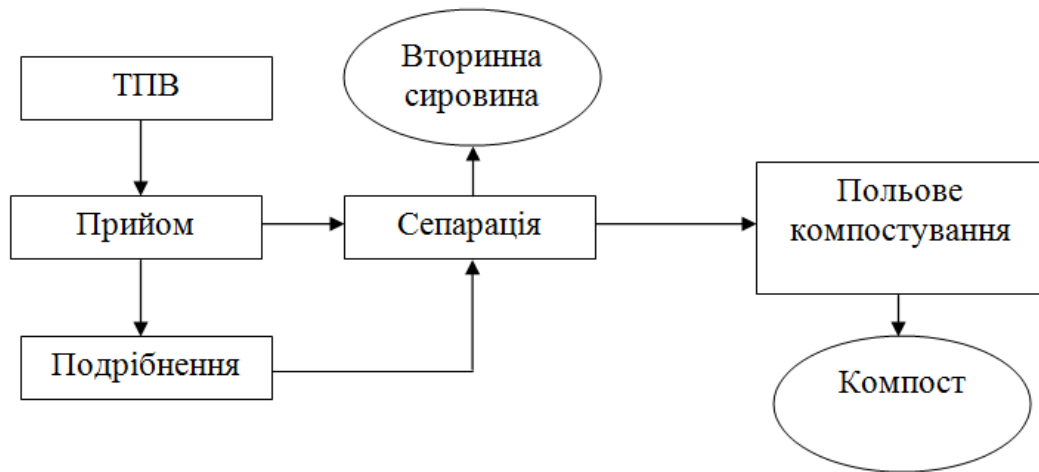


Рисунок 5.4 – Технології аеробного компостування ТПВ в польових умовах з попереднім подрібненням

При польовому компостуванні ТПВ, що надходять на промисловий майданчик, розвантажують в приймальний бункер або на вирівняну площадку. Бульдозером або спеціальними машинами формують штабелі, в яких відбуваються процеси аеробного компостування.

Для запобігання розсіювання легких фракцій сміття, інтенсивного розмноження комах і усунення неприємного запаху поверхню штабеля вкривають шаром торфу, зрілого компосту або ґрунту товщиною близько 0,2 м. В процесі компостування вологість матеріалу інтенсивно знижується, тому поряд з «перелопачуванням» і примусовою аерацією для підвищення активності біотермічного процесу штабеля зволожують.

### 5.2.1 Обґрунтування вибору системи компостування

Сьогодні існує низка цілий ряд способів, технологічних підходів та обладнання для ведення процесів біоконверсного екологічно безпечного виробництва компостів.

Найбільш поширеним є спосіб компостування в буртах за природних умов. Але цей спосіб, не дивлячись на самі низькі ресурсні затрати, є низько



технологічним і не завжди забезпечує отримання кінцевого продукту з якісними показниками. Поряд з цим виникає низка екологічних проблем.

До технологічно обґрунтованих слід віднести способи компостування в буртах з механічною аерацією завдяки перелопачуванню та з примусовою аерацією в стаціонарних буртах. Ці способи базуються на контролюванні біотермічних процесів та потребують застосування спеціалізованого устаткування. Впровадження потребує спорудження компостних майданчиків з твердим покриттям та додаткових експлуатаційних затрат на ведення процесів. Найбільш технологічними слід вважати закриті компостні системи, які практично повністю забезпечують якісні показники компосту та відповідають сучасним вимогам екологічної безпеки.

Порівняльний аналіз систем компостування, який наведено в розділі 1, дозволяти, серед інших, віддати перевагу системі компостування в буртах зі стаціонарною системою аерації (Aerated static Pile), як технологічній за рахунок постійної або періодичної примусової аерації буртів. Система передбачає:

- активний процес розкладу органічних речовин завдяки інтенсифікації процесу через примусову аерацію суміші;
- планувально-експлуатаційні заходи з моніторингом за процесом;
- потребу в спорудженні майданчиків, обладнаних стаціонарними системами аерації;
- зниження вимог до структури компостного матеріалу через часткове відновлення пористості завдяки аерації;
- задовільне забезпечення екологічних вимог: борт покривається дозрілим компостом, застосовується відсмоктувальна аерація з викидом відпрацьованого повітря з вивільненими газами через компостний фільтр.

Порівняльний аналіз систем компостування в умовах Одеського звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» дозволяє обґрунтувати вибір системи

польового компостування в буртах зі стаціонарною системою аерації, як технологічну, екологічно доцільну та продуктивну.

Компостна суміш на майданчику закладається без ущільнення, починаючи з одного краю на всю висоту штабелю. Параметри бурту наведено в табл. 5.1 та на рисунку 5.5.

Таблиця 5.1 – Розміри буртів в умовах польового компостування в буртах з примусовою аерацією

| Показник, розміри                        | Рекомендоване [206] | Оптимальне, апробоване |
|--|---------------------|------------------------|
| Висота, м                                | 2,5-5               | 2,5                    |
| Довжина, м                               | 10-50               | 20                     |
| Ширина за нижньою основою, м             | 3-6                 | 4                      |
| Площа за нижньою основою, м <sup>2</sup> | 30-300              | 60                     |
| Ширина за верхньою основою, м            | 2-4                 | 3                      |
| Об'єм, м <sup>3</sup>                    | 65-1240             | 174,5                  |

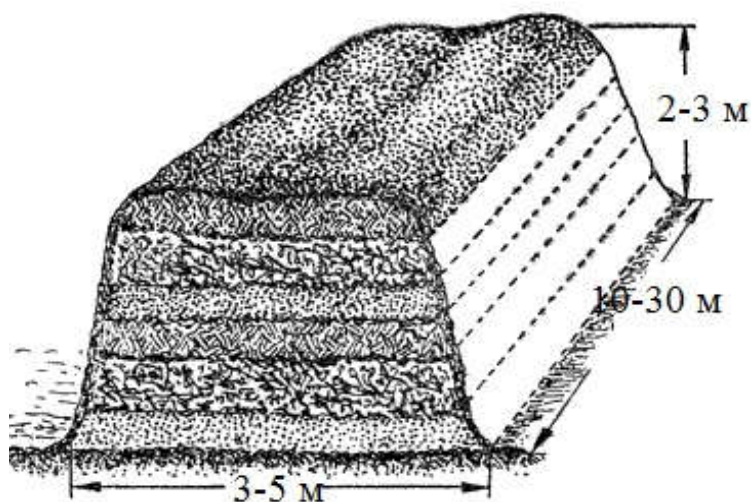


Рисунок 5.5 – Геометричні параметри буртів компосту

При температурі навколишнього середовища нижче, ніж  $0^{\circ}\text{C}$  компостну суміш укладають в один суцільний бурт висотою від 1 м до 1,25

м. Всього на майданчику площею в 1 га розміщується 10-15 буртів влітку. У разі стійких позитивних температур суміш треба перемішувати та укласти в бурти відповідних геометричних розмірів.

Штабелі в процесі формування кожен добу треба покривати землею, торфом або зрілим компостом товщиною: влітку - від 15 см до 20 см, взимку - від 30 см до 40 см. Оскільки в зовнішніх шарах буртів можуть зберігатися личинки мух, їх поверхню наприкінці формування можна обробляти інсектицидами.

Бурти компосту перемішують через 7-10 днів після початку інтенсивного біотермічного процесу та повторюють наприкінці процесу – через 30-40 днів. Перемішування здійснюють на місці закладання або шляхом пересування бурту на інше місце.

Перемішування проводять за допомогою навантажувача, екскаватора з ковшем місткістю від 0,5 м<sup>3</sup> до 1,5 м<sup>3</sup> або сучасних механізмів так, щоб зовнішній шар був повністю всередині створеного нового бурту.

У періоди між перемішуваннями свіже повітря надходить в бурт завдяки конвекції, так званому трубному ефекту. Нагріте і збагачене CO<sub>2</sub> повітря в штабелі випаровується, а на його місце поступає холодніше повітря, головним чином, з бокових сторін біля основи штабеля (рисунок 5.6). Тому якісну компостну суміш можна отримати за умови значної різниці температур усередині бурту і зовнішнього повітря та інтенсивній вентиляції [206].

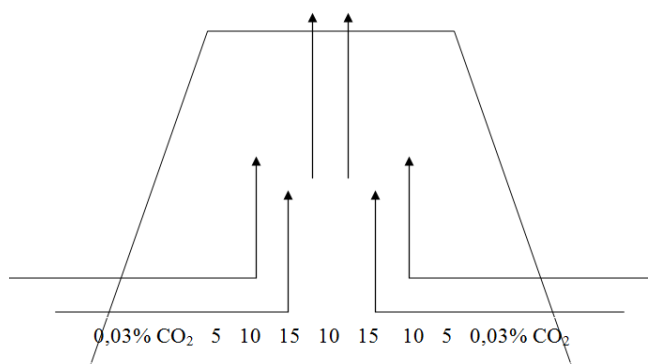


Рисунок 5.6 – Трубний ефект в бурті компостної суміші

У зв'язку з тим, що в бурті за різних умов утворюються анаеробні ядра [206], доцільно при формуванні компостного бурта встановлювати стаціонарну примусово-напірну систему аерації. При цьому компостна суміш укладається на перфоровані труби, які покриті шаром готового компосту, а повітря подається через них. Таким чином досягається оптимальне співвідношення кисню та оксиду Карбону (IV) у газоповітряній суміші (5-18%). При організації спроектованих ділянок для компостування процес аерації є керованим.

### **5.2.2 Технологія приготування вихідних компостних сумішей**

Приготування вихідної компостної суміші передбачає підготовку сировини (прийом після технологічної лінії сортування та сепарації), подрібнення і підсушування подрібненої сировини на конвеєрі.

Вихідний компостний матеріал, отриманий після сепарації є сумішшю харчових відходів. Основними параметрами процесу приготування вихідних компостних сумішей є:

- вологість (компостування проводиться при вологості компостних сумішей від 50% до 70%);
- поживні речовини (побутові відходи повинні мати більше, ніж 25% органічних речовин, які легко розкладаються; початкове відношення Карбону і Нітрогену (C:N) компостної суміші повинно наближатись до співвідношення  $C:N = (25-30):1$ );
- рН (6,0-8,0 од. рН);
- дисперсність та структура сумішей.

Під час приготування компостних сумішей компоненти необхідно балансувати одночасно за поживними речовинами та за вологістю, а після змішування компонентів виконувати розпушення суміші до моменту отримання належної поруватості її структури. Технологічним підходом щодо підготовки вихідних компостних сумішей обрано введення

вологопоглинальних компонентів рослинного походження і органічних компонентів для підвищення масової кількості речовин, що легко розпадаються, та підвищення «енергетичного» потенціалу суміші - суміш сільськогосподарських і садово-паркових відходів при їх масовому співвідношенні 1:1.

Структуральна підготовка компостної суміші повинна запобігати високій щільності закладання суміші та можливості перебігу анаеробних процесів, тому вихідні компоненти подрібнюються до часток розміром від 10 мм до 20 мм на дробарці, куди вони поступають після вузла сепарування із приймального бункеру з пластинчастим живильником.

Для структурального покращання вихідної компостної суміші з відходів до неї додається 8,3-8,5 мас.% ґрунту (чорнозему південного малогумусного), який відбирається зі схилів та кар'єрних вилучень звалища.

### **5.2.3 Обґрунтування складу і функціонально-фізіологічних властивостей мінеральних та мікробіологічних добавок**

В серії дослідів було виявлено, що внесення мінеральних добавок до компостної суміші не тільки не чинить інгібуючої дії на процеси ферментації сировини, але і прискорює процес компостування. В якості мінеральної добавки для підвищення ефективності процесу компостування в технологічній схемі використовували розчин мінеральних солей (нітрат кальцію, дігидрофосфат калію і сульфат магнію) у співвідношенні 4:2:1.

Обґрунтування внесення мікробіологічної добавки базується на дослідженні структури мікробних комплексів, які є невід'ємною складовою ґрунтів. Основними групами мікробних комплексів ґрунту є грибна і бактеріальна мікрофлора, яка здатна виробляти такі екзоферменти, як целюлази, фосфатази, хітинази, дегідрогенази та ін. Проведена оцінка зміни мікробного консорціуму ґрунтів показує, що бактерії домінують над грибами. Збагачення мікробних комплексів компостних мас на початковій

стадії целюлозоруйнівними мікроорганізмами сприяє зниженню тривалості компостування відходів.

#### 5.2.4 Технологія отримання мінеральних і мікробіологічних добавок

Для удосконалення технології компостування харчової складової ТПВ запропоновано введення мінеральних або мікробіологічних добавок, що представлено додатковим вузлом приготування добавок на загальній технологічній схемі (рис. 5.7).

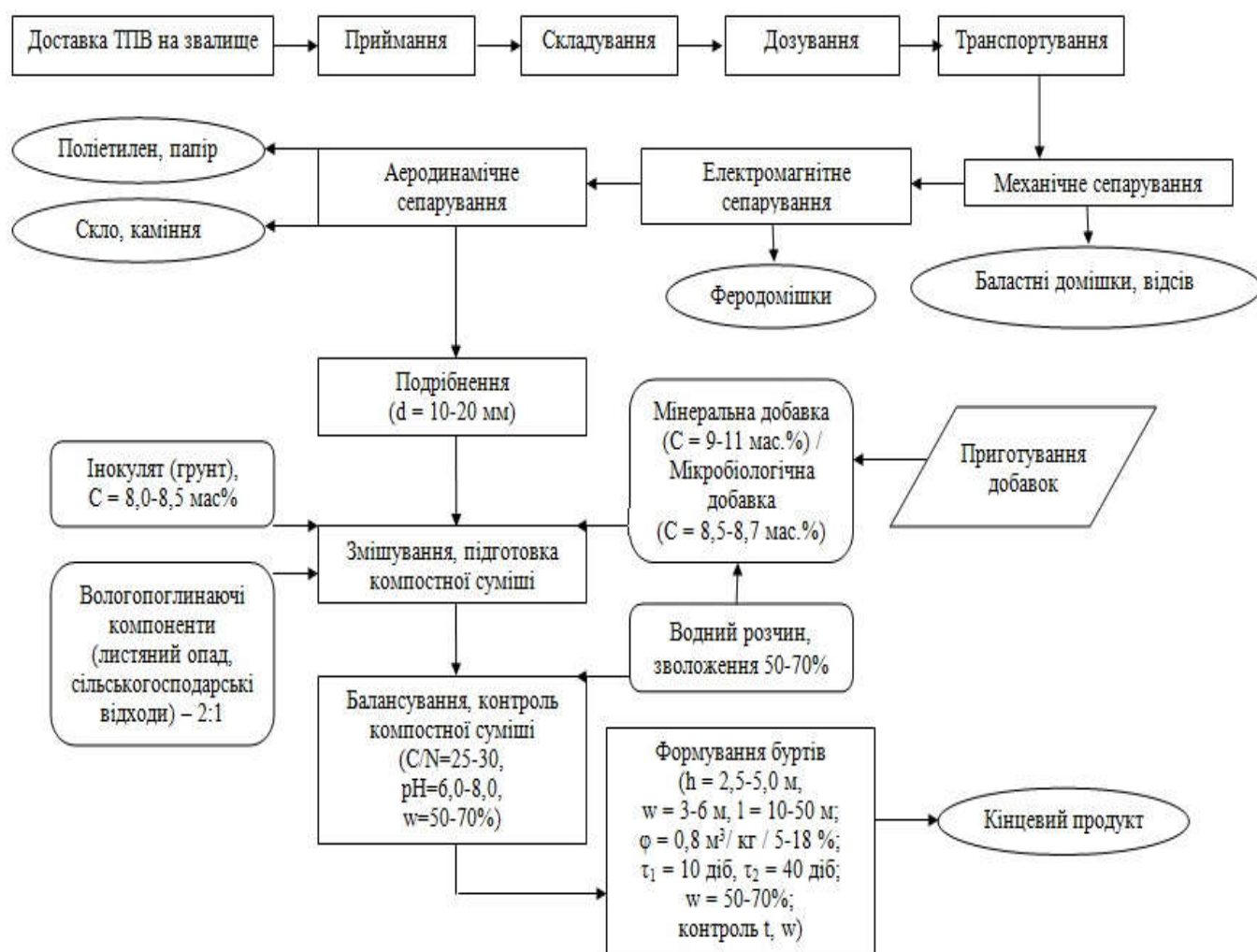


Рисунок 5.7 – Загальна технологічна схема компостування харчової складової ТПВ на звалищі

Для отримання мінеральної добавки (рис. 5.8) в цистерні з нержавіючої сталі ємністю 100 м<sup>3</sup> готується 10 мас.% розчин мінеральних солей, за вагового співвідношення  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} : \text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = (3,5-4,5) : (1,5-2,5) : (0,5-1,5)$ .

Отриманий розчин перемішується з підготовленою подрібненою сумішшю харчових, сільськогосподарських та садово-паркових відходів (1:1:1) та доданим 8,3-8,5 мас.% ґрунту в біотермічному барабані шляхом механічного перемішування протягом 30 хвилин. Отримана суміш укладається в бурти зі стаціонарною системою аерації та витримується протягом 5-7 тижнів до отримання кінцевого продукту.

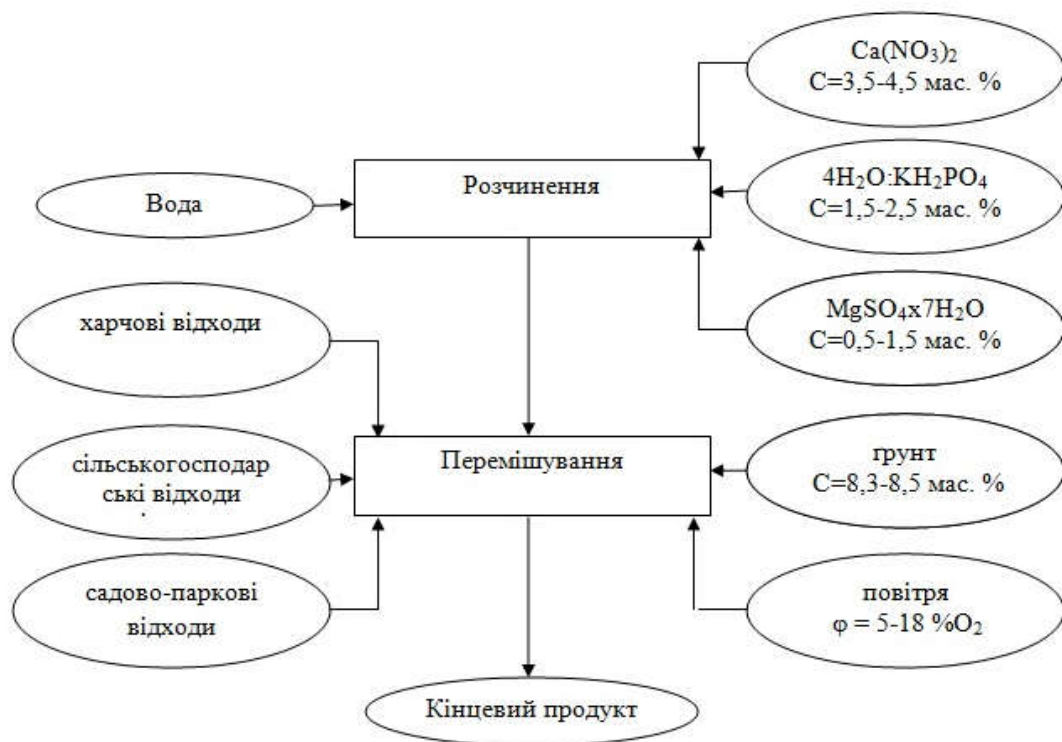


Рисунок 5.8 – Технологічна схема компостування харчової складової ТПВ з додаванням мінеральної добавки

Для отримання мікробіологічної добавки (рис. 5.9) в цистерні з нержавіючої сталі ємністю 100 м<sup>3</sup> готується водний екстракт ґрунту – чорнозему південного малогумусного, одержаного при інкубації його з водою за гідромодулем 1:10 протягом 15-20 хвилин при перемішуванні. Як

біологічна добавка використовується витяжка, яка отримана в лабораторній промисловій центрифугі S-450 протягом 20 хвилин при 1500 робочих обертах.

Отриманий розчин перемішується з підготовленою подрібненою сумішшю харчових, сільськогосподарських та садово-паркових відходів (1:1:1) та доданим 8,3-8,5 мас.% ґрунту в біотермічному барабані шляхом механічного перемішування протягом 30 хвилин. Отримана суміш укладається в бурти зі стаціонарною системою аерації та витримується протягом 5-7 тижнів до отримання кінцевого продукту.

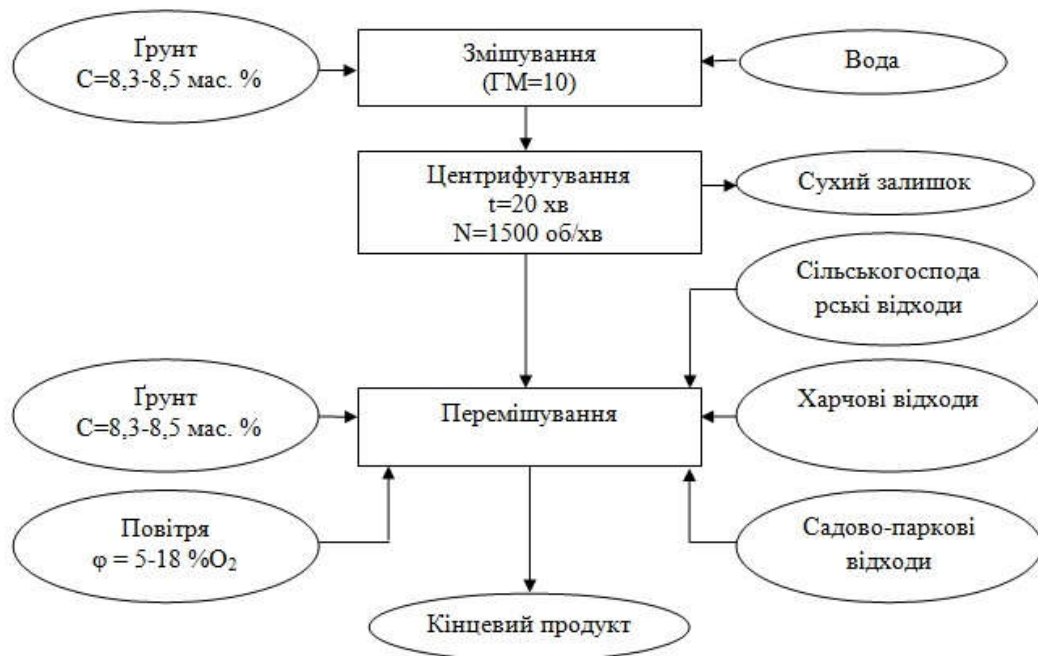


Рисунок 5.9 – Технологічна схема компостування харчової складової ТПВ з додаванням мікробіологічної добавки

### 5.2.5 Обґрунтування температурного режиму

За температурними режимами процес польового компостування в буртах зі стаціонарною системою аерації поділяють на 2 фази:

- термофільна, від 50<sup>0</sup>С до 70<sup>0</sup>С;
- мезофільна, від 33<sup>0</sup>С до 38<sup>0</sup>С.



Експериментально доведено ефективність саме термофільного компостування, яке при додаванні мінеральної добавки дозволяє прискорити процес в 2,2 рази, а при внесенні мікробіологічної – в 3,3 рази. Проте енергоефективність термофільного компостування низька, оскільки потребує енергетичних витрат на постійне підігрівання компостної суміші в бурті, що підвищує собівартість кінцевого продукту та знижує очікуваний екологічний ефект.

Підігрівання компостної суміші до визначеного температурного режиму здійснюється шляхом підігрітого повітря в системі аерації. За умови вартості електроенергії для промислових об'єктів, підключених до мережі «Одесаобленерго», в розмірі 1,79 грн/кВт, при витраті повітря 0,8 м<sup>3</sup>/кг розраховано ефективність використання мінеральних та мікробіологічних добавок в процесі компостування в холодний та теплий періоди, середньомісячна температура яких, відповідно, 22,2<sup>0</sup> С та -2,5<sup>0</sup> С. Результати оцінки ефективності підігріву компостної суміші наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Енергоефективність компостування суміші за різних температурних умов впродовж року

| Температурні умови                | Мезофільні |        | Термофільні |        |
|-----------------------------------|------------|--------|-------------|--------|
| Показник/сезон                    | Холодний   | Теплий | Холодний    | Теплий |
| Витрата енергії, кВт/год*кг       | 0,0063     | -      | 0,015       | 0,0083 |
| Вартість підігріву, грн/год*100кг | 1,13       | -      | 2,69        | 1,49   |
| Ефективність циклу з добавкою, %: |            |        |             |        |
| - мінеральною                     | 70,8       | 100    | 45          | 45,5   |
| - мікробіологічною                | 47,8       | 100    | 30          | 30,3   |

Розрахунок енергоефективності доводить ефективність використання мезофільного режиму в процесі компостування як в теплий, так і в холодний період року, тому в промислових умовах доцільно проводити процес компостування саме в мезофільних умовах.

Контроль за температурою здійснюється за допомогою максимальних термометрів з металевим корпусом завдовжки 80 см зі шкалою до 110<sup>0</sup>С.

Від початку процесу компостування замірювання температури проводять один раз в п'ять днів. Коли температура в бурті досягне максимуму, можна реєструвати її через два тижні, потім - 1 раз на місяць.

Для визначення температури в бурті роблять отвори в декількох місцях бурту металевим або дерев'яним прутком: з боків, в середині і зверху на глибині від 50 см до 60 см. Термометри можна держати в штабелі постійно або занурювати в отвори за потреби; в цьому випадку під час кожного його занурення в штабель треба чекати (5-10) хвилин, для доведення до постійного значення.

#### **5.2.6 Удосконалення технологічної схеми компостування**

Додавання мінеральних або мікробіологічних добавок до компостної суміші, яка отримується в результаті сортування на звалищі ТПВ (рис. 5.7), дозволяє удосконалити процес компостування харчової складової ТПВ через прискорення процесу, отримання зрілого кінцевого продукту, зменшення антропогенного навантаження на довкілля, підвищення рівня екологічної безпеки та отримання певного еколого-економічного ефекту. Лінія компостування включає операції подрібнення, перемішування, додавання мінеральних або мікробіологічних добавок та процес дозрівання компостної суміші в буртах зі стаціонарною системою аерації в мезофільних або термофільних умовах

Технологічний процес, що рекомендується, забезпечується необхідною організацією вимірювально-інформаційної системи, що дозволяє поетапно виконувати вимоги технології, які визначаються технохімічним і мікробіологічним контролем (табл. 5.3).

Зрілість та стабільність готового компосту, отриманого у виробничих умовах, оцінювалася візуально, за величиною рН, за масовим

співвідношенням C/N і за індексом пророщування, який характеризує фітотоксичність кінцевого продукту.

Таблиця 5.3 – Схема технохімічного і мікробіологічного контролю виробництва компосту з використанням добавок

| № п/п | Процес                 | Об'єкт контролю         | Параметр, який контролюється   | Періодичність контролю                  | Метод контролю*                            |
|-------|------------------------|-------------------------|--|---|--|
| 1     | 2                      | 3                       | 4  | 5                                       | 6  |
| 1     | Змішування, підготовка | вихідна компостна суміш | pH<br>C/N<br>вологість<br>дисперсність   | Одноразово                              | Ф<br>Ф/Х<br>Ф<br>Ф                         |
| 2     | Одержання добавки      | Розчин                  | Концентрація мінерального розчину<br>Мікробіологічний склад<br>Час процесу<br>Температура                          | Одноразово                              | Х<br><br>М<br><br>Ф<br>Ф                   |
| 3     | Змішування             | Компостна суміш         | Маса<br>Вологість  | Одноразово                              | Ф  |
| 4     | Контроль               | Компостна суміш         | pH<br>CO <sub>2</sub><br>C <sub>заг</sub> , N <sub>заг</sub><br>C/N<br>фітотоксичність<br>температура<br>вологість | Кожного тижня<br><br><br><br>періодично | Ф<br>Ф/Х<br>Ф/Х<br>Ф/Х<br>В, Ф/Х<br>Ф<br>Ф |
| 5     | Кінцевий продукт       | Компост                 | pH<br>C/N<br>фітотоксичність   | Кожна партія                            | Ф<br>Ф/Х,<br>М, В                          |

\*Скорочення, які використовуються для методів контролю: В – візуальний; Ф – фізичний; Х – хімічний; Ф/Х – фізико-хімічний; М – мікробіологічний.

Дослідну партію компосту характеризували за органолептичними, фізико-хімічними та токсикологічними показниками (табл. 5.4). Таким чином, як видно з наведених даних, якість виготовлених компостів, одержаних у виробничих умовах, відповідає вимогам нормативно-технічної документації [206], що свідчить про можливість використання досліджуваного продукту в промислових умовах – у сільському та лісному господарстві, в зеленому будівництві, для рекультивації земель – а також про ефективність удосконаленої технології.

Таблиця 5.4 – Показники якості компостів

| Показник/<br>умови                   | Добавка   |                      |                             |             |
|--------------------------------------|---|----------------------|-----------------------------|-------------|
|                                      | Мінеральна  |                      | Мікробіологічна             |             |
|                                      | мезофільні  | термофільні          | мезофільні                  | термофільні |
| 1                                    | 2   | 3                    | 4                           | 5           |
| Вихід продукту,<br>%                 | 75,6  | 61,2                 | 78,0                        | 62,4        |
| Органолептичні показники             |   |                      |                             |             |
| Зовнішній<br>вигляд,<br>консистенція | Дрібнодисперсна субстанція, структурна, сипка                               |                      |                             |             |
| Запах                                | грунту, ґрунту лісового, без сторонніх запахів, не<br>пліснявий, не затхлий |                      |                             |             |
| Колір                                | Коричневий  | Темно-<br>коричневий | Темно-коричневий,<br>чорний |             |
| Сторонні<br>домішки                  | Відсутні  |                      |                             |             |
| Показники зрілості                   |   |                      |                             |             |
| pH                                   | 6,9   | 7,5                  | 7,6                         | 7,1         |
| C/N                                  | 22,3  | 21,5                 | 21,3                        | 20,7        |
| фітотоксичність,<br>%                | 11  | -28                  | -21                         | -91         |

### 5.3 Економічне обґрунтування ефективності удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ

Розрахунок ефективності удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ проводили при встановленні нової технологічної лінії. Розрахунок повної собівартості річного випуску продукції і калькуляційних одиниць наведений в Додатку Д. Калькуляція витрат на виробництво і реалізацію компостів при встановленні нової технологічної лінії представлена в табл. 5.5.

Як видно з даних табл. 5.5-5.6, отримані показники знаходяться в межах норми, що свідчить про ефективність інвестицій в промислове виробництво компостів.

Таблиця 5.5 – Планова калькуляція собівартості продукції

| Статті витрат  | Всього, грн |
|--|-------------|
| Плановий об'єм виробництва, т/рік                              | 45000       |
| Сировина і основні матеріали                                   | 3150757     |
| Допоміжні матеріали  | 1500        |
| Транспортно-заготівельні витрати                               | 18500       |
| Паливо, енергія на технологічні цілі                           | 62553,6     |
| Основна і додаткова заробітна плата                            | 38604,96    |
| Амортизаційні відрахування                                     | 33277,31    |
| Витрати на контроль технологічного процесу та якості продукції | 25321       |
| Витрати на збут  | 34125       |
| Інші витрати основної діяльності                               | 68790       |
| Разом витрат (собівартість)                                    | 3433428,87  |
| Собівартість виготовлення 1 т компосту                         | 76,3        |
| Ринкова ціна 1 т компосту                                      | 300         |

Таблиця 5.6 – Показники ефективності інвестицій

| Показники                                   | Встановлення нової лінії |
|---|--------------------------|
| ЧПП (Чистий приведений прибуток), тис. грн. | 119                      |
| ІП (Індекс прибутковості), од.              | 1                        |
| ПО (період окупності), років                | 1,6                      |

Таким чином, враховуючи, що продукти, що випускаються, рентабельні і приносять прибуток, проект рекомендується прийняти до реалізації. Запропонована удосконалена технологія компостування харчової складової ТПВ є екологічно безпечною та економічно обґрунтованою, про що свідчить виконана еколого-економічна оцінка технологій утилізації ТПВ.

Окупність впровадженої технології становить 1,6 років, в комплексі сміттяпереробного заводу – 6-10 років, собівартість отриманого компосту становить 76 грн за тону, що в 4 рази менше ринкової вартості. Реалізація удосконаленої технології дозволить зберегти природно-ресурсний потенціал ґрунтів та забезпечити стабільно високі показники еколого-економічної ефективності за рахунок скорочення обсягів ТПВ.

#### 5.4 Висновки до розділу 5

Удосконалена технологія компостування харчової складової ТПВ з додаванням мінеральних або мікробіологічних добавок підтверджена патентами на корисну модель (додаток И), успішно апробована на комунальному підприємстві «Одескомунтранс» (акт впровадження від 24.05.2018 року, додаток Е) та дозволяє визначити основні напрямки її реалізації в промисловому масштабі:

1) Удосконалена технологія є яскравим прикладом біотехнологій, які є досконалим інструментом в системі управління екологічною безпекою та утилізації відходів, оскільки приготування та додавання мінеральних та мікробіологічних добавок не чинить техногенного впливу на довкілля.

2) Впровадження удосконаленої технології компостування дозволяє зменшити екологічне навантаження звалищ ТПВ на компоненти довкілля, підвищити рівень екологічної безпеки, знизити річні обсяги емісії метану зі звалищ.

3) Удосконалена технологія компостування харчової складової ТПВ дозволяє отримати високоякісний продукт, який підлягає реалізації та є засобом підвищення родючості ґрунтів та повернення в кругообіг живильних елементів.

4) Удосконалена технологія компостування має варіації реалізації: оптимізація температурного режиму та вибір добавки за потребою виробника. Технологія є економічно обґрунтованою та високоефективною.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі подано нове розв'язання актуальної науково-практичної задачі – підвищення рівня екологічної безпеки звалищ ТПВ шляхом впровадження комплексу техніко-технологічних заходів з управління екологічною безпекою, а саме – удосконаленої технології компостування харчової складової твердих побутових відходів, методологічних підходів до комплексної оцінки та прогнозування впливу звалищ ТПВ на компоненти навколишнього середовища.

Найважливіші наукові та практичні результати, які одержані в дисертації:

1. Обґрунтовано механізм формування екологічної небезпеки звалищ ТПВ на основі ідентифікації та оцінки вхідних, вихідних та ризикових екологічних аспектів.

2. Запропоновано систему комплексних показників, що характеризують ймовірність виникнення і ступінь екологічної небезпеки звалищ ТПВ, і дозволяють класифікувати об'єкт відповідно до ступеня негативного впливу. Проведено оцінювання рівня екологічної небезпеки звалищ ТПВ на прикладі звалища ТПВ у районі Дальницьких кар'єрів (полігон ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри», Одеська обл., Україна). Одержане чисельне значення комплексного показника екологічної небезпеки ( $D=1,77$  та  $R=1,5$ ) дозволило віднести звалище до IV групи небезпеки, а рівень екологічного ризику звалища у випадку аварійної ситуації є неприйнятним ( $R_t > 10^{-5}$ ,  $R_i > 10^{-6}$ ). За результатами експертного оцінювання вплив звалищ на довкілля є високим (514 балів), вилучення харчової складової ТПВ дозволить зменшити його до помірного (240 балів).

3. Розроблено алгоритм управління екологічною безпекою звалищ ТПВ, де об'єктом управління є харчова складова ТПВ. Основні управлінські рішення ґрунтуються на удосконаленні технології компостування харчової складової ТПВ, що знижує інтенсивність негативного впливу звалищ ТПВ на



компоненти довкілля.

4. Проведено прогностичний розрахунок утворення метану з території звалища, на яку потрапляють усі категорії відходів, у порівнянні з територією звалища без харчової компоненти. Встановлено зменшення обсягу метану, що викидається, на 20-40%. Це дозволило обґрунтувати доцільність та ефективність відокремлення харчової складової з загального обсягу ТПВ.

5. Розроблено удосконалену технологію компостування харчової складової ТПВ. Експериментально обґрунтовано способи інтенсифікації компостування харчової складової ТПВ через внесення мінеральних або мікробіологічних добавок. Встановлено, що внесення мінеральної добавки прискорює тривалість дозрівання компосту в 2,2 рази за термофільних умов та в 1,4 рази – за мезофільних, внесення мікробіологічної добавки – в 3,3 та в 2,1 рази відповідно.

6. Екологічне значення запропонованої технології підтверджено підвищенням рівня екологічної безпеки, економічне – інвестиційною привабливістю та одержанням органо-мінерального добрива високої якості як кінцевого продукту переробки, а соціальне значення – зниженням собівартості отриманого продукту.

Результати роботи впроваджені на комунальному підприємстві з вивезення сміття «Одескомунтранс» та в навчальному процесі підготовки фахівців за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища» і 101 «Екологія» в Одеській національній академії харчових технологій і Коледжі нафтогазових технологій, інженерії та інфраструктури сервісу ОНАХТ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конституція України // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1996, № 30, ст. 141. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-D0%B2%D1%80>
2. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст.546. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
3. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, № 26, ст. 218. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2818-17>
4. Закон України «Про національну безпеку України» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19>
5. Програма дій «Порядок денний на XXI століття» («AGENDA-21»). Ухвалена Конференцією ООН з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро (Саміт «Планета Земля», 1992 р.): пер. з англ. – К. : Інтелсфера, 2000. – 360 с.
6. Rio Declaration on Environment and Development, A/CONF.151/26 (Vol. I), Chapter I, Annex I, Rio de Janeiro, June 1992 [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.unesco.org/education/pdf/RIO\\_E.PDF](http://www.unesco.org/education/pdf/RIO_E.PDF)
7. Johannesburg Declaration on Sustainable Development, A/CONF.199/20, Chapter 1, Resolution 1, Johannesburg, September 2002. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
[http://www.who.int/mediacentre/events/HSD\\_Plaq\\_02.8\\_def1.pdf](http://www.who.int/mediacentre/events/HSD_Plaq_02.8_def1.pdf)
8. Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development, A/CONF.199/20, Chapter 1, Resolution 2, Johannesburg, September 2002. [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
[http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD\\_POI\\_PD/English/WSSD\\_PlanI mpl.pdf](http://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/WSSD_PlanI mpl.pdf)

9. Герасимчук З. В. Научные исследования экологической безопасности как фактора устойчивого развития // Экономика Украины. – 2001. – № 11. – С. 62–65.
10. Деньга В. О понятиях экобезопасности и экориска // Управление риском. – 2000. – № 4. – С. 41–42.
11. Ісаєнко В. М. Екологічна безпека – основний чинник еколого-збалансованого розвитку України у ХХІ столітті / В. М. Ісаєнко, Г. О. Білявський // Екологічний вісник. – 2007. – № 4. – С. 14–17.
12. Качинський А. Б. Екологічна політика й екологічна безпека України // Екологічний вісник. – 2006. – № 1. – С. 24–26.
13. Stavins R.; Wagner A.; Wagner G. Interpreting Sustainability in Economic Terms: Dynamic Efficiency Plus Intergenerational Equity. // Economic Letters. – 2003. – 79 (3). P. 339–343. doi:10.1016/S0165–1765(03)00036–3.
14. Finn Donovan. Our Uncertain Future: Can Good Planning Create Sustainable Communities? (Dissertation) // Champaign–Urbana: University of Illinois. Local Environment – 2009. – 16:4. – pp. 397–416
15. Liam Magee; Andy Scerri; Paul James; James A. Thom; Lin Padgham; Sarah Hickmott; Hepu Deng; Felicity Cahill. Reframing social sustainability reporting: Towards an engaged approach // Environment, Development and Sustainability. University of Melbourne. – 2013. – 15. – 225–243. doi:10.1007/s10668–012–9384–2.
16. Lynn R. Kahle, Eda Gurel–Atay, Eds. Communicating Sustainability for the Green Economy.// New York: M.E. Sharpe. – 2014. – 121 ISBN 978–0–7656–3680–5.
17. Shaker R.R. The spatial distribution of development in Europe and its underlying sustainability correlations. // Applied Geography. – 2015. – № 63. – pp. 304–314. doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.07.009 pg305
18. Blewitt John. Understanding Sustainable Development (2nd ed.).// London: Routledge. – 2015. – P. 232 ISBN 9780415707824.

19. Maria Vagasi. Integration of the sustainability concept into strategy and marketing // *Periodica Polytechnica Ser. Soc. Man. Sci.* – 2004. – Vol. 48. – № 2. – P. 245–260.
20. Урсул А.Д. Устойчивое развитие и безопасность / А.Д. Урсул, Т.А. Урсул // М.– 2013.– 86 с.
21. Большеротов А.Л. Система оценки экологической безопасности строительства. / А.Л.Большеротов – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 216 с
22. Данилова–Данильян В.И. Экология, охрана природы и экологическая безопасность / В.И. Данилова–Данильян // МНЭПУ.– 1997. – 744 с.
23. Фролов К.Ф. Экологическая безопасность, устойчивое развитие и природоохранные проблемы / К. Ф. Фролов // МГФ "Знание".– 1999. – 704 с.
24. Масленникова И.В. Управление экологической безопасностью / И.В. Масленников // С.–П.: Из–во гос. у–та.– 2001. – 130 с.
25. Ricroft R.V., Regens J.L., Dietz T. Incorporating risk assessment and benefit–cost analysis in environmental management // *Risk Analysis* – 1998.– Vol.8, № 3.– P.415–420.
26. Barnett J. The Meaning of Environmental Security: Ecological Politics and Policy in the New Security Era. – London : Zed Books. – 2001 – 184 P.
27. Barry J. and Eckersley, R. (eds). The State and the Global Ecological Crisis. – Cambridge : MA: MIT Press, 2005 – 230 p.
28. Brenton T. The Greening of Machiavelli: The Evolution of International Environmental Politics. London : Earthscan, 1994 – 450 p.
29. Ферару Г.С. Методические подходы к формированию и реализации региональной экологической политики // *Вопросы государственного и муниципального управления*, 2011. – № 1. – С. 28–29.
30. O'Neill K. The Environmental and International Relations. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. – 245 p.
31. Шмандий В.М. Теоретические и практические основы управления техногенной безопасностью на региональном уровне / В.М. Шмандий //

Захист довкілля від антропогенного навантаження // Зб.наук.праць. – Кременчук, 2001. – Вип.4(6). – С.95–100.

32. Шмандій В.М. Управління екологічною безпекою на регіональному рівні(теоретичні та практичні аспекти) / В.М. Шмандій // Дисс. д. т. н. – Харків.– 2003. – 356 с

33. Петрук В.Г., Клименко М.О., Мудрак О.В. Вступ до фаху. Підручник для студентів напряму підготовки 6.040106 “Екологія, охорона навколишньогосередовища та збалансоване природокористування”. – Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2011. – 203 с.

34. Екологічна безпека: Підручник / Шмандій В.М., Клименко М.О., Голік Ю.С., Прищеп А.М., Бахарєв В.С., Харламова О.В. – Херсон: Олді–плюс, 2013. – 366 с.

35. Качинський А.Б. Екологічна безпека України : системний аналіз перспектив покращення / А.Б. Качинський – К.: НІСД.– 2001. – 312с.

36. Іванюта С.П., Екологічна та природно–техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків / С.П. Іванюта, А.Б. Качинський // К.: НІСД.– 2012.– 308 с.

37. Хлобистов Є.В. Екологічна безпека і засади визначення ризику техногенних катастроф // Економіка України. – 2000. – № 6. – С. 38–46.

38. Боков В.А. Основы экологической безопасности / В.А. Боков, А.В. Лущик // Симферополь: СОНАТ.– 1998. – 224с.

39. Яценко Л.Д.. Індикатори стану екологічної безпеки держави / Л.Д. Яценко // [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/993/>

40. Козуля Т.В. Теоретико–практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об’єктових систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – № 01 (011).– С. 37–45.

41. Дегодюк Е.Г., Дегодюк С.Е. Еколого–техногенна безпека України. – К.: ЕКМО, 2006. – 306 с.

42. Сівак В.К., Солодкий В.Д. Основи екологічної безпеки територій та акваторій. – Чернівці: Зелена Буковина, 2000. – 155 с.
43. Шмандій В.М., Шмандій О.В. Екологічна безпека – одна з основних складових національної // Екологічна безпека, 2008. – № 1. – С. 9–15
44. Синякевич И. Концепция по формированию системы инструментов национальной экологической политики // Экономика Украины. – 2002. – № 7. – С. 70–77.
45. Хіміч О. Екологічна безпека як елемент національної безпеки // Право України. – 2002. – № 11. – С. 44–48.
46. Косовцев В.О. Національна безпека України: проблеми та шляхи реалізації пріоритетних національних інтересів] / В.О. Косовцев, І.Ф. Бінько // – К.: НІСД.– 1996. – 61 с.
47. Мюррей Р. Цель – Zero Waste. / Р. Мюррей [пер. с англ. В. О. Горницкого]. – М.: ОМННО «Совет Гринпис», 2004. – 232 с.
48. Jackobsen H. Case studies on waste minimization practices in Europe / H. Jackobsen, M. Kristoferrsen // Topic report – European Topic Centre on Waste, February 2002. – European Environment Agency, 2002. – P. 35–42.
49. Сафранов Т.А., Приходько В.Ю., Шаніна Т.П. Проблема розміщення відходів на звалищах та полігонах Одеської області. // Вісник ХНУ ім.. В. Н. Каразіна, вип. 14. – 2016. – с. 83–90
50. Горох Н.П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов / Н. П. Горох // Коммунальное хозяйство городов: науч. – техн. сборник – К.: Техніка, 2005. – вып. 63. – С. 172–181.
51. Шаніна Т.П. Управління та поводження з відходами: підручник / Т.П. Шаніна, О.Р. Губанова, М.О. Клименко та ін. / за ред. Т.А. Сафранова, М.О. Клименко. – Одеса : Вид-во ТЕС, 2012. – 272 с.
52. Касимов А.М. Твердые бытовые отходы. Проблемы и решения. Технологии, оборудование: учебн. пособ. / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, А.Н. Александров, А.М. Коваленко. – Харьков: Изд-во ХНАГХ, 2006. – 301 с.

53. Сталінська І.В. Особливості екологічної безпеки у системі "тверді побутові відходи – навколишнє середовище – здоров'я людини" // Науковий вісник НЛТУ України. – 2016. – Вип. 26(7). – С. 238–244
54. Вайсман Я.И. и др. Управление отходами. Захоронение твердых бытовых отходов. Пермь: Пермский государственный технический университет, 2001. — 133 с. — ISBN 5–88151–291–X
55. Вамболь В.В. Идентификация источников формирования экологической опасности в местах несанкционированного скопления отходов // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2016. – № 1(96). – С. 122–128
56. Радовенчик В.М. Тверді відходи: збір, переробка, складування: [навч. посіб.] / В.М. Радовенчик, М.Д. Гомеля. – К.: Кондор, 2010. – 552 с.
57. Мальований М.С., Мянєвська М.Б., Бахарєв В.С. Склад та потенційні запаси вторинної сировини в твердих побутових відходах міста Житомира // Екологічна безпека. – 2013. – № 1(15). – С. 83–87
58. Сафранов Т.А., Шаніна Т.П., Губанова О.Р., Приходько В.Ю. Класифікація твердих муніципальних відходів – передумова формування ефективної системи поводження з їх потоками // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2014. – №18. – С. 32–37.
59. Микробиологическая характеристика свалочных грунтов / Я.И. Вайсман, Г.М. Батракова, Т.А. Зайцева, А.М.Зомарев // Сборник научных статей V Междунар. научно–практ. конференции «Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов», 8–9 апреля 2004 г., Одесса. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2004. – С. 59–64.
60. Орлова Т.А. Геоэкологическое изучение старых свалок твердых бытовых отходов / Т. А. Орлова // Материалы 1–ой Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 2004. – С. 86–88.
61. Шевченко О.А. Еколого–гігієнічна оцінка ступеню небезпеки території муніципальних звалищ та заходи щодо їх оздоровлення / О. А. Шевченко, Е.

- А. Деркачов // Проблеми збору, переробки та утилізації відходів: зб. наук. статей IV міжнар. наук.–практ. конференції. – Одеса: [б. в.], 2002. – С. 224–227.
62. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 році. – К. : Міністерство екології та природних ресурсів України, LAT & K. – 2015. – 258 с
63. Статистичний щорічник України за 2016 рік. Державна служба статистики України / За редакцією І. Є. Вернера. К., 2017 – 611 с.
64. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2016 році. – Одеса, 2017. – 248 с
65. Інституціональний розвиток сфери поводження з відходами в Україні: на шляху європейської інтеграції/ Видання здійснення за проектом технічної допомоги ЄС «Додаткова підтримка Міністерства екології та природних ресурсів України у впровадженні секторальної бюджетної підтримки. — Київ ДУ «ІЕПСР НАН України, 2013. – 192 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sbs-envir.org/images/documents/waste-book.pdf>
66. Директива 2001/42/ЄС Європейського парламенту та ради від 27 червня 2001 року про оцінку наслідків окремих планів та програм для довкілля. Офіційний вісник Європейських співтовариств, 2001 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://old.minjust.gov.ua/45875>
67. Europe in figures. Eurostatyearbook 2010 / [Eurostat]; Ed. by PiirtoJ. [et al.]. Luxemburg: Publication Officeof the European Union, 2010. – P. 657.
68. Закон України «Про відходи» від 5 березня 1998 р. // Відомості Верховної Ради України. – 1998. – № 36–37. – С.242–256.
69. Інтерактивна мапа. Міністерство екології та природних ресурсів України. Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecomapa.gov.ua/?layer=mvv>
70. Закон України «Про житлово–комунальні послуги». Відомості Верховної Ради, 2018 – № 1. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2189-19>



71. Ерошина Д.М., Ходин В.В., Зубрицкий В.С., Демидов А.Л. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах. Минск: «Бел НИЦ «Экология», 2010. – 152 с.
72. Державні будівельні норми України ДБН В.2.4–2–2005 «Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.stroynote.com.ua/construction-regulations/document-395.html>.
73. Горбатюк О.В., Минько О.И., Лифшиц А.Б., Елютина Н.Ю. Ферментеры геологического масштаба. // Микробиология/ М.: Природа, 1989. – №9. – С. 71–79.
74. Dernbach H, Henning KD. Purification steps for landfill gas utilization in cogeneration modules.// Resource Conservation, 1987 – vol. 14. – P. 273–82
75. Вайсман Я.И., Рудакова Л.В., Жилинская Я.Т. Процессы, протекающие на полигонах ТБО. // Твердые бытовые отходы. – 2008. – № 1. – с.14–19.
76. Орлова Т.А. Изучение химической загрязненности свалки твердых отходов г. Керчи / А. Т. Орлова // Сотрудничество для решения проблемы отходов: тезисы докладов II Международной конференции. – 9–10 февраля 2005 г., Харьков. – Х.: ИД «ИНЖЭК», 2005. – С. 310–314.
77. Краснянский М.Е. Расчет процесса биodeградации свалки ТБО / М. Е. Краснянский, А. Бельгасем, О. М. Калинихин // Сборник научных статей V Международной научно–практической конференции «Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов» – 8–9 апреля 2004 г., Одесса. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2004. – С. 224–228.
78. Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов по Межправительственной группы экспертов по изменению климата, / МГЭИК, 2006. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/0\\_Overview/V0\\_0\\_Cover.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf)
79. Поводження з відходами. Вимоги: ДСТУ 3911–99. – [Чинний від 01–01–2001]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 45 с.

80. Попович В.В. Пожежна небезпека стихійних сміттєзвалищ та полігонів твердих побутових відходів // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. Пожежна безпека №21, 2012 – с. 140–147
81. Миркасімова В.Р., Молчанова Р.А., Байков І.Р., Хатмулліна Р.М. Исследование атмосферного воздуха полигона по депонированию отходов с целью определения пожаро– и взрывоопасности // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2013. – №5 – с. 433–444
82. Barlaz M. A. Methane production from municipal refuse. / M. A. Barlaz, R. K. Ham // Critical reviews in environmental control, 1990. – V 19. –P. 3–6.
83. Гелету́ха Г. Г. Перспективы строительства систем сбора и утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов Украины / Г. Г. Гелету́ха, Ю. Б. Матвеев, М. Н. Уланов // Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов: сборник научных статей V Международной научно–практической конференции. – 8–9 апреля 2004 г., Одесса. – Одесса: ОЦНТЭИ, 2004. – С. 133–142.
84. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 5 Volumes / [TFI IPCC]; edited by H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe – Nayama: IGES, 2006. – Vol. 5. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>
85. Ukraine's greenhouse gas inventory 1990–2016. Draft. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. / Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. К., 2018 – 393 с.
86. Бе́ляева Ю.Л., Бе́ляков Д.В. Геологические процессы на полигонах.Образование фильтрата. // Твердые бытовые отходы, № 6, 2009 г., с.32–33.
87. Baccini P. The landfill. Reactor and Final Storage / P. Baccini // Presented at the Swiss Workshop on Land Disposal. Conference center Gerzensee. Switzerland, 1988. V 34. – P. 43–49.

88. Вайсман Я. И. Биодegradация загрязняющих веществ в фильтрационных водах / Я. И. Вайсман, Т. А. Зайцева, Л. В. Рудакова // Экология и промышленность России. – 2000. – № 4. – С. 45–48.
89. Кашковский В. И. Сточные воды свалок твердых бытовых отходов: проблемы решения / В. И. Кашковский, В. В. Войновский // Сотрудничество для решения проблемы отходов: междунар. Конференция. – Харьков, 2009. – №5. – С. 39–45.
90. Мальований М. С. Утилізація дренажних вод полігонів твердих побутових відходів / М. С. Мальований, Н. Ю. Малик, В. В. Рошко // І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: збірник матеріалів міжнар. наук.–практ. конференції. – 4–7 жовтня 2006 р.; Вінниця. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. – С. 32.
91. Almutairi A. Intensification of ammonia removal from waste water in biologically active zeolitic ion exchange columns / A. Almutairi , L.R. Weatherley // J. Environ. Manage. – 2014. – Vol. 2. – P. 128–138.
92. Sagdeeva O.A., Krusir G.V. Effect of filtrate from the MSW landfills on the quality of decentralized drinking water supply sources // Тези доповідей науково–практичної конференції «Вода в харчовій промисловості» (Одеса, 3–4 квітня 2018 р.) – Одеса, 2018. – С. 145–148.
93. Thermal and mechanical stabilization process of the organic fraction of the municipal solid waste. / P. Giudicianni, P. Bozza, G. Sorrentino, R. Ragucci // Waste Manag. – 2015. – Vol 21. – P. 245–249.
94. Гонопольский А.М., Мурашов В.Е., Кожевникова Л.М., Самарь О.Б. Полигонные грунты: пути реабилитации.//Твердые бытовые отходы, № 4, 2008 г., с. 22–27.
95. Харламова О.В. Теоретичні основи управління екологічною безпекою техногенно навантаженого регіону / О. В. Варламова, М. С. Мальований, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека. – 2012. – вип. 1(13).– С. 9–12.

96. Young P.J. The identification and possible environmental impact of trace gases and vapors in landfill gas. / P. J.Young, A. Parker // Waste Manage. Res., 1983. – № 1. – С. 213–226.
97. Бойко Т.В. Кількісні показники оцінки техногенної безпеки об'єктів / Т. В. Бойко // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 1/2(37). – С. 14–17.
98. Крусир Г.В. Индексная оценка экологической опасности винодельческих предприятий / Г.В. Крусир, И.С. Крестинков, И.Ф. Соколова // Екологічна безпека. – Кременчук.– 2013.–№ 1/2013(15).– С.96–98.
99. Крусир Г.В. Особливості застосування індексних показників при оцінці рівня екологічної небезпеки промислових підприємств / Г.В. Крусир, І.Ф. Соколова, Г.В. Кіріяк // Міжнародна наукова конференція, присвячена 130–річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості». – Київ. – 2014.– С. 717.
100. Абрамова А.О. Индексна оцінка рівня екологічної безпеки проєктованих промислових об'єктів / А.О. Абрамова // Technology auditand production reserves.–2012.– №6, 1(8).– С. 39–40.
101. Шмандий В.М. Оценка техногенной опасности, формируемой промышленными предприятиями / В.М. Шмандий, А.Л. Старовойда // Вісник КДПУ: Наукові праці КДПУ.– 2002.– № 2(13).– С.77–80.
102. Статюха Г.А. К вопросу количественной оценки загрязнения атмосферного воздуха в системе ОВОС / Г.А. Статюха, И.Б. Абрамов , Т.В. Бойко, А.А. Ищишина // Восточно–Европейский журнал передовых технологий.– 2008.–№1/3(31).– С.36–39.
103. Статюха Г.О. Розробка методики оцінки небезпечних видів діяльності промислових підприємств (Т. 1) / Г.О. Статюха, Т.В. Бойко, В.І. Бендюг // Екологія і ресурси.– 2003.–№.7.– С.46–54.
104. Ritthoff M. Calculating MIPS: Resource Productivity of Products and Services / M. Ritthoff // Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, 2002. [Електронний ресурс]. Режим доступу:

[http://www.wupperinst.org/uploads/tx\\_wibeitrag/ws27e.pdf](http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/ws27e.pdf).

105. Ali Rajaeifar M. Data supporting the comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios./ M. Ali Rajaeifar, M. Tabatabaei, H. Ghanavati // Data Brief. – 2014. – Vol. 20. – P. 189–194

106. Тимошенко С.А., Дудар Т.В. Аналіз впливу на довкілля паперових відходів Києва та Львова та технологій їх утилізації із використанням методу оцінки життєвого циклу // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2013. – № 1(78). – С. 104–108

107. Winkler J. Comparative Evaluation of Life Cycle Assessment Models for Solid Waste Management: dissertation/ Jan Winkler; Technische Universität Dresden, in: Beiträger zu Abfallwirtschaft/Altlasten, Band 36 – Dresden, 2004. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://europepmc.org/abstract/med/17428652>

108. Grant T. Life Cycle Assessment of Waste and Resource Recovery Options (including energy from waste) / T. Grant, K. James, and H. Partl. – Report to EcoRecycle Victoria, 2003. – 111 p.

109. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. UKRAINE'S GREENHOUSE GAS INVENTORY 1990–2016 / /Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Kyiv, 2018 – 393 p.

110. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories / edited by Jim Penman [et. all.] – Hayama: IGES, 2000. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.wbcsdcement.org/pdf/tf1/Table\\_of\\_contents.pdf](https://www.wbcsdcement.org/pdf/tf1/Table_of_contents.pdf) 4887880006

111. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: 3 Volumes / IPCC. – 1996. – Vol.2: Greenhouse Gas Inventory: Workbook. – 1996. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/2006GLs\\_scoping\\_meeting\\_report\\_final.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/meeting/pdfiles/2006GLs_scoping_meeting_report_final.pdf)

112. Шмарин С. Л., Сливинская В. В., Ремез Н. С., Филозоф Р. С., Нахшина А. Д., Михайленко В. П. Влияние климатических факторов на оценку

выбросов парниковых газов с мест захоронения твердых бытовых отходов в Украине // Фізична географія та геоморфологія. – 2014. – Вип. 2(79). – С. 133–140.

113. Шмарин С.Л. Содержание биоразлагаемых компонентов в составе твердых бытовых отходов в Украине / Шмарин Сергей, Алексеевец Иван, Филозоф Роман, Ремез Наталья, Денафас Гинтарас // Экология и промышленность. – 2014. – №1. – С. 73 – 77.

114. Шмарин С.Л. Исследование содержания биоразлагаемого углерода в пищевых отходах Украины в городе Борисполе / Шмарин Сергей // Научно–практический журнал «Экологические науки». – 2015. – № 3–4 (10–11).– С. 296–306.

115. Шмарин С.Л. Анализ инвентаризации парниковых газов с мест захоронения твердых бытовых отходов в Украине / Шмарин Сергей, Тимошук Александр, Ремез Наталья // Вестник НТУУ «КПИ», серия «Горное дело». – 2014. – № 25. – С. 165–170.

116. Шмарин С.Л. Тенденции внедрения систем утилизации свалочного газа на полигонах твердых бытовых отходов в Украины / Шмарин Сергей, Ремез Наталья // Тезисы докладов VIII международной научно–практической конференции «Энергетика. Экология. Человек». – НТУУ «КПИ». – Киев. – 2016. – С. 29–31.

117. Исследование газообразования на наиболее крупных полигонах ТБО и переход на трехкомпонентную национальную модель расчетов выбросов ПГ от свалок ТБО в Украине» : отчет о НИР / Матвеев Ю. Б. [и др.]. № госрегистрации 0112U001577. – К., 2012. – 141 с.

118. Матвеев Ю.Б., Пухнюк А. Ю. Полигоны бытовых отходов: ситуация и перспективы // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 6. – С. 37–42. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://uabio.org/img/files/news/pdf/msw-landfills-situation-matveev-pukhniuk.pdf>

119. Пухнюк А.Ю. Исследование газообразования на старых украинских полигонах твердых бытовых отходов // Пром. теплотехника. – 2011. – Т. 34 (№ 4). – С. 83–93.
120. Swapura Ganguli G. Alex Stege (Eds). Ukraine Landfill Gas Model Ver.1.0: User's Manual. U.S. EPA. Wash–ington: U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program. – 2009. – 28 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.globalmethane.org/documents/toolsres\\_lfg\\_manual.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/toolsres_lfg_manual.pdf)
121. Stege A.G. Steps towards initiating LFGutilization projects in developing countries – planning process, LFG models, and managingproject expectations. // Proceedings of Methane toMarkets Partnership Expo, Delhi, India. – 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.globalmethane.org/expo\\_india10/docs/postexpo/landfill\\_stege.pdf](http://www.globalmethane.org/expo_india10/docs/postexpo/landfill_stege.pdf).
122. Coops O., Luning L., Oonk H., Weenk A. Validation of landfill gas formation models //Proceedings from Sardinia 1995 Fifth International Landfill Symposium, Cossu/Stegmann (Eds.),CISA publisher. – 1995. – P. 635–746.
123. Methodological tool «Tool to determinemethane emissions avoided from disposal of wasteat a solid waste disposal site» (Version 05.1.0) //UNFCCC CDM Executive Board, EB 61 Report,Annex 10. – 2011. – P.1–9. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cdm.unfccc.int>.
124. Скрипник А.П. Анализ морфологического состава твердых бытовых отходов Украины как составляющая подхода к решению проблемы отходов // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2007. – вип. 4. – С. 78–86.
125. Волынкина Е.П., Домнин К.И. Математическая модель для прогнозных расчетов образования и извлечения свалочного газа на закрытых свалках ТБО Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2014. – № 3(9). – С. 62–70.
126. Just R.E, Alston J.M., Zilberman D. Regulating agricultural biotechnology economics and policy / SpringerVerlagpublishers, 2007. – 725p

127. Carlsson B., Jacobsson S., Holmm M., Rickne A. Innovation systems: analytical and methodological issues. // *Research Policy*. — 2002. — v. 21 — P. 233–245.
128. Зайцева Т.А. Управление полигонами ТБО на основе биотехнологических принципов// *Экология и промышленность России*. — 2011. — № 5. — С. 35–40
129. Крусір Г.В. Дослідження режимів процесу анаеробного зброджування стічних вод м'ясопереробного підприємства у мезофільних умовах / Г. В. Крусір, О. О. Чернишова, В. М. Поліщук // *Екологічна безпека*. — 2016. — Вип. 2. — С. 112–117. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez\\_2016\\_2\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekbez_2016_2_18)
130. Елизаров А.И. Природоохранный и энергосберегающий аспекты утилизации синезеленых водоростей / А.И.Елизаров, В.В.Никифоров // *Матер. VII НТК „Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів”*. — Кременчук–Хургада, 2008. — С.87–90.
131. Barrena R., Vazquez F., Sanchez A. Dehydrogenase activity as a method for monitoring the composting process / *Bioresour. Technol.* — 2008. — Vol. 99. — P. 905–908.
132. Городний Н.М., Мельник И.А., Повхан М.Ф. Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. Киев: Урожай, 1990. — С. 111–164.
133. Гармаш С.Н. Экологический способ утилизации растительных отходов АПК методом вермикюльтивирования // *Вісник Дніпропетровського аграрного університету*. — Дніпропетровськ, 2003. — № 2. — С. 65–68.
134. Atiyeh R.M., Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D., Shuster W. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil // *Pedobiologia*. — 2000. — Vol. 44. — P. 579–590.
135. Кулик А.П., Гармаш С.Н. Технология переработки отходов сельскохозяйственного производства // *Новости Украинского общества инженеров и механиков. Бюллетень*. — 2000. — Т. 2. — № 1, 2. — С. 55–56.



136. Горобець О.В. Перспективні напрями утилізації органічних відходів / О. В. Горобець, В. А. Галіцький // Наука. Молодь. Екологія – 2016 : зб. матеріалів XII Всеукр. наук.–практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 27 трав. 2016 р. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – С. 97–102.
137. Howard A, Yeshwant D. W. The Waste Products of Agriculture. 3d ed. London: Oxford University Press, 2011. – 138 p.
138. Kuhlman L.R. Window composting of agricultural and municipal wastes // Resources, Conservation and Recycling. – 1990. – Т.4. – № 1 – Р. 151–160. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.404.4329&rep=rep1&type=pdf>
139. Parr J.F., Epstein E., Willson G. B. Composting sewage sludge for land application // Agriculture and Environment. – 1978. – Vol. 4. – № 2. – Р. 123–137. doi.org/10.1016/0304–1131(78)90016–4
140. Гаценко М.В. Компостування органічної речовини. Мікробіологічні аспекти // Сільськогосподарська мікробіологія. – 2014. – Т. 19. – № 1. – С. 11–20
141. Лінник М.Г., Семчук М.М. Технології і технічні засоби виробництва та використання органічних добрив. Ніжин, 2012. – 244 с.
142. Ляшенко О.О., Мовсесов Г.Є. Технологія та устаткування прискореного компостування органічних відходів // Сотрудничество для решения проблемы отходов: материалы III міжнародної конф., Харків, 7–8 лют. 2006 р. – С. 88–89.
143. Шацький В.В., Поволоцький А. А. Основні вимоги до процесу та біотехнічної системи компостування органічної сировини // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2015. – Т. 157. – С. 140–146.
144. Аналіз і обґрунтування технологічних процесів компостування сільськогосподарських органічних відходів тваринного походження /

Павленко С.І. та ін. // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – Т. 9. – № 2. – С. 94–104.

145. Ляшенко О.О. Методологія готування збалансованих сумішей органічних відходів перед компостуванням // 4-а Міжнародна конференція «Сотрудничество для решения проблемы отходов» 31 января – 1 февраля 2007 г., Харьков, Украина. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://waste.ua/cooperation/2007/theses/lyashenko.html#author>

146. Yong Xiao, Guang-Ming Zeng, Zhao-Hui Yang. Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste // *Bioresource Technology*. – 2009. – Т. 100. – № 20. – С. 4807–4813. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.05.013

147. Kulcu R., Yaldiz O. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes // *Bioresource Technology*. – 2004. – № 93. – Р. 49–57. DOI: 10.1016/j.biortech.2003.10.007

148. Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter / Pedra F. та ін. // *Soil biology and biochemistry*. – 2007. – Vol. 39. – № 6. – Р. 1375–1382.

149. Langfristing Emissionsgeschehen von Siedlungsabfalldeponien: Dissertation / Klaus Kruse Braunschweig: TUCW, 1994. – 228 p.

150. Spendlin H.-H. Untersuchungen im Labormaßstab zur Beschleunigung der anaeroben biochemischen Umsetzungsprozesse in Muldeponien. / H.-H. Spendlin, R. Stegmann – Hamburg: BMFT Forschungsbericht Feste Abfallstoffe, 1988. – 71 p.

151. Черемисин А.В. Автоматизированный учебно-научный комплекс «Биореактор» для исследования процессов биоразложения твердых бытовых отходов / А. В. Черемиси, М. П. Федоров, В. И. Масликов // *Региональная экология*. – 2001. – № 3–4. – С. 51–54.

152. Крусір Г.В. Організація екологічного контролю підприємства експертним методом / Г.В. Крусір, І.П. Кондратенко // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Економічні та управлінські*

аспекти розвитку підприємств в харчовій промисловості». – Одеса, ОНАХТ, 2013. – с.212–213.

153. Проект городская свалка «Дальницкие карьеры». Т.1 Инженерные изыскания (в 2х книгах), Книга 1 «Пояснительная записка». Днепропетровск: ЗАТ Институт «Дніпрокомунпроект», 2012. – 51 с.

154. РД 52.04.186–89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы». [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.centrattek.ru/media/ckeditor\\_uploads/2015/08/07/5204186–89.pdf](https://www.centrattek.ru/media/ckeditor_uploads/2015/08/07/5204186–89.pdf)

155. Перелік методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів, скидів, тимчасово допущених до використання / Мінекоресурсів України. – К., 2007. – 69 с.

156. Перелік методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, викидів, відходів і скидів, тимчасово допущених до використання Мінекоресурсів України. / Мінекоресурсів України. – К., 2003. – 48 с.

157. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Издание 2–е исправленное. – М.: Химия, 1973. – 376 с.

158. Fierer N., Jackson R.B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities // PNAS. – 2006. – Vol. 103. – № 3. – С. 626–631.

159. Нетрусов А.И. Практикум по микробиологии: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2005. – 608 с.

160. Harrison B.I. Seed deterioration in relation to storage conditions and its influence upon seedgermination, chromosomal damage and plant performance // J. nat. Inst. Agric. Bot. – 1966. – № 10. – С. 644–633.

161. Самофалова И.А. Лабораторно–практические занятия по химическому анализу почв: учебное пособие. Пермь: Изд–во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 133 с.

162. Blair G., Lefroy R., Whitbread A., Blair N., Conteh A. The development of the KMnO<sub>4</sub> oxidation technique to determine labile carbon in soil and its use in a

carbon management // Assessment methods for soil carbon. Lewis publishers, Boca Raton. – 2001. – № 1. – С. 323–337.

163. ДСТУ 4731:2007 Якість ґрунту. Методи визначання водорозчинної органічної речовини. Київ, Держспоживстандарт України, 2006 – 15 с.

164. ДСТУ ISO 11261:2001. Якість ґрунту. Визначання загального вмісту азоту. Модифікований метод К'ельдаля: чинний від 2001–04–01. – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 9 с.

165. Теппер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Дрофа, 2004. – 275 с.

166. Донченко Э.В. Идентификация экологических аспектов деятельности горнодобывающих предприятий по отработке месторождений глини Донбасса / Э.В. Донченко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України.–2013.– № 13.– С. 323–338.

167. ДСТУ ISO 14001 :2006. Системи екологічного менеджменту. Вимоги і настанови щодо застосування: [Введ. 15.05.2006]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с.

168. Фокин В.Н. Методика идентификации важных экологических аспектов / В.Н. Фокин, Е.И. Кислова. К.С. Дмитриева // Компетентность.– 2007. – № 8. – С. 38–41.

169. Крусир Г.В. Экологические аспекты винодельческих предприятий / Г.В. Крусир, А.В. Кириак, И.Ф. Соколова // Екологічна безпека №2/2011(12).– Кременчук.–2011.– С. 128–132

170. Методика визначення ризиків і їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, затверджена Наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12.2002, № 637. Київ, 2002. – 49 с.

171. Муравых А.И. Синергетический подход к управлению экологической безопасностью / А. И. Муравых // Право и безопасность, 2004. – №3(12). – [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://dpr.ru/pravo/pravo\\_9\\_26.htm](http://dpr.ru/pravo/pravo_9_26.htm).

172. МВ 2.1.7.730–99 / Гігієнічна оцінка якості ґрунту населених місць.
173. МВ 3–14–2/1139 / Методики визначення розмірів шкоди від деградації ґрунтів і земель від 29 липня 1994 р.
174. Гигиеническая оценка загрязнения атмосферы выбросами мусоросжигательного производства и предложения по ее оздоровлению / Информационное письмо Республиканского центра научной медицинской информации. – К.: Укрмединформ, 1992. – Вып. 4. – 2 с.
175. Сарапіна М.В. Еколого–токсикологічний ризик професійного захворювання пожежників внаслідок ліквідації пожеж на звалищах. Комунальне господарство міст, 2017. – вип. 139. – с. 73–78
176. Лапицкий В.Н. Экологические последствия термической переработки твердых бытовых отходов / В. Н. Лапицкий, Е. А. Борисовская, В. И. Гончаренко // Техногенно–екологічна безпека та цивільний захист. – К.: Ін–т геохімії навколишнього середовища НАН України, 2010. – Вип. 1. – С. 80–83.
177. Крылов А.И. Определение приоритетных органических токсикантов при санитарно–химической и экологической экспертизах: Методологические подходы и методическое обеспечение / А. И. Крылов // М.: Рос. хим. ж, 2004. – Т. VIII. – № 2. – С. 54.
178. Скорик Ю.И. Меры по снижению пожароопасности бытовых отходов / Ю. И. Скорик // Техника и оборудование. Твердые бытовые отходы. – 2010. – № 11. – С. 42–43
179. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Определение уровней рисков, связанных с аварийными разливами из крупнотоннажных хранилищ. Холодильная техника и технология. Одеса: ОНАХТ. – 2010. – №4 (126). – С. 39–45.
180. Владимиров В.А., Воробьев Ю.Л., Салов С.С. и др. Управление риском. – М.: Наука, 2000. – 431 с.
181. Токарев Д.В. Оценка вероятности возникновения аварий нанефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических предприятиях

Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа.: Нефтегазовое дело, 2005. – 12 с.

182. Маршалл В.К. Основные опасности химических производств. М.: Мир, 1989 – 671 с.

183. Рябов Ю.В. Разработка универсальной методики расчёта экологического риска возникновения пожара на несанкционированных свалках. Геоонкурс 2011: Исследование пожарной динамики на основе данных дистанционного зондирования. [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://gis-lab.info/projects/geokonkurs2011>

184. Клімат України /За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.

185. Margarida C., Bordado M. and Rosa M. Quinta-Ferreira Air Pollution Control in Municipal Solid Waste Incinerators // The Impact of Air Pollution on Health, Economy, Environment and Agricultural Sources // Dr. Mohamed Khallaf (Ed.)// InTech, 2011. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.intechopen.com/books/the-impact-of-air-pollution-on-health-economy-environment-and-agricultural-sources/air-pollution-control-in-municipal-solid-waste-incinerators> DOI: 10.5772/17650.

186. ОНД–86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. – 68 с.

187. Willem van Loo. Dioxin. Furan formation and release in the Cement Industry // Proc. IV PCB Workshop “Recent Advances in the Environmental Toxicology and Health Effects of PCBs” (Zakopane, Poland 6–10.09.2006). – Katowice: Uniwersytet Śląski, – 2006. – P.12–23

188. МР Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Затверджено Наказом МОЗ від 13.04.2007 № 184. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07>

189. Khalil A.I. Monitoring of microbial populations and their cellulolytic activities during the composting of municipal solid wastes / A.L Khalil, M.S. Beheary, E.M. Salem // World journal of microbiology and biotechnology. – 2001. – № 17. – P. 155–161.
190. Mondini C. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process / C. Mondini, F. Fornasier, T. Sinicco // Soil biology and biochemistry. – 2004. – № 36. – P. 1587–1594.
191. Manios T. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete] / T. Manios // Environment International. – 2004. – №29. – P. 1079–1089.
192. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost / M. Benito et al. // Biol, fertil. soils. – 2003. – № 37. – P. 184–189.
193. Ghosh S. Composting of cellulose hospital solid waste: a potentially novel approach / S. Ghosh, B.P. Kapadnis, N.B. Singh // International biodeterioration and biodegradation. – 2000. – V. 45. – P. 89–92.
194. Microbial characterization during composting of municipal solid waste / A. Hassen et al. // Bioresource technology. – 2001. – V. 80. – P. 217–225
195. Мишустин Е.Н. Ассоциация почвенных микроорганизмов / Е.Н. Мишустин. – М.: Наука, 1975. – 105 с
196. Рабинович М.Л. Производство этанола из целлюлозосодержащих материалов: потенциал российских разработок / М.Л. Рабинович // Прикладная биохимия и микробиология. – 2006. — Т. 42. — № 1. – С. 5–32.
197. Емцев В.Т. Микробиология: учебник для вузов / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – 5-е изд., перерад. и доп. – М.: Дрофа, 2005. – 446 с
198. Boulter–Bitzer J.I. A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens / J.I. Boulter–Bitzer, J.T. Trevors, G.J. Boland // Applied soil ecology. – 2006. — № 34. – P. 65–81
199. Maturity indices for composted dairy and pig manures / P. Wang et al. // Soil biology and biochemistry. – 2004. – V. 36. – P. 767–776

200. Zmora–Nahum S. Physico–chemical properties of commercial composts varying in their source materials and country of origin / S. Zmora–Nahum, Y. Nadar, Y. Chen. –2007. – P. 1–14.
201. Касатиков В.А. Использование ОСВ и компостов из твердых бытовых отходов / В.А. Касатиков // Охрана окружающей среды: химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 11. – С. 39–41.
202. Support Document for Compost Quality Criteria (CAN/BNQ 0413–200). [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<http://www.compost.org/compostqualitydoc.pdf>
203. Norbu T. Pretreatment of municipal solid waste prior to landfilling / T. Norbu, C. Visvanathan, B. Basnayake // Waste management. – 2005. – V. 79. – P. 98–112.
204. Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity / S. Zmora–Nahum et al. // Soil biology and biochemistry. – 2005. – V. 37. – P. 2109–2116.
205. Estimation of maturity of compost from food wastes and agro–residues by multiple regression analysis / M. Chikae et al. // Bioresource technology. – 2006. – № 97. – P. 1979–1985.
206. МР «Побутові відходи. Технологія перероблення органічної речовини, що є у складі побутових відходів». СОУ ЖКГ, 03.09–014:2010. Видання офіційне, Київ, 2010 – 39 с.



## ДОДАТОК А

### ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗВАЛИЩА ТПВ НА ДОВКІЛЛЯ ЕКСПЕРТНИМ МЕТОДОМ

Якісним експертним методом оцінки впливу на навколишнє середовище (матриця Леопольда) визначено потенційний вплив звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» на компоненти довкілля.

Система складається з матриці з колонками, які представляють різні стадії життєвого циклу і ряди, які представляють розглянуті екологічні аспекти. Комірки заповнено балами, які представляють собою оцінку ступеня впливу звалища на компоненти довкілля:

- відсутній (0 балів);
- незначний (2 бали);
- помірний (5 балів);
- значний (10 балів).

Екологічні аспекти звалища ТПВ побудовано на схемах компонентного, матеріального, енергетичного та матеріально-енергетичного балансів, що дозволяє врахувати як реальний, так і потенційний вплив на компоненти довкілля:



**Рис. А1. Екологічні аспекти звалища ТПВ: вхідні, вихідні та ризикові**  
Оцінку виконано поетапно:



**Рис. А2. Балансова схема першої стадії ЖЦ звалища**

**Табл. А1 - Характеристика впливу стадії заповнення потужностей звалища на першій стадії життєвого циклу звалища ТПВ на елементи довкілля**

| Елементи довкілля |  | ТПВ, 258159 т/рік   |            |             |                   |          |          |                                       | стадії ЖЦ |      |                 |             | Відповідність | Оцінка |
|-------------------|--|---------------------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------|-----------|------|-----------------|-------------|---------------|--------|
|                   |  | Харчові та рослинні | макулатура | гума, шкіра | полімерні відходи | текстиль | деревина | інші, які не піддаються біодеструкції | утворення | збір | транспортування | складування |               |        |
| Кількість, т/рік  |  | 103005, 4           | 5679 5     | 4646, 9     | 20394, 6          | 11617, 2 | 3097, 9  | 58602, 1                              |           |      |                 |             |               |        |
| Повітря           | CO <sub>2</sub> -екв.                              | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 2               | 2           | 6             | С      |
|                   | CO   | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 2               | 2           | 6             | С      |
|                   | NO <sub>x</sub>                                    | 2                   | 0          | 2           | 2                 | 0        | 2        | 0                                     | 0         | 5    | 5               | 5           | 23            | С      |
|                   | SO <sub>2</sub>                                    | 2                   | 0          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 0         | 5    | 5               | 5           | 25            | С      |
|                   | CH <sub>4</sub>                                    | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 2        | 0                                     | 0         | 2    | 2               | 2           | 10            | С      |
|                   | NH <sub>3</sub>                                    | 2                   | 0          | 2           | 0                 | 0        | 2        | 0                                     | 0         | 5    | 5               | 5           | 21            | С      |
|                   | зважені частинки                                   | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 0         | 10   | 10              | 10          | 60            | С      |
|                   | діоксини   | 0                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 0           | 8             | С      |
|                   | відпрацьоване тепло                                | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 5    | 5               | 5           | 15            | С      |
|                   | пара   | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 5    | 5               | 5           | 15            | С      |
|                   | фтор-, хлорорг. сполуки                            | 0                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 2               | 2           | 14            | С      |
|                   | НМЛОС  | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 0         | 2    | 2               | 2           | 18            | С      |
| Вода              | БПК <sub>5</sub>                                   | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 4             | С      |
|                   | ХПК  | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 4             | С      |
|                   | кислоти/луги                                       | 0                   | 0          | 2           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 4             | С      |
|                   | N (NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 4             | С      |
|                   | нітрати  | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 6             | С      |
|                   | нітрити  | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 4             | С      |
|                   | орг. речовини                                      | 2                   | 2          | 0           | 0                 | 2        | 2        | 0                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 12            | С      |
|                   | солі   | 0                   | 2          | 2           | 0                 | 2        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 10            | С      |
|                   | важкі метали                                       | 0                   | 2          | 2           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 8             | С      |
|                   | зважені частки                                     | 2                   | 2          | 2           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 5               | 5           | 18            | С      |
| Ґрунти            | N  | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 2             | С      |
|                   | P  | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 2             | С      |
|                   | K  | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 2             | С      |
|                   | пестициди  | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 2           | 4             | С      |
|                   | важкі метали                                       | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 2                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 6             | С      |
|                   | галогенні речовини                                 | 0                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 14            | С      |
|                   | відпрацьоване тепло                                | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 2               | 2           | 6             | С      |
|                   | солі   | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 0               | 2           | 6             | С      |
|                   | відчуження ґрунтів                                 | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 5    | 5               | 10          | 20            | С      |
|                   | специфічні відходи                                 | 2                   | 2          | 2           | 5                 | 2        | 0        | 5                                     | 5         | 5    | 2               | 2           | 32            | С      |
| Твердий залишок   | інертні речовини                                   | 0                   | 0          | 0           | 2                 | 0        | 0        | 2                                     | 5         | 5    | 2               | 2           | 18            | С      |
|                   | горючі речовини                                    | 0                   | 5          | 2           | 5                 | 5        | 5        | 2                                     | 5         | 2    | 2               | 2           | 35            | С      |
|                   | токсичні речовини                                  | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 0        | 2                                     | 5         | 2    | 0               | 2           | 21            | С      |
|                   | електроенергія                                     | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 2                                     | 2         | 0    | 5               | 0           | 21            | С      |
| Споживання        | повітря  | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 2                                     | 2         | 0    | 0               | 0           | 16            | С      |
|                   | вода   | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 2                                     | 2         | 2    | 0               | 0           | 18            | С      |
|                   | ґрунт  | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 2                                     | 2         | 2    | 2               | 2           | 22            | С      |
|                   | техніка  | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 2                                     | 2         | 2    | 5               | 5           | 28            | С      |
|                   | шуми   | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 5               | 2           | 9             | С      |
| Інші              | вібрації   | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 2    | 5               | 2           | 9             | С      |

| Елементи довкілля |                                | ТПВ, 258159 т/рік   |            |             |                   |          |          |                                       | стадії ЖЦ |      |                 |             | Відповідність | Оцінка |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------|-----------|------|-----------------|-------------|---------------|--------|
|                   |                                | Харчові та рослинні | макулатура | гума, шкіра | полімерні відходи | текстиль | деревина | інші, які не піддаються біодеструкції | утворення | збір | транспортування | складування |               |        |
| Кількість, т/рік  |                                | 103005,4            | 5679,5     | 4646,9      | 20394,6           | 11617,2  | 3097,9   | 58602,1                               |           |      |                 |             |               |        |
| Ризик             | ізотопи                        | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 2                                     | 2         | 2    | 2               | 2           | 10            | С      |
|                   | використання с/г земель        | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 2        | 2                                     | 2         | 2    | 2               | 10          | 22            | В      |
|                   | будівництво                    | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 2                                     | 2         | 2    | 2               | 5           | 13            | С      |
|                   | мікроорганізми                 | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 2         | 2    | 0               | 2           | 8             | С      |
|                   | ГМО                            | 5                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 2         | 2    | 0               | 0           | 9             | С      |
|                   | електромагнітне випромінювання | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 2                                     | 2         | 2    | 2               | 2           | 10            | С      |
|                   | вибухонебезпечні речовини      | 0                   | 0          | 0           | 2                 | 0        | 0        | 2                                     | 0         | 0    | 0               | 0           | 4             | С      |
|                   | легкозаймисті речовини         | 0                   | 10         | 2           | 5                 | 5        | 5        | 2                                     | 2         | 2    | 0               | 2           | 25            | С      |
|                   | токсичні речовини              | 0                   | 2          | 2           | 5                 | 0        | 0        | 2                                     | 2         | 0    | 0               | 0           | 13            | С      |
|                   | небезпечні зараженням          | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 0           | 0             | С      |
|                   | гази, тиск                     | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0         | 0    | 0               | 0           | 0             | С      |
| Відповідність     |                                | 56                  | 52         | 47          | 53                | 43       | 39       | 42                                    | 46        | 106  | 93              | 136         |               |        |
| Оцінка            |                                | С                   | С          | С           | С                 | С        | С        | С                                     | С         | В    | В               | В           |               |        |

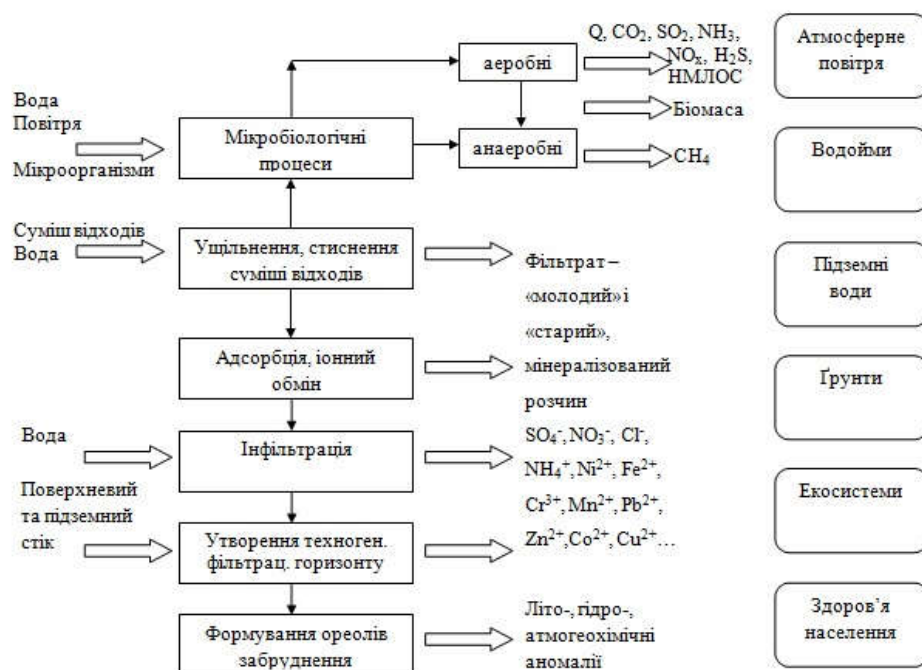


Рис. А3. Балансова схема другої та третьої стадій ЖЦ звалища



| Елементи довкілля |                                | ТПВ, 258159 т/рік   |            |             |                   |          |          |                                       | стадії ЖЦ  |              |                      |                        | Відповідність | Оцінка |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------|------------|--------------|----------------------|------------------------|---------------|--------|
|                   |                                | Харчові та рослинні | макулатура | гума, шкіра | полімерні відходи | текстиль | деревина | інші, які не піддаються біодеструкції | ущільнення | інфільтрація | аеробне зброджування | анаеробне зброджування |               |        |
| Кількість, т/рік  |                                | 103005,4            | 56795      | 4646,9      | 20394,6           | 11617,2  | 3097,9   | 58602,1                               |            |              |                      |                        |               |        |
| Ризик             | ізотопи                        | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 5                                     | 2          | 2            | 0                    | 0                      | 21            | C      |
|                   | використання с/г земель        | 10                  | 10         | 10          | 10                | 10       | 10       | 10                                    | 10         | 10           | 10                   | 2                      | 102           | B      |
|                   | будівництво                    | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0          | 0            | 0                    | 0                      | 0             | C      |
|                   | мікроорганізми                 | 5                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 5        | 0                                     | 2          | 2            | 10                   | 10                     | 42            | C      |
|                   | ГМО                            | 10                  | 0          | 0           | 0                 | 0        | 5        | 0                                     | 0          | 2            | 0                    | 0                      | 17            | C      |
|                   | електромагнітне випромінювання | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 2                                     | 0          | 0            | 0                    | 0                      | 2             | C      |
|                   | вибухонебезпечні речовини      | 0                   | 0          | 0           | 2                 | 0        | 0        | 2                                     | 5          | 0            | 5                    | 5                      | 19            | C      |
|                   | легкозаймисті речовини         | 2                   | 10         | 5           | 5                 | 10       | 10       | 2                                     | 5          | 0            | 10                   | 10                     | 69            | C      |
|                   | токсичні речовини              | 2                   | 5          | 5           | 10                | 5        | 2        | 2                                     | 0          | 10           | 10                   | 10                     | 61            | C      |
|                   | небезпечні зараженням          | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 2          | 10           | 10                   | 10                     | 34            | C      |
|                   | гази, тиск                     | 5                   | 0          | 0           | 2                 | 0        | 0        | 0                                     | 0          | 0            | 10                   | 10                     | 27            | C      |
| Відповідність     |                                | 274                 | 206        | 185         | 182               | 172      | 187      | 142                                   | 129        | 242          | 244                  | 178                    |               |        |

Табл. А3. Характеристика впливу стадії адаптації до стану довкілля

| Елементи довкілля |  | ТПВ, 258159 т/рік   |            |             |                   |          |          |                                       | стадії ЖЦ  |              |                      |                        | Відповідність | Оцінка |
|-------------------|--|---------------------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------|------------|--------------|----------------------|------------------------|---------------|--------|
|                   |  | Харчові та рослинні | макулатура | гума, шкіра | полімерні відходи | текстиль | деревина | інші, які не піддаються біодеструкції | ущільнення | інфільтрація | аеробне зброджування | анаеробне зброджування |               |        |
| Кількість, т/рік  |  | 103005,4            | 56795      | 4646,9      | 20394,6           | 11617,2  | 3097,9   | 58602,1                               |            |              |                      |                        |               |        |
| Повітря           | CO <sub>2</sub> -екв.                              | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 2        | 0                                     | 0          | 0            | 5                    | 2                      | 34            | C      |
|                   | CO   | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 2        | 0                                     | 0          | 0            | 5                    | 5                      | 37            | C      |
|                   | NO <sub>x</sub>                                    | 5                   | 2          | 2           | 0                 | 2        | 2        | 0                                     | 0          | 0            | 5                    | 0                      | 18            | C      |
|                   | SO <sub>2</sub>                                    | 5                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 0          | 0            | 5                    | 0                      | 20            | C      |
|                   | CH <sub>4</sub>                                    | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 0                                     | 0          | 0            | 2                    | 5                      | 37            | C      |
|                   | NH <sub>3</sub>                                    | 5                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 0          | 0            | 2                    | 5                      | 22            | C      |
|                   | зважені частинки                                   | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 5        | 5        | 5                                     | 5          | 0            | 0                    | 0                      | 28            | C      |
|                   | діоксини   | 2                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 0                                     | 0          | 0            | 5                    | 5                      | 37            | C      |
|                   | відпрацьоване тепло                                | 5                   | 5          | 5           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 2          | 0            | 5                    | 5                      | 33            | C      |
|                   | пара   | 5                   | 5          | 0           | 0                 | 2        | 2        | 0                                     | 5          | 0            | 5                    | 2                      | 26            | C      |
|                   | фтор-, хлорорг. сполуки                            | 2                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 2        | 5                                     | 0          | 0            | 5                    | 5                      | 39            | C      |
|                   | НМЛОС  | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 2        | 2                                     | 0          | 0            | 5                    | 2                      | 36            | C      |
| Вода              | БПК <sub>5</sub>                                   | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 2          | 5            | 5                    | 2                      | 26            | C      |
|                   | ХПК  | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 2          | 5            | 2                    | 5                      | 26            | C      |
|                   | кислоти/луги                                       | 5                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 5        | 5                                     | 2          | 5            | 5                    | 0                      | 35            | C      |
|                   | N (NH <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) | 5                   | 5          | 2           | 2                 | 2        | 5        | 0                                     | 2          | 5            | 2                    | 5                      | 35            | C      |
|                   | нітрати  | 5                   | 0          | 0           | 0                 | 2        | 2        | 0                                     | 2          | 5            | 5                    | 0                      | 21            | C      |
|                   | нітриди  | 5                   | 0          | 0           | 0                 | 2        | 2        | 0                                     | 2          | 5            | 5                    | 0                      | 21            | C      |
|                   | орг. речовини                                      | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 0                                     | 2          | 5            | 5                    | 5                      | 47            | C      |
|                   | солі   | 5                   | 2          | 5           | 2                 | 2        | 2        | 5                                     | 2          | 5            | 2                    | 2                      | 34            | C      |
|                   | важкі метали                                       | 2                   | 2          | 2           | 0                 | 2        | 0        | 5                                     | 2          | 5            | 0                    | 0                      | 20            | C      |

| Елементи довкілля |                                | ТПВ, 258159 т/рік   |            |             |                   |          |          |                                       | стадії ЖЦ  |              |                      |                        | Відповідність | Оцінка |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------|------------|--------------|----------------------|------------------------|---------------|--------|
|                   |                                | Харчові та рослинні | макулатура | гума, шкіра | полімерні відходи | текстиль | деревина | інші, які не піддаються біодеструкції | уцілювання | інфільтрація | аеробне зброджування | анаеробне зброджування |               |        |
| Кількість, т/рік  |                                | 103005,4            | 56795      | 4646,9      | 20394,6           | 11617,2  | 3097,9   | 58602,1                               |            |              |                      |                        |               |        |
| Грунти            | зважені частки                 | 5                   | 2          | 2           | 0                 | 2        | 2        | 5                                     | 2          | 5            | 0                    | 0                      | 25            | С      |
|                   | N                              | 5                   | 2          | 5           | 2                 | 5        | 5        | 0                                     | 2          | 5            | 2                    | 2                      | 35            | С      |
|                   | P                              | 5                   | 2          | 5           | 2                 | 5        | 5        | 0                                     | 2          | 5            | 2                    | 2                      | 35            | С      |
|                   | K                              | 5                   | 2          | 5           | 2                 | 5        | 5        | 0                                     | 2          | 5            | 2                    | 2                      | 35            | С      |
|                   | пестициди                      | 5                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 5        | 5                                     | 2          | 5            | 2                    | 2                      | 26            | С      |
|                   | важкі метали                   | 5                   | 2          | 5           | 2                 | 2        | 5        | 5                                     | 0          | 5            | 0                    | 0                      | 31            | С      |
|                   | галогенні речовини             | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 2          | 5            | 2                    | 2                      | 46            | С      |
|                   | відпрацьоване тепло            | 5                   | 5          | 2           | 2                 | 2        | 5        | 2                                     | 0          | 2            | 5                    | 5                      | 35            | С      |
|                   | солі                           | 5                   | 5          | 5           | 2                 | 2        | 2        | 5                                     | 2          | 5            | 2                    | 0                      | 35            | С      |
|                   | відчуження ґрунтів             | 2                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 5          | 5            | 5                    | 5                      | 52            | С      |
| Твердий залишок   | специфічні відходи             | 0                   | 0          | 5           | 5                 | 5        | 0        | 5                                     | 5          | 2            | 0                    | 0                      | 27            | С      |
|                   | інертні речовини               | 0                   | 2          | 5           | 5                 | 5        | 2        | 5                                     | 5          | 0            | 0                    | 0                      | 29            | С      |
|                   | горючі речовини                | 2                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 5          | 0            | 5                    | 5                      | 47            | С      |
|                   | токсичні речовини              | 0                   | 2          | 5           | 5                 | 5        | 0        | 5                                     | 2          | 5            | 5                    | 5                      | 39            | С      |
| Споживання        | електроенергія                 | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 2          | 0            | 0                    | 0                      | 2             | С      |
|                   | повітря                        | 5                   | 5          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 5          | 0            | 5                    | 2                      | 30            | С      |
|                   | вода                           | 5                   | 5          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 0                                     | 5          | 5            | 5                    | 2                      | 35            | С      |
|                   | ґрунт                          | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 5          | 5            | 2                    | 2                      | 49            | С      |
|                   | техніка                        | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 5          | 2            | 0                    | 0                      | 42            | С      |
| Інші              | шуми                           | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0          | 0            | 0                    | 0                      | 0             | С      |
|                   | вібрації                       | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0          | 0            | 0                    | 0                      | 0             | С      |
|                   | ізотопи                        | 2                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 2        | 5                                     | 2          | 2            | 0                    | 0                      | 21            | С      |
|                   | використання с/г земель        | 5                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 5                                     | 5          | 5            | 5                    | 2                      | 52            | В      |
|                   | будівництво                    | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 0          | 0            | 0                    | 0                      | 0             | С      |
|                   | мікроорганізми                 | 5                   | 2          | 2           | 2                 | 2        | 5        | 0                                     | 2          | 2            | 5                    | 5                      | 32            | С      |
|                   | ГМО                            | 5                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 5        | 0                                     | 0          | 2            | 0                    | 0                      | 12            | С      |
|                   | електромагнітне випромінювання | 0                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 2                                     | 0          | 0            | 0                    | 0                      | 2             | С      |
| Ризик             | вибухонебезпечні речовини      | 0                   | 0          | 0           | 2                 | 0        | 0        | 2                                     | 5          | 0            | 5                    | 5                      | 19            | С      |
|                   | легкозаймисті речовини         | 2                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 5        | 2                                     | 5          | 0            | 5                    | 5                      | 44            | С      |
|                   | токсичні речовини              | 2                   | 5          | 5           | 5                 | 5        | 2        | 2                                     | 0          | 5            | 5                    | 5                      | 41            | С      |
|                   | небезпечні зараженням          | 2                   | 0          | 0           | 0                 | 0        | 0        | 0                                     | 2          | 5            | 5                    | 5                      | 19            | С      |
|                   | гази, тиск                     | 5                   | 0          | 0           | 2                 | 0        | 0        | 0                                     | 0          | 0            | 5                    | 5                      | 17            | С      |
| Відповідність     |                                | 184                 | 146        | 155         | 132               | 152      | 147      | 107                                   | 109        | 132          | 159                  | 123                    |               |        |
| Оцінка            |                                | В                   | В          | В           | В                 | В        | В        | В                                     | В          | В            | В                    | В                      |               |        |

Виконана експертна оцінка окремих етапів дозволяє виконати загальну оцінку впливу кожного компоненту морфологічного складу ТПВ на компоненти довкілля протягом всього життєвого циклу звалища ТПВ.

Ступінь впливу окремої категорії ТПВ, стадії життєвого циклу чи екологічного аспекту оцінюють за сумою балів:

- А – вплив значний (300-600 балів);
- В – вплив помірний (100-300 балів);
- С – вплив незначний (0-100 балів).

**Табл. А4. Загальна оцінка вкладу компонентів ТПВ на компоненти довкілля протягом всього життєвого циклу**

| Компонент ТПВ | Харчові та рослинні | Макулатура | Гума, шкіра | Полімерні відходи | Текстиль | Деревина | Інші, які не піддаються біодеструкції |
|---------------|---------------------|------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------------------------------------|
| Бал           | 514                 | 404        | 387         | 367               | 367      | 373      | 291                                   |
| Оцінка        | А                   | А          | А           | А                 | А        | А        | В                                     |

## ДОДАТОК Б

### ІНДЕКСНА ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЗВАЛИЩА ТПВ

Для пошуку інструментів управління і контролю за станом навколишнього середовища необхідно оцінювати обсяги та ступінь небезпеки забруднюючих речовин, що виконуються інвентаризацією джерел та об'єктів техногенного впливу.

Інвентаризація джерел і об'єктів негативного впливу, як і будь-яка система обліку, повинна ґрунтуватися на критеріях, які дозволяють ідентифікувати наявність екологічної небезпеки об'єкта, і на класифікації, яка дозволяє ранжувати об'єкти та джерела негативного впливу за величиною обраних критеріїв.

Для оцінки екологічної небезпеки та класифікації звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» використано комплексний показник, який дозволяє чисельно оцінити рівень екологічної небезпеки, що формує звалище на компоненти довкілля, і система класифікації на основі величини даного показника:

$$Z = D + R, \quad (1)$$

де  $D$  – дійсна частина комплексного індексу, зведений індекс небезпеки звалища для навколишнього середовища при без аварійній роботі (тобто впродовж життєвого циклу), безрозмірна величина;  $R$  – ймовірнісна частина комплексного індексу, зведений індекс небезпеки звалища у разі надзвичайної ситуації, безрозмірна величина.

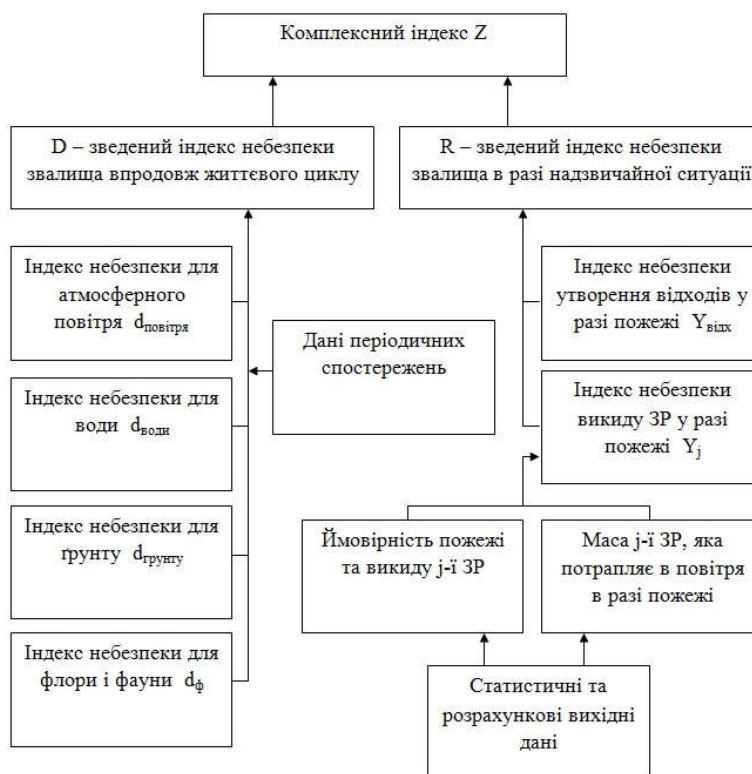


Рис. Б1. Структура комплексного індексу  $Z$



Таким чином, структура комплексного індексу дозволяє визначити алгоритм розрахунку:

I. Індекс D характеризує негативний вплив звалища на флору і фауну ( $d_{\phi}$ ), атмосферне повітря ( $d_{\text{повітря}}$ ), воду ( $d_{\text{води}}$ ), ґрунт ( $d_{\text{ґрунту}}$ ):

$$D = \left(\frac{d_{\phi}}{3}\right) (d_{\text{ґрунту}} + d_{\text{води}} + d_{\text{повітря}}). \quad (2)$$

1) Негативний вплив звалища на флору і фауну:

$$d_{\phi} = \frac{2S_{\text{зв}}}{(S_{\text{зв}} + S_{\text{сзз}})}, \quad (3)$$

де  $S_{\text{зв}}$  – площа зони впливу викидів об'єкту,  $\text{км}^2$ ;  $S_{\text{сзз}}$  – площа санітарно-захисної зони об'єкту,  $\text{км}^2$ .

$$S_{\text{зв}} = 0,962 \text{ км}^2; S_{\text{сзз}} = 2,1 \text{ км}^2$$

$$d_{\phi} = \frac{2 \cdot 0,962}{(0,962 + 2,1)} = 0,63$$

2) Індекс небезпеки для повітря:

$$d_{\text{повітря}} = \frac{1}{2} \left( \left( \frac{2KHO_i}{(KHO_i + KHO_3)} \right) + \frac{1}{N} \sum \frac{C_i}{C_i + ГДК_i} \right), \quad (4)$$

де  $KHO_i$  – коефіцієнт небезпеки об'єкту за викидом  $i$ -ї речовини;  $KHO_3$  – загальний індекс небезпеки для об'єкту;  $C_i$  – максимальна разова концентрація  $i$ -ї ЗР у повітрі,  $\text{мг/м}^3$ ;  $ГДК_i$  – максимальна разова ГДК  $i$ -ї речовини у повітрі,  $\text{мг/м}^3$ ;  $N=6$ .

$$KHO_3 = \sum KHO_i = \sum \left( \frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (5)$$

де  $M_i$  – маса викиду об'єктом  $i$ -ї речовини, т/рік;  $a_i$  – коефіцієнт класу небезпеки  $i$ -ї речовини.

$$M_{NO_2} = 2,83 \text{ т/год} \quad ГДК_{NO_2} = 0,2 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{NO_2} = 2 \quad a_{NO_2} = 1$$

$$M_{SO_2} = 0,16 \text{ т/год} \quad ГДК_{SO_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{SO_2} = 2 \quad a_{SO_2} = 1$$

$$M_{H_2S} = 0,98 \text{ т/год} \quad ГДК_{H_2S} = 0,008 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{H_2S} = 3 \quad a_{H_2S} = 1,3$$

$$M_{CO} = 5,9 \text{ т/год} \quad ГДК_{CO} = 5 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{CO} = 4 \quad a_{CO} = 0,9$$

$$M_{C_xH_y} = 0,04 \text{ т/год} \quad ГДК_{C_xH_y} = 1 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{C_xH_y} = 4 \quad a_{C_xH_y} = 0,9$$

$$M_{CH_4} = 7,87 \text{ т/год} \quad ОБРВ_{CH_4} = 50 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{CH_4} = 4 \quad a_{CH_4} = 0,9$$

$$KHO_3 = \left(\frac{2,83}{0,2}\right)^1 + \left(\frac{0,16}{0,5}\right)^1 + \left(\frac{0,98}{0,008}\right)^{1,3} + \left(\frac{5,9}{5}\right)^{0,9} + \left(\frac{0,04}{1}\right)^{0,9} + \left(\frac{7,87}{50}\right)^{0,9} = 534,17$$

$$\begin{aligned} d_{\text{повітря}} = \frac{1}{2} & \left( \left( \frac{2 \cdot 534,17}{(14,15 + 534,17)} \right) + \left( \frac{2 \cdot 534,17}{(0,32 + 534,17)} \right) + \left( \frac{2 \cdot 534,17}{(518,3 + 534,17)} \right) \right. \\ & + \left( \frac{2 \cdot 534,17}{(1,16 + 534,17)} \right) + \left( \frac{2 \cdot 534,17}{(0,06 + 534,17)} \right) + \left( \frac{2 \cdot 534,17}{(0,19 + 534,17)} \right) \\ & + \frac{1}{6} \left( \frac{3,1}{3,1 + 0,2} + \frac{0,055}{0,055 + 0,5} + \frac{0,002}{0,002 + 0,008} + \frac{3,1}{3,1 + 5} + \frac{0,81}{0,81 + 1} \right. \\ & \left. \left. + \frac{3,7}{3,7 + 50} \right) \right) = 5,66 \end{aligned}$$

## 3) Індекс небезпеки для води:

$$d_{води} = \frac{1}{W} \sum 0,5 \left[ \frac{2BCK_w}{(BCK_w + BCK_{ow})} + \frac{1}{N_w} \sum \frac{2C_{iw}}{C_{iw} + C_o} \right], \quad (6)$$

де  $W$  – число водойм, що забруднюються фільтратом звалища (р. Великий Дальник,  $W=1$ );  $BCK_w$  – БСК фільтрату звалища для  $W$ -го забрудненого водоймища, мг/л;  $BCK_{ow}$  – базовий БСК для  $W$ -го забрудненого водоймища, норматив, мг/л;  $N_w$  – кількість ЗР, що скидаються об'єктом у водний об'єкт  $W$  ( $N_w=10$ );  $C_i$  – розрахункова концентрація  $i$ -ї ЗР у воді  $W$ -го водоймища, мг/л;  $C_o$  – базовий показник концентрації ЗР для низькоконцентрованого фільтрату, норматив, фон, мг/л.

|                             |                                |                            |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| $C_{зв.речовини}=29,0$ мг/л | $C_{iw0зв.речовини}=0,75$ мг/л | $W=1$                      |
| $C_{хлориди}=494,0$ мг/л    | $C_{iw0хлориди}=117,0$ мг/л    | $N_w=10$                   |
| $C_{сульфати}=2598,0$ мг/л  | $C_{iw0сульфати}=50,0$ мг/л    | $BCK_w=16,9$ мг $O_2$ /л   |
| $C_{нітрати}=20,750$ мг/л   | $C_{iw0нітрати}=2,2$ мг/л      | $BCK_{ow}=6,0$ мг $O_2$ /л |
| $C_{нітр.ам.}=0,8$ мг/л     | $C_{iw0нітр.ам.}=0,5$ мг/л     |                            |
| $C_{нітрити}=0,025$ мг/л    | $C_{iw0нітрити}=0,02$ мг/л     |                            |
| $C_{залізо}=0,35$ мг/л      | $C_{iw0залізо}=0,3$ мг/л       |                            |
| $C_{ортофосф.}=2,3$ мг/л    | $C_{iw0ортофосф.}=2,3$ мг/л    |                            |
| $C_{кальцій}=448,0$ мг/л    | $C_{iw0кальцій}=45,0$ мг/л     |                            |
| $C_{сух.зал.}=6915,0$ мг/л  | $C_{iw0сух.зал.}=1000,0$ мг/л  |                            |

$$d_{води} = 1 \cdot 0,5 \left[ \frac{2 \cdot 16,9}{(16,9 + 6,0)} + \frac{1}{10} \left( \frac{2 \cdot 29,0}{29,0 + 0,75} + \frac{2 \cdot 494,0}{194,0 + 117,0} + \frac{2 \cdot 2598,0}{2598,0 + 50} + \frac{2 \cdot 20,8}{20,8 + 2,2} + \frac{2 \cdot 0,8}{0,8 + 0,5} + \frac{2 \cdot 0,025}{0,025 + 0,2} + \frac{2 \cdot 0,35}{0,35 + 0,3} + \frac{2 \cdot 2,3}{2,3 + 2,3} + \frac{2 \cdot 448,0}{448,1 + 45,0} + \frac{2 \cdot 6915,0}{6915,0 + 1000,0} \right] = 1,51$$

## 4) Індекс небезпеки для ґрунту:

$$d_{ґрунту} = \frac{1}{3} (d_{ґрунту}^{\delta} + d_{ґрунту}^3 + d_{ґрунту}^{\partial}), \quad (7)$$

де  $d_{ґрунту}^{\delta}$  – індекс забруднення ґрунту мікроорганізмами;  $d_{ґрунту}^3$  – індекс небезпеки хімічного забруднення ґрунту;  $d_{ґрунту}^{\partial}$  – небезпеки деградації ґрунту.

## 4.1) Індекс забруднення ґрунту мікроорганізмами:

$$d_{ґрунту}^{\delta} = \frac{1}{7} \sum d_i^{\delta}. \quad (8)$$

де  $d_i^{\delta}$  – індекс  $i$ -го показника забруднення ґрунту мікроорганізмами, визначається за сімома санітарно-біологічними показниками: кишкові палички; ентеробактерії; патогенні ентеробактерії; ентеровіруси; яйця гельмінтів, аскарид, волосоголовців, токсокар, онкосфер, та інші; цисти кишкових патогенних найпростіших; лялечки мух в ґрунті 20 см х 20 см [193].

$$d_{ґрунту}^{\delta} = \frac{1}{7} (1 + 0 + 0 + 0 + 1 + 1 + 1) = 0,57$$

## 4.2) Індекс небезпеки хімічного забруднення:

$$d_{\text{грунту}}^3 = \frac{1}{N} \sum \frac{2C_i}{C_i + ГДК_i} \quad (9)$$

де  $C_i$  – концентрація в ґрунті  $i$ -ї ЗР, мг/кг;  $ГДК_i$  – ГДК  $i$ -ї речовини для ґрунту, мг/кг;  $N$  – кількість ЗР.

$C_{\text{плюмбуму}}=1667,0$  мг/кг       $ГДК_{\text{плюмбуму}}=32,0$  мг/кг

$C_{\text{кадмію}}=2,9$  мг/кг       $ГДК_{\text{кадмію}}=0,7$  мг/кг

$C_{\text{ртуті}}=0,18$  мг/кг       $ГДК_{\text{ртуті}}=2,1$  мг/кг

$C_{\text{міді}}=386$  мг/кг       $ГДК_{\text{міді}}=3,0$  мг/кг

$C_{\text{цинку}}=3656$  мг/кг       $ГДК_{\text{цинку}}=23,0$  мг/кг

$C_{\text{нікелю}}=40,0$  мг/кг       $ГДК_{\text{нікелю}}=4,0$  мг/кг

$C_{\text{кобальту}}=3,5$  мг/кг       $ГДК_{\text{кобальту}}=5,0$  мг/кг

$C_{\text{марганцю}}=1664,0$  мг/кг       $ГДК_{\text{марганцю}}=700,0$  мг/кг

$C_{\text{хрому}}=3,5$  мг/кг       $ГДК_{\text{хрому}}=0,05$  мг/кг

$$d_{\text{грунту}}^3 = \frac{1}{9} \left( \frac{2 \cdot 1667,0}{1667,0 + 32,0} + \frac{2 \cdot 2,9}{2,9 + 0,7} + \frac{2 \cdot 0,18}{0,18 + 2,1} + \frac{2 \cdot 386}{386 + 3,0} + \frac{2 \cdot 3656,0}{23,0} + \frac{2 \cdot 40}{40 + 4,0} + \frac{2 \cdot 3,5}{3,5 + 5,0} + \frac{2 \cdot 1664}{1664,0 + 700,0} + \frac{2 \cdot 3,5}{3,5 + 0,05} \right) = 1,52$$

#### 4.3) Індекс небезпеки деградації ґрунту:

$$d_{\text{грунту}}^0 = \frac{1}{3} \left( \frac{S_{\text{поруш}}}{S_0} + \frac{1}{N_p} \sum \frac{2p_k}{p_k + p_{0k}} + \frac{1}{N_q} \sum \frac{2(q_k + q_{0k})}{2q_k} \right), \quad (10)$$

де  $S_{\text{поруш}}$  – сумарна площа порушених земель, га;  $S_0$  – площа впливу викидів об'єкту, га;  $N_p$  – кількість показників ступеня деградації ґрунтів на порушених землях;  $N_q$  – кількість показників ступеня деградації ґрунтів на землях зони впливу;  $p_k$ ,  $q_k$  – значення показників ступеня деградації ґрунту;  $p_{0k}$ ,  $q_{0k}$  – значення показників ступеня деградації ґрунту в межах норми [194].

$S_{\text{поруш}}=35$  га;  $S_0=96,2$  га

| Показники  | $p_k$             | $q_k$ | $p_{0k}$ | $q_{0k}$ |
|--|-------------------|-------|----------|----------|
| Потужність абіотичного наносу, см                            | 40                | 2     | 1        | 1        |
| Зменшення вмісту фізичної глини на величину від вихідного, % | 10                | 5     | 4        | 4        |
| Коефіцієнт фільтрації, м/добу                                | $5 \cdot 10^{-5}$ | 0,03  | 1        | 1        |
| Кам'янисте покриття, %                                       | 50                | 10    | 4        | 4        |
| Зменшення запасів гумусу в профілі ґрунтів, %                | 30                | 15    | 8        | 8        |
| Вміст суми токсичних солей в гумусовому шарі, %              | 0,4               | 0,15  | 0,1      | 0,1      |
| Збільшення площі засоленості ґрунтів, %                      | 3                 | 1,5   | 0,1      | 0,1      |

$$d_{\text{грунту}}^{\partial} = \frac{1}{3} \left( \frac{35}{96,2} + \frac{1}{7} \left( \frac{2}{40+1} \frac{40}{1} + \frac{2}{10+4} \frac{10}{4} + \frac{2}{5} \frac{5}{10^{-5}} \frac{10^{-5}}{0,03} + \frac{2}{50+4} \frac{50}{4} + \frac{2}{30+8} \frac{30}{8} + \frac{2}{0,4+0,1} \frac{0,4}{0,1} + \frac{2}{3+0,1} \frac{3}{0,1} \right) + \frac{1}{7} \left( \frac{2(2+1)}{2} \frac{2}{2} + \frac{2(5+4)}{2} \frac{5}{5} + \frac{2(0,03+5)}{2} \frac{10^{-5}}{0,03} + \frac{2(10+4)}{2} \frac{10}{10} + \frac{2(15+8)}{2} \frac{15}{15} + \frac{2(0,15+0,1)}{2} \frac{0,15}{0,15} + \frac{2(1,5+0,1)}{2} \frac{1,5}{1,5} \right) \right) = 1,69$$

Таким чином, згідно з формулою (7)

$$d_{\text{грунту}} = \frac{1}{3} (0,57 + 1,52 + 1,69) = 1,26$$

5) Розрахункове значення індексу D може перебувати в інтервалі від 0 до 4 (рис. Б2). Через розрахунок допоміжних індексів за формулою 2 отримаємо значення D:

$$D = \left( \frac{0,63}{3} \right) (1,26 + 1,51 + 5,66) = 1,77$$

II. Розрахунок зведеного індексу R небезпеки звалища в разі надзвичайної ситуації на об'єкті здійснюється згідно з формулою:

$$R = 0,5[(1/N)\Sigma Y_j + Y_{\text{відх}}], \quad (11)$$

де  $Y_j$  – загальний індекс небезпеки для  $i$ -ї забруднюючої речовини, що враховує сукупний обсяг даної речовини за всіма одиницями небезпеки;  $Y_{\text{відх}}$  – загальний індекс небезпеки утворення відходів ліквідації надзвичайної ситуації,  $Y_{\text{відх}} = 1$ ;  $N$  – число забруднюючих речовин, за якими визначається індекс R.

Потенційно небезпечним об'єктом при надзвичайній ситуації на звалищі є складоване сміття. Аварійною ситуацією на звалищі вважається ймовірність пожежі. Речовинами, які найбільшою мірою визначають токсичність димових газів при горінні ТПВ, є сажа,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , HF, Hg, важкі метали, діоксини. Обсяг димових газів, що утворюється при згорянні 1 тонни ТПВ (4...8 тис.  $\text{м}^3$ ),  $V_{\Gamma} = 6000$  тис.  $\text{м}^3/\text{т}$ .

1) Загальний індекс небезпеки для  $i$ -ї забруднюючої речовини, що враховує сукупний обсяг даної речовини за всіма одиницями небезпеки розраховується за формулою:

$$Y_j = \frac{2K_{\text{ц}j}}{K_{\text{ц}j} + K_{\text{н}j}}, \quad (12)$$

де  $K_{\text{ц}j}$  – середній індекс небезпеки  $j$ -ї речовини при надзвичайній ситуації на звалищі;  $K_{\text{н}j}$  – індекс небезпеки викиду  $j$ -ї речовини при безаварійному режимі роботи звалища.

$$Y_1 = \frac{2 \cdot 308,3}{308,3 + 14,2} = 1,97$$

$$Y_2 = \frac{616,6}{308,3 + 0,32} = 2$$

$$Y_3 = \frac{2 \cdot 308,3}{308,3 + 0,16} = 2$$

2) Індекс небезпеки викиду  $j$ -ї речовини при безаварійному режимі роботи звалища:

$$K_{nj} = \left( \frac{M_j}{ГДК_j} \right)^{a_j}, \quad (13)$$

де  $M_j$  – маса викиду об'єктом  $j$ -ї речовини, т/год, при безаварійній роботі;  $ГДК_j$  –  $ГДК$   $j$ -ї речовини в повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

$$M_{NO_2} = 2,83 \text{ т/год} \quad ГДК_{NO_2} = 0,2 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{NO_2} = 2 \quad a_{NO_2} = 1 \quad K_{nj} = \left( \frac{2,83}{0,2} \right)^1 = 14,2$$

$$M_{SO_2} = 0,16 \text{ т/год} \quad ГДК_{SO_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{SO_2} = 2 \quad a_{SO_2} = 1 \quad K_{nj} = \left( \frac{0,16}{0,5} \right)^1 = 0,32$$

$$M_{CO} = 5,9 \text{ т/год} \quad ГДК_{CO} = 5 \text{ мг/м}^3 \quad KH_{CO} = 4 \quad a_{CO} = 0,9 \quad K_{nj} = \left( \frac{5,9}{5} \right)^{0,9} = 0,16$$

3) Середній індекс небезпеки  $j$ -ї речовини при пожежі на звалищі:

$$K_{чсj} = \frac{1}{N_E} \sum Q_n k_{jn}, \quad (14)$$

де  $N_E$  – число одиниць екологічно небезпечних при надзвичайній ситуації продуктів;  $Q_n$  – ймовірність пожежі;  $k_{jn}$  – коефіцієнт небезпеки маси  $j$ -ї речовини, що потрапляє в довкілля при пожежі.

$$K_{чсj} = \frac{1}{3} (0,4 \cdot 250 + 0,4 \cdot 2060 + 0,4 \cdot 2,2) = 308,3$$

4) Коефіцієнт небезпеки маси  $j$ -ї речовини, що потрапляє в довкілля при аварії  $n$ -ї одиниці потенційно небезпечного обладнання

$$k_{jn} = \left( \frac{V_{jn}}{ГДК_j} \right)^{a_j}, \quad (15)$$

де  $V_{jn}$  – максимальна маса ЗР, яка потрапляє в навколишнє середовище при пожежі з одиниці площі, м<sup>3</sup>;  $ГДК_j$  – максимальна разова  $ГДК$   $j$ -ї речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

$$V_{NO_2} = 50,0 \text{ м}^3 \quad ГДК_{NO_2} = 0,2 \text{ мг/м}^3 \quad a_{NO_2} = 1 \quad k_{jn} = \left( \frac{50}{0,2} \right)^1 = 250$$

$$V_{SO_2} = 1030,0 \text{ м}^3 \quad ГДК_{SO_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3 \quad a_{SO_2} = 1 \quad k_{jn} = \left( \frac{1030}{0,5} \right)^1 = 2060$$

$$V_{CO} = 12,0 \text{ мг/м}^3 \quad ГДК_{CO} = 5 \text{ мг/м}^3 \quad a_{CO} = 0,9 \quad k_{jn} = \left( \frac{12}{5} \right)^{0,9} = 2,2$$

5) Ймовірність негативного наслідку пожежі  $n$ -ї одиниці потенційно небезпечних об'єктів на звалищі за рік

$$Q_n = 1 - e^{-P_n} \quad (16)$$

де  $P_n$  – інтенсивність (число) відмов для  $n$ -ї одиниці потенційно небезпечних об'єктів на звалищі за рік.

$$E=2,7; P_n=0,5$$

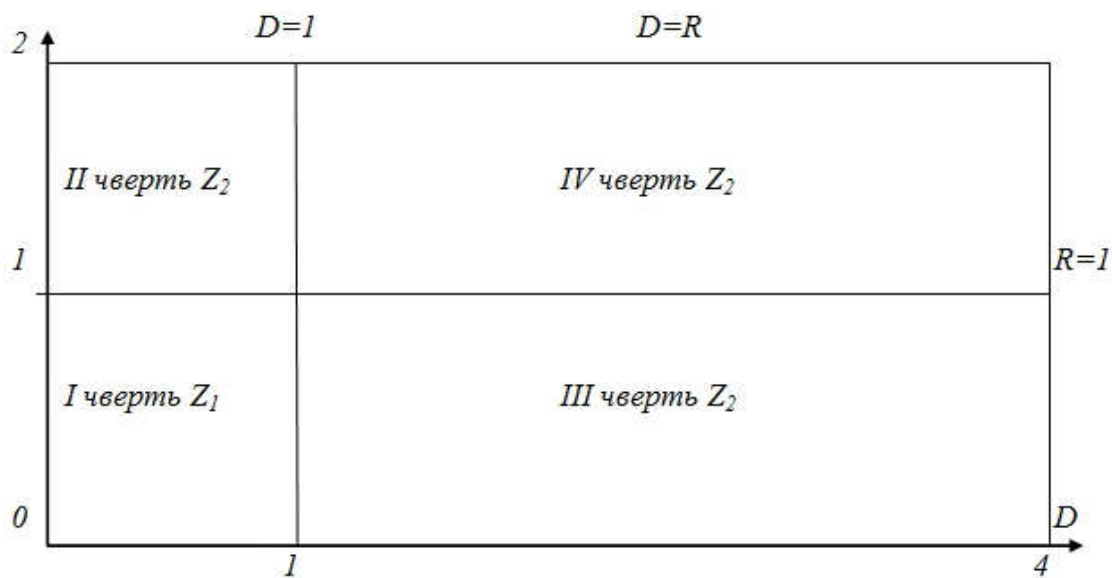
$$Q_n = 1 \cdot e^{-0,05} = 0,4$$

б) Результати розрахунку проміжних індексів дозволяють визначити величину  $R$ :

$$R = 0,5[1/3 \cdot (1,97 + 2 + 2) + 1] = 1,5$$

III. Визначення дійсної ( $D$ ) та ймовірної ( $R$ ) складових комплексного індексу екологічної небезпеки  $Z$ , доцільно віднести звалище ТПВ до четвертої групи екологічної небезпеки (рис. Б2):

| Група | $D$         | $R$         | Характеристика   |
|-------|-------------|-------------|--|
| I     | $D \leq 1$  | $R < 1$     | об'єкти, що не становлять значну екологічну небезпеку при безаварійному режимі роботи і у разі надзвичайної ситуації                             |
| II    | $D \leq 1$  | $1 < R < 2$ | об'єкти, що становлять підвищену екологічну небезпеку лише в разі надзвичайної ситуації;   |
| III   | $1 < D < 4$ | $R \leq 1$  | об'єкти, що становлять значну екологічну небезпеку тільки у разі безаварійного режиму роботи   |
| IV    | $1 < D < 4$ | $1 < R < 2$ | об'єкти, що становлять значну екологічну небезпеку для навколишнього середовища і при нормальному режимі роботи, і в разі надзвичайної ситуації. |



**Рис. Б2. Графічне представлення класифікації об'єктів за групами екологічної небезпеки**

Таким чином, можна зробити висновок, що звалище ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» належить до IV групи екологічної небезпеки – тобто до об'єктів, що становлять екологічну небезпеку і при нормальному, і у разі надзвичайної ситуації.

## ДОДАТОК В

## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ЗВАЛИЩА ТПВ

Розрахунок рівня екологічного ризику проведено для оцінки рівня потенційної екологічної небезпеки у випадку виникнення пожежі на звалищі та потрапляння у повітря токсичних речовин, зокрема, діоксинів.

За вихідні дані прийнято:

|  |   |
|--|---|
| $S_n=0,001$ га                               | — площа пожежі;                                       |
| $m_{ТПВ}=1,5$ т                              | — маса складованих відходів, які вигорять;            |
| $V_B=6000$ м <sup>3</sup> /т                 | — обсяг викиду димових газів з тони відходів;         |
| $C_i=0,5 \cdot 10^{-6}$ г/м <sup>3</sup>     | — концентрація діоксину в димових викидах;            |
| $ГДК_i=0,001 \cdot 10^{-6}$ г/м <sup>3</sup> | — гранично допустима концентрація діоксину в повітрі; |

$CR_i=5,4 \cdot 10^{-6}$  — канцерогенний ризик діоксинів.

Територіальний ризик в  $k$ -й точці простору на звалищі твердих побутових відходів:

$$R_t^k = P_{bum} \cdot P_{af} \cdot P_{ck}, \quad (1)$$

де  $P_{bum}$  — імовірність пожежі, що супроводжується викидом діоксинів максимально можливої кількості;  $P_{af}$  — умовна ймовірність реалізації одного з можливих видів пожежі;  $P_{ck}$  — умовна ймовірність смертельного результату в  $k$ -й точці простору.

Індивідуальний ризик загибелі людини в точці  $k$ , що мешкає в розглянутому регіоні:

$$R_i^k = R_t^k \cdot P_n^k, \quad (2)$$

де  $P_n^k$  — імовірність перебування людини в  $K$ -й точці простору.

Індивідуальний ризик мешкання на території регіону шляхом підсумовування індивідуальних ризиків по цій території. Очікувана кількість загиблих протягом одного року в розглянутому регіоні  $M_D$ , а також соціальний ризик визначаються за значенням територіального ризику в виділеному регіоні і щільності населення.

$$M_D = R_t \cdot N. \quad (3)$$

Розрахунок виконували на основі Методики визначення рівнів індивідуального  $R_i$ , соціального  $R_s$  і територіального  $R_t$  ризиків, пов'язаних з викидами екологічно небезпечних (токсичних, радіоактивних, вибухо- і пожежонебезпечних) речовин і матеріалів за наступними етапами:

1. Визначення ймовірності пожежі (аварії)  $W$ , яка характеризується деякою заданою вагою наслідків  $Q$ . Ця ймовірність може бути визначена на основі залежності  $W(Q)$ , отриманої на основі статистичної обробки наявних даних про аварії даної природи.

Імовірність пожежі ( $P_{bum}$ ,  $W$ ), що супроводжується викидом діоксинів максимально можливої кількості:

$$P_{\text{bum}} = P_{\text{bij}} * P_{\text{um}}, \quad (4)$$

де  $P_{\text{bij}}$  – імовірність виникнення пожежі на  $i$ -му звалищі при реалізації  $j$ -ї ініціюючої події ( $W_1$ );  $P_{\text{um}}$  – умовна ймовірність можливого наслідку пожежі – ступеню вигорання звалища ( $W_2$ ).

Величину  $P_{\text{bij}}$  знайдемо за залежністю  $\lg W$  від  $\lg Q$  (рис. В1). Ця залежність для невеликих викидів побудована за даними В. Маршалла та наведених їм джерел.

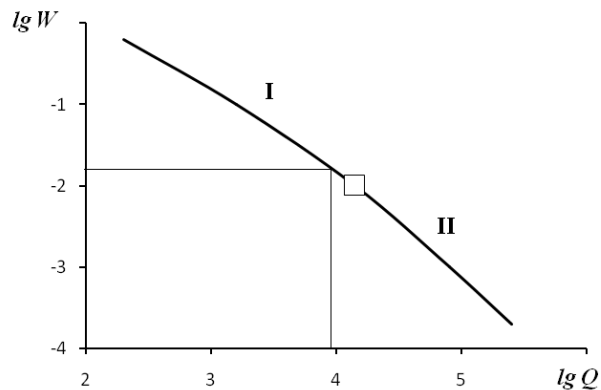
Так, при викиді димових газів у разі пожежі зі звалища в точці ініціації в кількості 9000 м<sup>3</sup> розрахуємо імовірність реалізації події:

$$Q=9000 \text{ м}^3$$

$$\lg(Q)=3,95$$

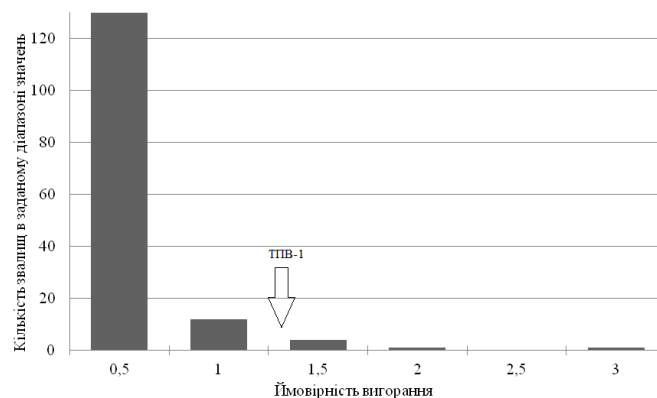
$$W_1=0,016$$

$$\lg(W_1)= -1,8$$



**Рис. В1. Узагальнена залежність логарифму імовірності виникнення пожежі ( $\lg W$ ) на  $i$ -тому звалищі при реалізації  $j$ -ї ініціюючої події від логарифму потужності викиду при пожежі ( $\lg Q$ ) (I) та екстраполяція на випадок великих викидів (II)**

Обрахування ймовірності вигорання території звалища зводиться до розрахунку щільності гарячих точок на даній території, яку визначено та представлено на рис. В2.



**Рис. В2. Залежність ймовірності вигорання звалища ТПВ від кількості звалищ в заданому діапазоні значень, або «гарячих точок»**

З урахуванням наявності в безпосередній близькості до звалища трьох населених пунктів «гарячих точок»,  $W_1=1,3$ , а імовірність пожежі ( $W$ ), яка може статися на звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри», складає:



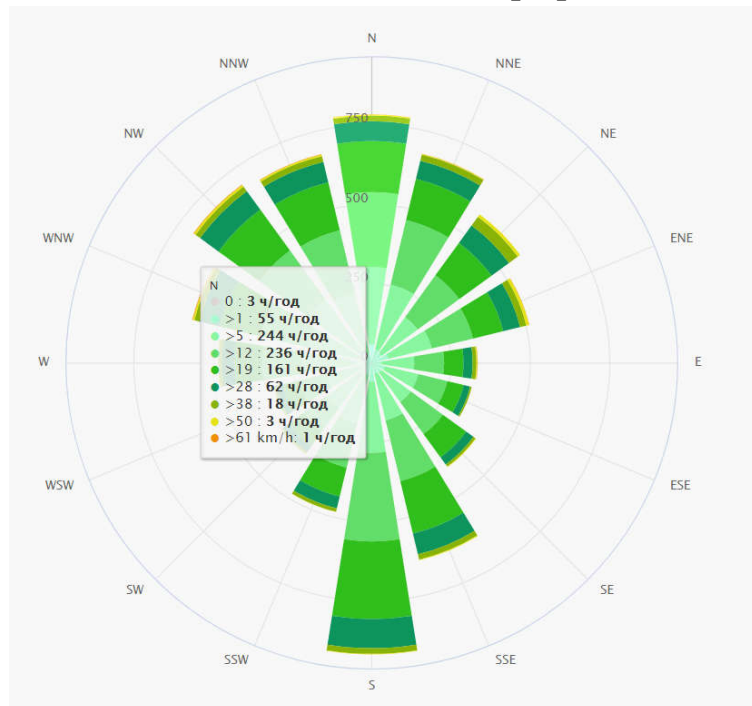
$$W = P_{\text{bum}} = W_1 * W_2 = 0,016 * 1,3 = 0,024.$$

2. Визначення швидкості і напрямку вітру, найбільш ймовірних для даної пори року і розглянутій території (знаходяться за даними багаторічних метеорологічних спостережень). Особлива увага при цьому приділяється небезпечним напрямками по відношенню до вразливих об'єктів.

В безпосередній близькості від звалища на відстані 2 км в південному напрямку (рис. В3) знаходиться селище Нова Долина кількістю мешканців 1300 осіб. Умовна імовірність повторюваності вітру (рис. В4) в напрямку населеного пункту за найбільш несприятливих метеорологічних умов (1-6 м/с) дорівнює  $P_{af} = 0,080$ .



**Рис. В3. Карта-схема розташування населених пунктів в районі звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри»**



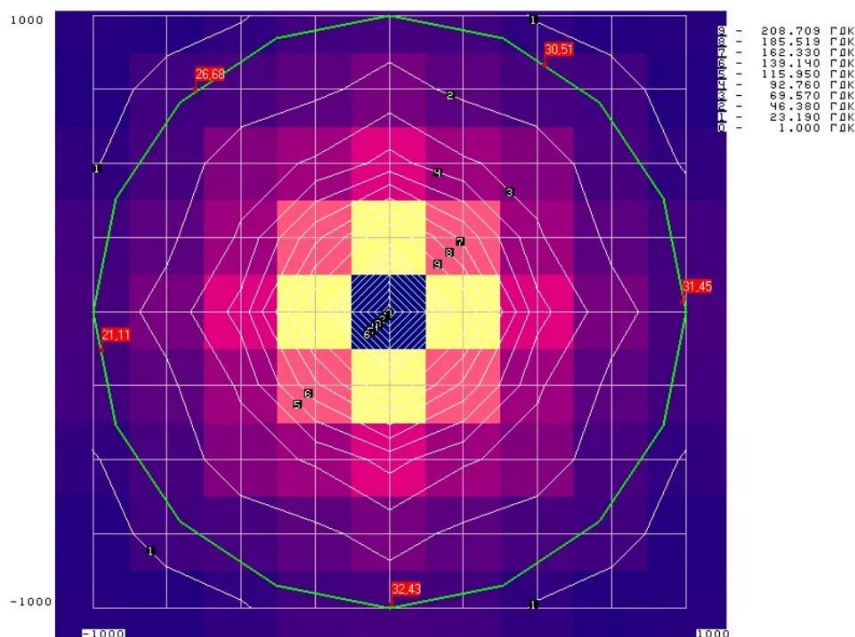
**Рис. В4. Річна повторюваність напрямків вітру**

3. Розрахунок концентрації розглянутої небезпечної речовини в атмосфері для заданих потужності розливу, найбільш ймовірних метеорологічних умов і відстаней розглянутого (уразливого) пункту до джерела розливу.

Для визначення умовної ймовірності смертельного результату в  $K$ -й точці простору необхідно визначити концентрацію діоксину, що викидається в процесі горіння. За початкові умови прийнято межі концентрацій для забруднюючих речовин, що викидаються в процесі горіння на звалищі: при згорянні  $1 \text{ м}^3$  ТПВ утворюється  $0,5 \cdot 10^{-6} \dots 10 \cdot 10^{-6} \text{ г}$  діоксинів.

Для реалізації розрахунку використано програмний комплекс «ЕОЛ-Атмосфера», який дозволив отримати поля концентрацій діоксинів при розповсюдженні в атмосферному повітрі. Розрахункові модулі системи «ЕОЛ-Атмосфера» реалізують "Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. ОНД-86" [204]. Система дозволяє розраховувати поля забруднень для точкової моделі джерела викиду шкідливих речовин.

Так, на межі населеного пункту Нова Долина концентрація діоксину в повітрі складатиме  $C_{\text{Хmax}} = 0,032 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$ .

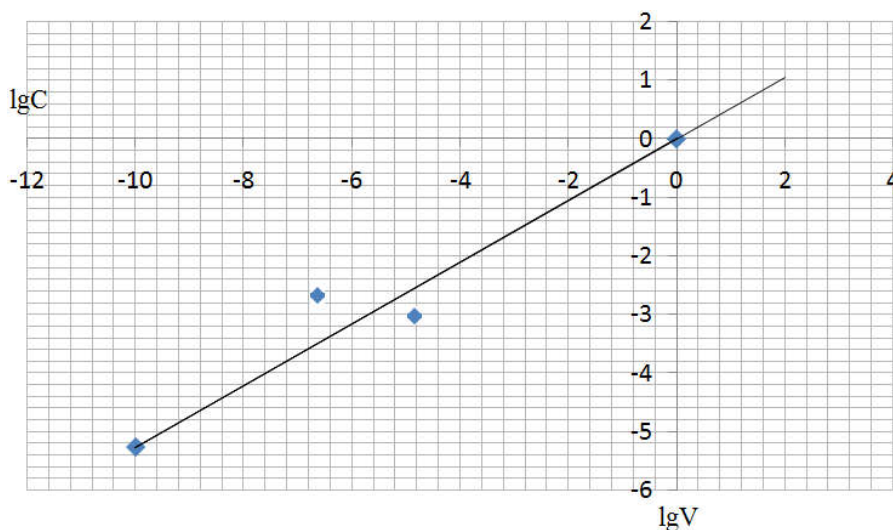


**Рис. В5. Поле концентрацій діоксинів при пожежі на звалищі площею 0,001 га (побудовано в програмному комплексі ЕОЛ-Атмосфера), виокремлено ізолінію межі населеного пункту**

4. Визначення ймовірності ураження людини чи групи людей в результаті впливу небезпечної речовини при її розрахованій вище концентрації. Ця ймовірність знаходиться на основі залежності «доза-ефект».

Розраховані концентрації діоксину при виникненні пожежі на звалищі дозволяють визначити ймовірність смертельного результату через закономірність  $\lg V$  від  $\lg C$  «доза-ефект». Проте токсична дія діоксинів досі залишається

маловивченою, тому залежність «доза-ефект» побудовано за величиною канцерогенного ризику  $CR_i$  (рис. В6.).



**Рис. В6. Залежність «доза-ефект» для випадку отруєння діоксинами та ймовірності реалізації канцерогенного ефекту (за даними отруєння бенз(а)піреном [207-208])**

За Методичними рекомендаціями «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» розраховуємо середню добову дозу впливу бенз(а)пірену на населення міста, де визначена концентрація бенз(а)пірену в атмосферному повітрі становить  $0,031 \cdot 10^{-3}$  мг/м<sup>3</sup>.

Середня добова доза/концентрація впливу протягом часу експозиції (мг/кг-доба):

$$LADD = [(C_a \cdot T_{out} \cdot V_{out}) + (C_h \cdot T_{in} \cdot V_{in})] \cdot EF / BW, \quad (5)$$

де  $C_a$  – концентрація речовини в атмосферному повітрі, мг/м<sup>3</sup>;  $C_h$  – концентрація речовини в повітрі приміщення, мг/м<sup>3</sup>;  $T_{out}$  – час, що проводиться поза приміщенням, год/доба;  $T_{in}$  – час, що проводиться всередині приміщення, год/доба;  $V_{out}$  – швидкість дихання поза приміщенням, м<sup>3</sup>/год;  $V_{in}$  – швидкість дихання в середині приміщення, м<sup>3</sup>/год; EF – частота впливу, днів/рік; ED – тривалість впливу, років; BW – маса тіла, кг; AT – період осереднення експозиції, років.

$$C_a = C_h = 0,032 \cdot 10^{-3} \text{ мг/м}^3$$

$$T_{out} = 8 \text{ год/доба}$$

$$T_{in} = 16 \text{ год/доба}$$

$$V_{out} = 1,4 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$V_{in} = 0,63 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$EF = 1$$

$$BW = 70 \text{ кг}$$

Використовуючи зазначені дескриптори експозиції, проводимо розрахунок:

$$LADD = [(0,032 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 1,4) + (0,032 \cdot 16 \cdot 0,63)] \cdot 1 / 70 = 0,0097 \cdot 10^{-3} \text{ мг/кг-доба}$$

При використанні лінійної моделі величина індивідуального ризику буде складати:

$$CR = LADD * SF, \quad (6)$$

де SF – фактор нахилу,  $(\text{мг}/(\text{кг} * \text{доба}))^{-1}$ , для бенз(а)пірену SF = 3,1.

$$CR = 0,0097 * 10^{-3} * 3,1 = 0,0301 * 10^{-3}$$

Враховуючи, що кількість населення в населеному місті становить POP = 1300 осіб, розраховуємо величину ризику, а отже, ймовірності негативного впливу  $P_{ck}$ :

$$P_{ck} = PCR = CR * POP = 0,0301 * 10^{-3} * 1300 = 0,0391$$

б) Таким чином, отримані ймовірності дозволяють визначити територіальний та індивідуальний ризик при виникненні пожежі на звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри»:

$$R_t = 0,024 * 0,08 * 0,0391 = 7,5 * 10^{-5}$$

Для визначення рівня індивідуального ризику необхідно врахувати часовий параметр: так, для осіб, що постійно мешкають в селищі Нова Долина, проте працюють поза територією цього населеного пункту:

$$P_n^k = 1 - 40/(168) = 0,762$$

де 40 – тривалість робочого тижня, год; 168 – повна тривалість тижня, год.

Тоді

$$R_i = 7,5 * 10^{-5} * 0,762 = 5,7 * 10^{-6}$$

Оскільки рекомендується вважати неприйнятним рівні екологічного ризику:

а)  $R_t > 10^{-5}$  для територіального ризику за межами СЗЗ, що має в своєму складі хоча б один об'єкт підвищеної небезпеки;

б)  $R_i > 10^{-6}$  для індивідуального ризику — для людини, яка знаходиться в конкретному регіоні за межами СЗЗ,

визначені рівні територіального та екологічного ризику у випадку пожежі на звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» з максимальним викидом над токсичних речовин типу діоксинів є неприйнятними.

Результати визначення ймовірнісних складових та розрахунку екологічного ризику наведено в табл. 3.7

**Табл. В1. Результати розрахунку рівня екологічного ризику при виникненні пожежі на звалищі з викидом діоксинів**

| $Q_i, \text{м}^3$ | $W, P_{bum}$ | $C_i, \text{мг}/\text{м}^3$ | $V, P_{ck}$ | $P_{af}$ | $R_t$           | $R_i$           |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-------------|----------|-----------------|-----------------|
| 9000              | 0,024        | $0,032 * 10^{-3}$           | 0,0391      | 0,08     | $7,5 * 10^{-5}$ | $5,7 * 10^{-6}$ |

## ОЦІНКА ВИКИДІВ МЕТАНУ ЗІ ЗВАЛИЩА ТПВ

Розрахунок очікуваної кількості полігонного газу (біогазу), що виділяється при анаеробному розкладанні відходів, визначається за спеціально розробленою Українською моделлю газоутворення, яка дозволяє врахувати місцеві кліматичні умови та особливості Одеського полігону ТПВ і дозволяє здійснювати прогноз газоутворення з набагато вищою точністю, порівняно з рекомендованими формулами ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». В основі моделі лежить рівняння розпаду першого порядку, що застосовується Міністерством екології та природних ресурсів для оцінки викидів метану від полігонів ТПВ в Україні.

Безпосередньо для цілей моделювання газоутворення на конкретному полігоні рівняння доповнене спеціальними коефіцієнтами, що характеризують його стан та фізичні умови, а саме:

$$Q(t) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A \cdot k_j \cdot MSW_i \cdot MSW_{i,j} \cdot L_{oi,j} e^{-k_j(t-x)}, \quad (1)$$

де  $A$  – множник норми, який визначається за формулою:

$$A = \frac{(1 - e^{-k_j})}{k_j}, \quad (2)$$

де  $k_j$  – постійна темпів утворення метану для  $j$ -го компоненту ТПВ,  $\text{рік}^{-1}$

$MSW_i$  – загальна маса ТПВ, які складувалися в рік  $i$ , т/рік;  $MSW_{ij}$  – вміст  $j$ -го компоненту в ТПВ в  $i$ -му році, %;  $t$  – розрахунковий рік, рік;  $x$  – період, за який вносяться дані, рік;  $L_{oi,j}$  – потенціал утворення метану в рік  $i$ , т  $\text{CH}_4/\text{тТПВ}$ :

$$L_{oi,j} = DOC_j \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} \cdot MCF_i, \quad (3)$$

де  $DOC_j$  – загальна кількість органічного вуглецю, який здатний біологічно розкладатися, в  $j$ -ій фракції, тС/тТПВ;  $DOC_F$  – частка вуглецю, яка бере участь в реакціях розкладення ( $DOC_F = 0,5$ );  $F$  – вміст метану в біогазі ( $F = 0,5$ );  $16/12$  – коефіцієнт перерахунку вуглецю в метан;  $MCF_i$  – фактор корекції метану, який залежить від умов захоронення ТПВ..

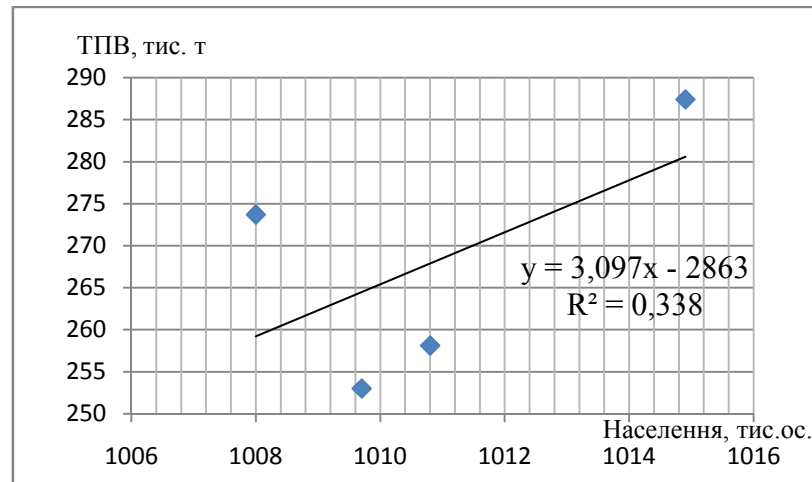
Для розрахунку газоутворення з території звалища використовували наступні дані та коефіцієнти:

1) загальна маса ТПВ, які складувалися в рік  $i$  ( $MSW_i$ , т/рік).

Величина щорічного обсягу відходів, що утворюються на території міста, залежить від кількості населення міста. За даними екологічних паспортів регіону на Статистичного щорічника України визначили загальну масу відходів, які складувалися у відомі роки та склали апроксимуючу залежність обсягів ТПВ від кількості населення міста:

**Табл. Г1. Залежність обсягу складованих ТПВ на звалищі від кількості населення міста Одеса**

| Рік  | MSW <sub>i</sub> , т/рік | Населення міста, тис. осіб |
|------|--------------------------|----------------------------|
| 2010 | 253                      | 1009,7                     |
| 2011 | 273,7                    | 1008                       |
| 2012 | 287,4                    | 1014,9                     |
| 2017 | 258,1                    | 1010,8                     |



**Рис. Г1. Математичне моделювання залежності обсягів утворення ТПВ від зростання населення міста Одеса**

Отримане рівняння лінійної залежності (4), отримане шляхом апроксимації, дозволило визначити загальну масу відходів, які було складовано на території звалища в попередні роки:

$$y = 3,097x - 2863, \quad (4)$$

де  $y$  – загальна маса ТПВ, які складувалися в рік  $i$  (MSW <sub>$i$</sub> , т/рік);  $x$  – населення міста, тис. осіб.

**Табл. Г2. Загальна маса ТПВ, які складувалися в рік  $i$  (MSW <sub>$i$</sub> , т/рік).**

| рік, $i$ | Населення, ос. | MSW <sub><math>i</math></sub> , т/рік |
|----------|----------------|---------------------------------------|
| 2007     | 1008627        | 260717,8                              |
| 2008     | 1009074        | 262102,2                              |
| 2009     | 1010326        | 265979,6                              |
| 2010     | 1008119        | 259144,5                              |
| 2011     | 1009145        | 262322,1                              |
| 2012     | 1008162        | 259277,7                              |
| 2013     | 1014852        | 279996,6                              |
| 2014     | 1011535        | 269723,9                              |
| 2015     | 1017022        | 286717,1                              |
| 2016     | 1016515        | 285147                                |
| 2017     | 1010800        | 267447,6                              |

В наступні роки прогнозна кількість ТПВ залишається на рівні 2017 року при збереженні тенденції складування відходів і зменшується по роках в межах 20% за рахунок залишеної в 2018 році маси відходів, яка підлягає біодеградації в природних умовах при реалізації на звалищі техніко-технологічних заходів щодо сортування та утилізації відходів.

2) Коефіцієнти, які характеризують морфологічний склад ТПВ:

$k_j$  – постійна темпів утворення метану для  $j$ -го компонента ТПВ, рік<sup>-1</sup>;

$DOC_i$  – біорозкладений карбон у складі морфологічної фракції ТПВ;

$MSW_{ij}$  – вміст  $j$ -го компонента в ТПВ в  $i$ -му році, %

$A$  – множник норми, який визначається за формулою (2).

**Табл. Г3. Коефіцієнти, які характеризують морфологічний склад ТПВ**

| Категорія ТПВ          | $k_j$ | $DOC_i$ | $MSW_{ij}$ | $A$   |
|------------------------|-------|---------|------------|---|
| Папір і картон         | 0,048 | 0,40    | 0,35       | $A = \frac{(1 - e^{-0,048})}{0,048} = 0,98$ |
| Текстиль               | 0,048 | 0,24    | 0,04       | $A = \frac{(1 - e^{-0,048})}{0,048} = 0,98$ |
| Харчові відходи        | 0,110 | 0,15    | 0,25       | $A = \frac{(1 - e^{-0,110})}{0,110} = 0,95$ |
| Деревина               | 0,024 | 0,43    | 0,03       | $A = \frac{(1 - e^{-0,024})}{0,024} = 1,0$  |
| Садово-паркові відходи | 0,070 | 0,20    | 0,03       | $A = \frac{(1 - e^{-0,070})}{0,070} = 0,97$ |
| Засоби особис. гігієни | 0,048 | 0,39    | 0,015      | $A = \frac{(1 - e^{-0,048})}{0,048} = 0,98$ |
| Гума та шкіра          | 0,048 | 1,75    | 0,025      | $A = \frac{(1 - e^{-0,048})}{0,048} = 0,98$ |

3) потенціал утворення метану в рік  $i$ , ( $L_{0j,i}$ , т  $CH_4$ /тТПВ) визначаємо за формулою (3):

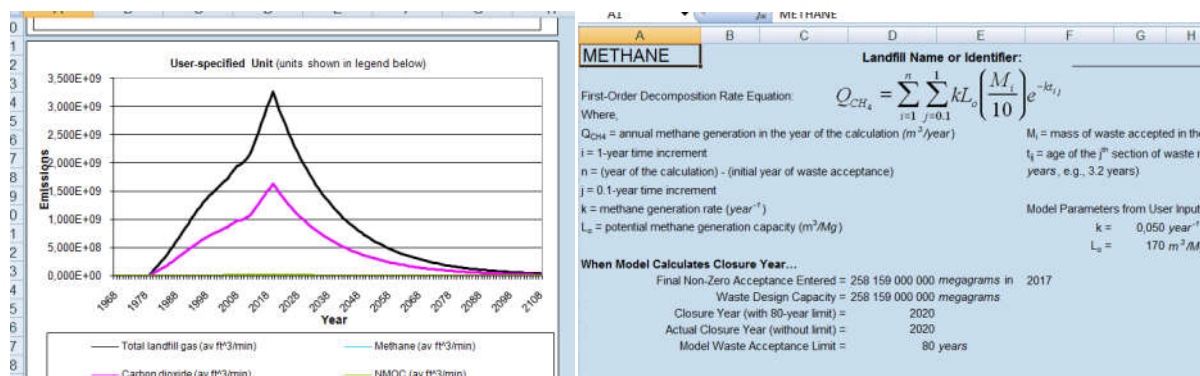
**Табл. Г4. Розрахунок  $L_{0j,i}$ , т  $CH_4$ /тТПВ**

| Категорія ТПВ          | $DOC_i$ | $L$ для кожного компонента в 2017 році                                       |
|------------------------|---------|--|
| Папір і картон         | 0,40    | $L_{2017,1} = 0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{12} \cdot 0,5 = 0,07$  |
| Текстиль               | 0,24    | $L_{2017,2} = 0,24 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{12} \cdot 0,5 = 0,04$ |
| Харчові відходи        | 0,15    | $L_{2017,3} = 0,15 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{12} \cdot 0,5 = 0,03$ |
| Деревина               | 0,43    | $L_{2017,4} = 0,43 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{12} \cdot 0,5 = 0,07$ |
| Садово-паркові відходи | 0,20    | $L_{2017,5} = 0,20 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot \frac{16}{12} \cdot 0,5 = 0,03$ |





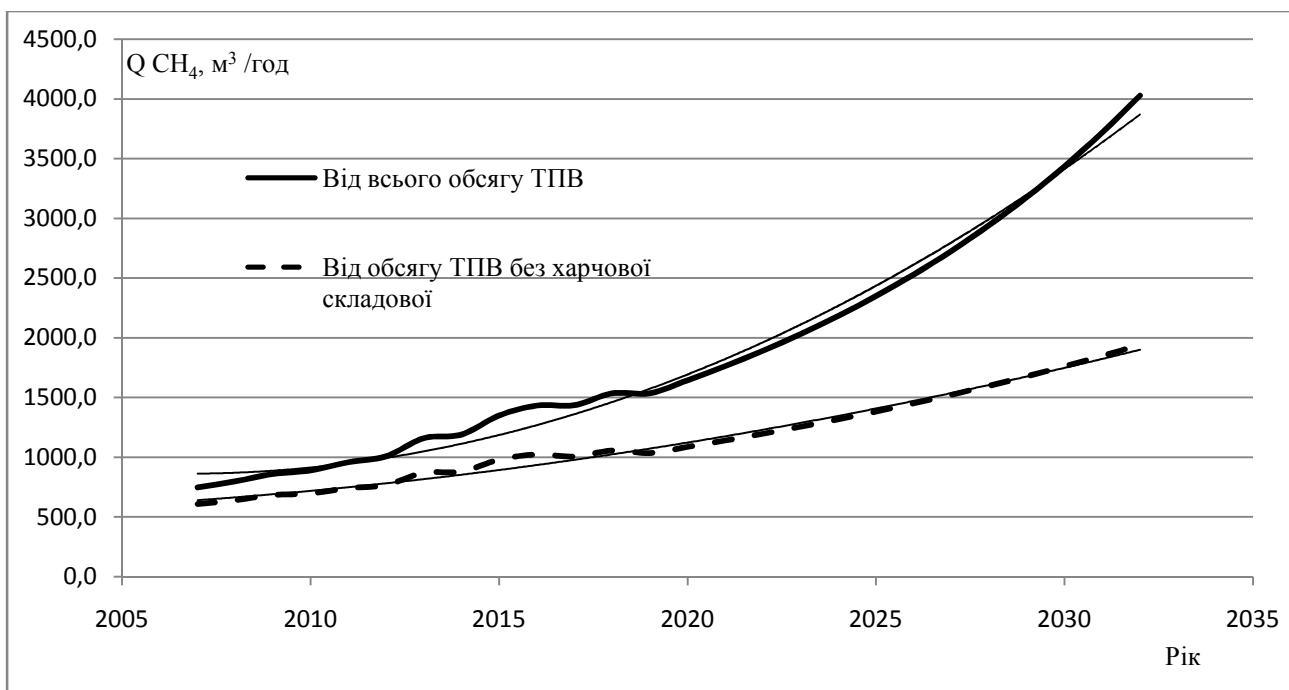




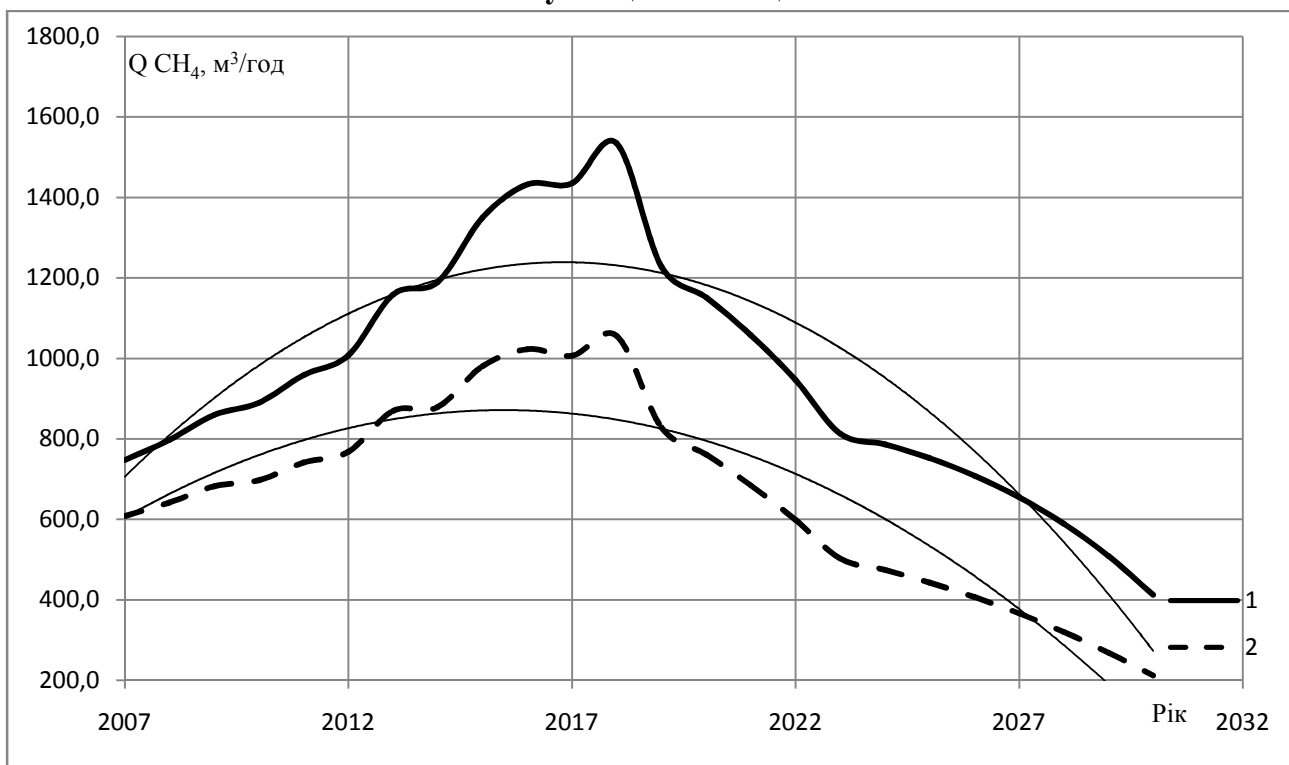
**Рис. Г3. Модульні блоки програмного комплексу  
LandGEM Version 3.02**

**Табл. Г5. Обсяги фактичного та прогнозного (з відходів без харчової  
складової) утворення метану на звалищі**

| Рік  | Обсяг метану, м <sup>3</sup> /год |                          | Зниження викиду метану при<br>вилученні харчової складової, % |
|------|-----------------------------------|--------------------------|---|
|      | з харчовими<br>відходами          | без харчових<br>відходів |   |
| 2007 | 747,1                             | 608,0                    | 18,6  |
| 2008 | 797,2                             | 641,1                    | 19,6  |
| 2009 | 859,2                             | 682,4                    | 20,6  |
| 2010 | 889,7                             | 697,4                    | 21,6  |
| 2011 | 957,8                             | 740,5                    | 22,7  |
| 2012 | 1007,6                            | 767,8                    | 23,8  |
| 2013 | 1158,9                            | 869,8                    | 24,9  |
| 2014 | 1189,9                            | 879,0                    | 26,1  |
| 2015 | 1349,2                            | 980,3                    | 27,3  |
| 2016 | 1432,4                            | 1022,9                   | 28,6  |
| 2017 | 1435,3                            | 1006,6                   | 29,9  |
| 2018 | 1534,4                            | 1056,0                   | 31,2  |
| 2019 | 1228,2                            | 828,7                    | 32,5  |
| 2020 | 1151,1                            | 760,9                    | 33,9  |
| 2021 | 1057,7                            | 684,4                    | 35,3  |
| 2022 | 945,8                             | 598,5                    | 36,7  |
| 2023 | 812,6                             | 502,4                    | 38,2  |
| 2024 | 786,1                             | 474,5                    | 39,6  |
| 2025 | 751,9                             | 442,7                    | 41,1  |
| 2026 | 708,5                             | 406,5                    | 42,6  |
| 2027 | 654,7                             | 365,7                    | 44,1  |
| 2028 | 588,7                             | 319,9                    | 45,7  |
| 2029 | 508,6                             | 268,6                    | 47,2  |
| 2030 | 412,4                             | 211,5                    | 48,7  |



**Рис. Г4.** Динаміка викиду метану зі звалища ТПВ з поліноміальною кривою від обсягів відходів з харчовою складовою та без неї при збереженні тенденції експлуатації звалища



**Рис. Г5.** Динаміка викидів метану на звалищі ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри» в процесі розкладання маси відходів з харчовою складовою (1) та без неї (2) при впровадженні техніко-технологічних заходів на звалищі

## ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВПРОВАДЖЕННЯ ЛІНІЇ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОМПОСТУВАННЯ ХАРЧОВОЇ СКЛАДОВОЇ ТПВ

### 1. Розрахунок капітальних вкладень на розробку нового технічного рішення

Для будівництва підприємства з сортування та утилізації ТПВ пропонується використати готове рішення заводу МБО-Т виробництва фірми ТЕННІХ, Хорватія. МБО-Т заводи – це типові модульні будівлі з продуктивністю переробки відходів: від 20 до 40 тон/годину. Потужність заводу дозволяє переробити 100% змішаних відходів, які поступають для сортування та подальшого використання, загальною потужністю від 20 до 40 тон/год, 140 000 – 220 000 т/рік.

Окремо пропонується впровадити лінію удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ з використанням мінеральних або мікробіологічних добавок, тому при розрахунках не враховано вартість введення в експлуатацію заводу в цілому.

Капітальні вкладення на розробку нового технічного рішення – встановлення лінії удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ – в загальному випадку складаються з відповідних витрат и розраховуються за формулою:

$$K = Z_p + Z_{\text{р}} + Z_{\text{дод}} + Z_{\text{н}} + A_{\text{обл}} + M + K_{\text{в}} + B_{\text{ел}} + I_{\text{в}}, \quad (1)$$

де  $Z_0$  – основна заробітна плата розробників, грн.;  $Z_{\text{р}}$  – основна заробітна плата працівників, грн.;  $Z_{\text{дод}}$  – додаткова заробітна плата працівників, грн.;  $Z_{\text{н}}$  – нарахування на заробітну плату, грн.;  $A_{\text{обл}}$  – амортизація обладнання, приміщень та нематеріальних ресурсів для розробки нового рішення, грн.;  $M$  – витрати на матеріали, які були використані на розробку нового технічного рішення, грн.;  $K_{\text{в}}$  – витрати на комплектуючі, які були використані на розробку нового технічного рішення, грн.;  $B_{\text{ел}}$  – витрати на електроенергію для розробки нового технічного рішення, грн.;  $I_{\text{в}}$  – Інші витрати, грн.

Витрати на основну заробітну плату розробників (30) розраховуємо за формулою:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^k \frac{M_{\text{ні}} t_i}{T_{\text{р}}}, \quad (2)$$

де  $k$  – кількість посад розробників, залучених до встановлення нової технологічної лінії;  $M_{\text{ні}}$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.;  $t_i$  – число днів роботи конкретного розробника, грн.;  $E_{\text{р}}$  – середнє число робочих днів в місяці,  $E_{\text{р}}=20 \dots 24$  дні.

Проведені розрахунки:

**Таблиця Д1. Витрати на заробітну плату розробників**

| Найменування посади | Кількість | Місячний посадовий оклад | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату |
|---------------------|-----------|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| Керівник проекту    | 1         | 6962,0                   | 24                | 6962,0                     |
| Інженер             | 2         | 10796,7                  | 24                | 10796,7                    |
| Технолог            | 2         | 10796,7                  | 24                | 10796,7                    |
| Технік              | 4         | 15040,92                 | 24                | 15040,92                   |
| Всього              |           |                          |                   | $3_0=43596,3$              |

Витрати на основну заробітну плату працівників ( $3_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$3_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (3)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка працівника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн./год;  $t_i$  – час роботи працівника на визначеній  $i$ -тій технологічній операції при виготовленні одного виробу, год.

Погодинну тарифну ставку працівника відповідного розряду  $C_i$  визначимо за формулою:

$$C_i = C_1 \cdot K_i, \quad (4)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Д2);  $C_1$  – тарифна ставка першого розряду, згідно з чинним законодавством.  $C_1 = 3723$  грн./місяць.

**Таблиця Д2. Міжкваліфікаційні співвідношення для встановлення тарифних ставок робітникам**

| Розряд     | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------|-----|------|------|------|------|------|
| Коефіцієнт | 1,0 | 1,04 | 1,25 | 1,45 | 1,67 | 1,87 |

Витрати на основну заробітну плату працівників технологічної лінії зведено до табл. Д3.

**Таблиця Д2. Величина витрат на основну заробітну плату працівників**

| Найменування робіт | Тривалість операції, год | Розряд роботи | Погодинна тарифна ставка | Кількість посад |
|--------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|
| Керівництво        | 160                      | 6             | 46,35                    | 1               |
| Оператор           | 192                      | 3             | 24,23                    | 3               |
| Технолог           | 160                      | 6             | 46,35                    | 1               |
| Технік             | 192                      | 2             | 20,17                    | 6               |

$$3_p = 46,35 \cdot 8 + 3 \cdot (24,23 \cdot 8) + 46,35 \cdot 8 + 6 \cdot (20,17 \cdot 8) = 2293,0 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата розробників та працівників розраховується як 10...15% від суми основної заробітної плати розробників та працівників лінії за формулою:

$$З_{\text{дод}} = Н_{\text{дод}}(З_0 + З_p), \quad (5)$$

де  $Н_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати.

$$З_{\text{дод}} = 0,15 \cdot (43596,3 + 2293,0) = 6883,3 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату розробників та працівників розраховується як єдиний соціальний внесок роботодавця – 22% – від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою:

$$З_n = (З_0 + З_p + З_{\text{дод}}) \cdot Н_{\text{зп}}, \quad (6)$$

де  $Н_{\text{зп}}$  – норма нарахування на заробітну плату працівників.

$$З_n = (43596,3 + 2293 + 6883,3) \cdot 0,22 = 11610,0 \text{ грн.}$$

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщення можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_b \cdot t_{\text{вик}}}{T_b \cdot 12}, \quad (7)$$

де  $Ц_b$  – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувалися для встановлення нової технологічної лінії, грн.;  $t_{\text{вик}}$  – термін використання обладнання, приміщень під час встановлення, місяців;  $T_b$  – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років, згідно податкового законодавства.

Для розрахунку амортизації нематеріальних ресурсів використовується така формула:

$$A_{\text{нр}} = Ц_{\text{нр}} \cdot Н_a \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (8)$$

де  $Н_a$  – норма амортизації ( $Н_a = 10...15\%$ ).

**Таблиця ДЗ. Амортизаційні відрахування**

| Найменування обладнання | Балансова вартість | Строк використання, років | Термін використання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн.                                |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|---|
| Бульдозер               | 1257050            | 20                        | 1                            | $A_{\text{обл}} = \frac{1257050 \cdot 1}{20 \cdot 12} = 5237,7$ |
| Камаз                   | 821252             | 20                        | 1                            | 3421,9  |
| Автомобільні ваги       | 49600              | 20                        | 1                            | 206,7   |
| Конвеєрна стрічка       | 22500              | 20                        | 1                            | 93,8  |
| Дробарка                | 98000              | 20                        | -                            |   |
| Біотермічний барабан    |                    | 20                        | -                            |   |

| Найменування обладнання | Балансова вартість | Строк використання, років | Термін використання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн.                                |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|---|
| Центрифуга              |                    | 20                        | -                            |   |
| Компресор               | 20935,2            | 20                        | -                            |   |
| Труби для аерації       | 15000,0            | 20                        | 1                            | 62,5  |
| Нематеріальні ресурси   | 100000             | 0,083                     | 1                            | $A_{\text{нр}} = 100000 \cdot 0,083 \cdot \frac{1}{12} = 694,4$ |

$$A_{\text{обл}} = 9810,3 \text{ грн}$$

Витрати на матеріали (М), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \cdot \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (9)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -того найменування, кг;  $n$  – кількість видів матеріалів;  $C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -того найменування, грн./кг;  $K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат ( $K_j=1,1 \dots 1,15$ );  $B_j$  – маса відходів  $j$ -того найменування, грн./кг;  $C_{\text{в}j}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн./кг.

$$\begin{aligned}
 M &= (5000 \cdot 0,46 \cdot 1,15) + (5000 \cdot 1 \cdot 1,15) + (5000 \cdot 0,44 \cdot 1,15) \\
 &+ (2000 \cdot 3,2 \cdot 1,15) + (10000 \cdot 2,4 \cdot 1,15) + (1000 \cdot 0,1 \cdot 1,15) \\
 &(10 + 10 + 5 + 5 + 50 + 10) = 45795 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

**Таблиця Д4. Витрати на матеріали**

| Найменування матеріалу, марка, тип, сорт | Ціна за 1 кг, грн | Норма витрат, кг | Величина відходів, кг | Ціна відходів, грн./кг |
|--|-------------------|------------------|-----------------------|------------------------|
| Пісок Вознесенський, (крупнозернистий)   | 0,46              | 5000             | 10                    | 1                      |
| Бетон, М35, F25                          | 1,0               | 5000             | 10                    | 1                      |
| Щебень, 40-70                            | 0,44              | 5000             | 5                     | 1                      |
| Керамзит                                 | 3,2               | 2000             | 5                     | 1                      |
| Цемент марка 400                         | 2,4               | 10000            | 50                    | 1                      |
| Глина                                    | 0,1               | 1000             | 10                    | 1                      |

Витрати на комплектуючі вироби ( $K_v$ ), які використовують при розробці одиниці нової технологічної лінії, розраховуються згідно з їх номенклатурою:

$$K_v = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j, \quad (10)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$ -го виду, шт.;  $C_j$  – покупна ціна комплектуючих  $j$ -го виду, грн.;  $K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ ).

**Таблиця Д5. Витрати на комплектуючі**

| Найменування комплектуючих | Кількість, шт | Ціна за штуку, грн | Сума, грн |
|----------------------------|---------------|--------------------|-----------|
| Бульдозер                  | 1             | 1257050            | 1257050   |
| Камаз                      | 1             | 821252             | 821252    |
| Автомобільні ваги          | 1             | 49600              | 49600     |
| Конвеєрна стрічка          | 2             | 22500              | 45000     |
| Дробарка                   | 2             | 98000              | 196000    |
| Біотермічний барабан       | 1             | 157869             | 157869    |
| Центрифуга                 | 1             | 113450             | 113450    |
| Компресор                  | 2             | 20935,2            | 41870,4   |
| Труби для аерації          | 600 м         | 50грн/м            | 30000     |
| Кабель                     | 500 м         | 93грн/м            | 46500     |
| Арматура                   | 2 т           | 18500грн/т         | 37000     |
| Електродріль               | 3             | 2500               | 7500      |
| Лопати                     | 10            | 499                | 4999      |
| Перфоратор                 | 3             | 2241               | 6723      |
| Зварювальний апарат        | 2             | 7120               | 14240     |
| Бетонозмішувач             | 2             | 7023               | 14046     |

$$K_b = \sum_{j=1}^n 116962 \cdot 1,15 = 3253411,4 \text{ грн}$$

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою:

$$B_e = \sum_{j=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{впi}}{\eta}, \quad (11)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;  $t_i$  – тривалість роботи обладнання на певній  $i$ -й технологічній операції при виготовленні одного виробу або на етапі розробки, год;  $C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн.;  $C_e=1,79$  грн/кВт;  $K_{впi}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{впi}=0,7$ ;  $\eta$  – коефіцієнт корисної користі обладнання,  $\eta=0,83$ .

$$\begin{aligned}
 B_e &= 25 \left( 0,018 \cdot 124 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + 2 \left( 3,5 \cdot 60 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + 3 \\
 &\quad \left( 0,6 \cdot 60 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + 3 \left( 1,3 \cdot 60 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + 2 \\
 &\quad \left( 0,55 \cdot 60 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) = 83,9 + 631,5 + 162,4 + 433,0 + 99,2 \\
 &= 1410,8 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

**Таблиця Д6. Витрати на електроенергію**

| Найменування обладнання | Встановлена потужність, кВт | Тривалість роботи, год |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Лампи СД                | 0,018                       | 124                    |
| Зварювальний апарат     | 3,5                         | 60                     |
| Електродріль            | 0,6                         | 60                     |
| Перфоратор              | 1,3                         | 60                     |
| Бетонозмішувач          | 0,55                        | 60                     |

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати (витрати на управління організацією, оплату службових відряджень, витрати на утримання основних засобів тощо), адміністративні витрати (оплату юридичних та аудиторських послуг, проведення зборів тощо) та інші операційні витрати (штрафи, пеня, неустойки тощо).

Інші витрати доцільно прийняти як 200...3000 % від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які брали участь в розробці нової технологічної лінії. Величину витрат  $I_v$  розраховують за формулою:

$$I_v = (2 \dots 3)(Z_0 + Z_p). \quad (12)$$

$$I_v = 2,5 \cdot (43596,3 + 2293) = 114,723 \text{ грн.}$$

Таким чином, капітальні вкладення на розробку нової технологічної лінії складатимуть:

$$K = 43596,3 + 2293 + 6883,3_p + 11610,0 + 9810,3 + 45795 + 3253411,3 + 1410,8 + 114723 = 3489532,1 \text{ грн}$$

## **2. Розрахунок повної собівартості одиниці продукції на лінії удосконаленої технології компостування харчової складової ТПВ**

Собівартість продукції – найважливіший показник, який відображає в грошовій формі всі витрати підприємства, пов'язані з виробництвом та реалізацією продукції. Для обчислення собівартості продукції важливе значення має визначення складу витрат, які до неї включаються – калькулювання.

Повна собівартість одиниці продукції включає такі витрати:

1. сировина і матеріали;
2. куповані комплектуючі вироби, напівфабрикати, роботи і послуги виробничого характеру сторонніх підприємств і організацій;
3. паливо і енергія на технологічні цілі;
4. основна заробітна плата робітників;
5. відрахування на соціальні заходи від зарплати працівників;
6. амортизація обладнання;
7. інші прямі виробничі витрати;
8. витрати на збут.

Окремі статті (сировина і матеріали, комплектуючі вироби, основна заробітна плата робітників) були розраховані вище.



Решту витрат розрахуємо наступним чином:

Додаткова заробітна плата працівників на технологічній лінії розраховується як 10-15 % від суми основної заробітної плати працівників:

$$З_{\text{дод}} = Н_{\text{дод}} * З_{\text{р}}, \quad (13)$$

$$З_{\text{дод}} = 0,15 * 2293 = 343,95 \text{ грн}$$

Нарахування на заробітну плату працівників розраховується як єдиний соціальний внесок роботодавця – 22% – від суми основної та додаткової заробітної плати розробників і робітників за формулою:

$$З_{\text{н}} = (З_{\text{р}} + З_{\text{дод}}) * Н_{\text{зп}}, \quad (14)$$

де –  $Н_{\text{зп}}$  – норма нарахування на заробітну плату працівників.

$$З_{\text{н}} = (343,95 + 2293) * 0,22 = 580,13 \text{ грн.}$$

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання та приміщення можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою (7). Амортизація для нематеріальних ресурсів недоцільна, оскільки сумарний час їх використання є відносно невагомим у порівнянні із сумарним часом використання інших виробничих фондів.

**Таблиця Д7. Амортизаційні відрахування**

| Найменування обладнання | Балансова вартість | Строк використання, років | Термін використання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн.                                   |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------|--|
| Бульдозер               | 1257050            | 20                        | 12                           | $A_{\text{обл}} = \frac{1257050}{20} \cdot \frac{12}{12} = 5237,7$ |
| Камаз                   | 821252             | 20                        | 12                           | 3421,9   |
| Автомобільні ваги       | 49600              | 20                        | 12                           | 2480,0   |
| Конвеєрна стрічка       | 22500              | 20                        | 12                           | 1125,0   |
| Дробарка                | 98000              | 20                        | 12                           | 4900,0   |
| Біотермічний барабан    | 157869             | 20                        | 12                           | 7893,45  |
| Центрифуга              | 113450             | 20                        | 12                           | 5672,5   |
| Компресор               | 20935,2            | 20                        | 12                           | 1046,76  |
| Труби для аерації       | 30000,0            | 20                        | 12                           | 1500   |

$$A_{\text{обл}} = 33277,31 \text{ грн}$$

Витрати на матеріали (М), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою (9).

$$\begin{aligned}
 M &= (5000 \cdot 0,46 \cdot 1,15) + (5000 \cdot 1 \cdot 1,15) + (5000 \cdot 0,44 \cdot 1,15) \\
 &+ (2000 \cdot 3,2 \cdot 1,15) + (10000 \cdot 2,4 \cdot 1,15) + (1000 \cdot 0,1 \cdot 1,15) \\
 &(10 + 10 + 5 + 5 + 50 + 10) = 45795 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

Таблиця Д8. Витрати на матеріали

| Найменування матеріалу, марка, тип, сорт              | Ціна за 1 кг, грн | Норма витрат, кг | Примітка           |
|---|-------------------|------------------|--------------------|
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$ | 11,8              | 112              | мінеральна добавка |
| $\text{KH}_2\text{PO}_4$                              | 48                | 34,7             |                    |
| $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$            | 9,5               | 17,4             |                    |
| Вода  | 9,76              | 100              |                    |
| Грунт   | 0,1               | 100              | мікробіологічна    |

$$\begin{aligned}
 M &= (11,8 \cdot 112 \cdot 1,15) + (48 \cdot 34,7 \cdot 1,15) + (17,4 \cdot 9,5 \cdot 1,15) \\
 &+ (9,76 \cdot 100 \cdot 1,15) + (0,1 \cdot 100 \cdot 1,15) = 4862,8 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховують за формулою (11).

Таблиця Д9. Витрати на електроенергію

| Найменування обладнання | Встановлена потужність, кВт | Тривалість роботи, год |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Лампи СД                | 0,018                       | 160                    |
| Конвеєрна стрічка       | 15 кВт                      | 80                     |
| Дробарка                | 7,5                         | 160                    |
| Біотермічний барабан    | 2,5                         | 160                    |
| Центрифуга              | 1,5                         | 160                    |
| Компресор               | 2,4                         | 160                    |

$$\begin{aligned}
 B_e &= 25 \cdot \left( 0,018 \cdot 160 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + \left( 15 \cdot 80 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) \\
 &+ \left( 7,5 \cdot 160 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + \left( 2,5 \cdot 160 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + \\
 &\quad \left( 1,5 \cdot 160 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) + \left( 2,4 \cdot 160 \cdot 1,79 \cdot \frac{0,7}{0,83} \right) \\
 &= 64,5 + 1804,32 + 1804,3 + 601,4 + 360,9 + 577,4 = 5212,8 \text{ грн}
 \end{aligned}$$

Інші витрати доцільно прийняти як 200...300 % від суми основної заробітної плати робітників за формулою:

$$I_B = (2 \dots 3) \cdot (3_p). \quad (15)$$

$$I_B = 2,5 \cdot 2293 = 5732,5 \text{ грн.}$$

**Таблиця Д10. Планова калькуляція собівартості продукції**

| Статті витрат, річні   | Всього, грн |
|--|-------------|
| Плановий об'єм виробництва, т/рік                              | 45000       |
| Сировина і основні матеріали                                   | 3150757     |
| Допоміжні матеріали  | 1500        |
| Транспортно-заготівельні витрати                               | 18500       |
| Паливо, енергія на технологічні цілі                           | 62553,6     |
| Основна і додаткова заробітна плата                            | 38604,96    |
| Амортизаційні відрахування                                     | 33277,31    |
| Витрати на контроль технологічного процесу та якості продукції | 25321       |
| Витрати на збут  | 34125       |
| Інші витрати основної діяльності                               | 68790       |
| Разом витрат (собівартість)                                    | 3433428,87  |
| Собівартість виготовлення 1 т компосту                         | 76,3        |
| Ринкова ціна 1 т компосту                                      | 300         |

### **3. Визначення економічної ефективності інвестицій на впровадження лінії удосконаленої технології компостування**

На даному етапі економічної оцінки визначають період окупності (ПО) та індекс прибутковості (ІП).

$$ПО = \frac{KI}{ПЧ+A}, \quad (16)$$

де KI – розмір інвестицій; A – амортизація; ПЧ – приріст чистого прибутку, знаходимо за формулою:

$$ПЧ=0,82*П, \quad (17)$$

де П – прибуток, який отримає підприємство в результаті впровадження технологічної лінії компостування, визначають як різницю між доходом (Д) і сумарними витратами (В)

$$П=Д-В, \quad (18)$$

Якщо реалізовувати виготовлений на технологічній лінії компост за ціною вдвічі менше ринкової (150 грн/т проти 300 грн/т) для підвищення конкурентоспроможності продукту, то прибуток лінії складатиме:

$$П=40000*150-3433428,9=2666571,1 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Приріст чистого прибутку складатиме: } ПЧ=0,82*2666571,1=2104588,3 \text{ грн.}$$

Таким чином, період окупності технології:

$$ПО = \frac{3433428,87}{2104588,3+33277,31} = 1,6 \text{ року.}$$

Варто зауважити, що вартість готової технологічної лінії сортування та утилізації ТПВ за проектом заводу МБО-Т виробництва фірми ТЕННІХ, Хорватія складає 14000000 грн. Якщо розглядати технологічну лінію компостування як додаткову до основної технології, отримаємо

$$ПО = \frac{17433428,87}{2104588,3+33277,31} = 8,15 \text{ року.}$$

Таким чином, при реалізації комплексу технологічних заходів на звалищі період окупності складатиме 6-10 років, проте дозволить налагодити систему управління з відходами, знизити рівень екологічної небезпеки та отримати високий еколого-економічний ефект.

Грошовий потік від проекту  $ГП_t$  у  $t$ -му періоді визначають за формулою:

$$ГП_t = ЧП_t + A_t \quad (19)$$

$$ГП_t = 2137865,6 \text{ грн}$$

Приведений чистий грошовий потік технологічної лінії  $ЧГП_t$  в  $t$ -му році від проекту визначають:

$$ЧГП_t = \frac{ГП_t}{(1+\alpha)^t}, \quad (20)$$

де  $\alpha$  – реальна ставка дисконтування грошових сум,  $\alpha$  17%

$$ЧГП_t = \frac{2137865,6}{18} = 118770,3 \text{ грн}$$

**Таблиця Д11. Показники ефективності інвестицій**

| Показники                                   | Встановлення нової лінії |
|---|--------------------------|
| ЧПП (Чистий приведений прибуток), тис. грн. | 119                      |
| ІП (Індекс прибутковості), од.              | 1                        |
| ПО (період окупності), років                | 1,6                      |

Таким чином, враховуючи, що продукти, що випускаються, рентабельні і приносять прибуток, проект рекомендується прийняти до реалізації. Запропонована удосконалена технологія компостування харчової складової ТПВ є екологічно безпечною та економічно обґрунтованою, про що свідчить виконана еколого-економічна оцінка технологій утилізації ТПВ.

Окупність впровадженої технології становить 1,6 років, в комплексі сміттяпереробного заводу – 6-10 років, собівартість отриманого компосту становить 76 грн за тону, що в 4 рази менше ринкової вартості. Реалізація удосконаленої технології дозволить зберегти природно-ресурсний потенціал ґрунтів та забезпечити стабільно високі показники еколого-економічної ефективності за рахунок скорочення обсягів ТПВ.

Україна  
Одеська міська рада  
Департамент міського господарства  
КОМУНАЛЬНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"ОДЕСКОМУНТРАНС"  
31185678  
65031, м. Одеса, вул. Бр. Поджіо, 4  
Тел.: (048) 705-39-34  
e-mail: odeskommuntrans@gmail.com



Україна  
Одеський городський совет  
Департамент городского хозяйства  
КОММУНАЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
"ОДЕСКОММУНТРАНС"  
31185678  
65031, г. Одесса, ул. Бр. Поджіо, 4  
Тел.: (048) 705-39-34  
e-mail: odeskommuntrans@gmail.com

від 24.05.18 р. № 85  
на № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### Акт впровадження / використання результатів кандидатської дисертаційної роботи

Здобувачем наукового ступеня кандидата технічних наук Сагдесвою Ольгою Анісівною за результатами проведеного дослідження щодо впровадження технології компостування харчової складової твердих побутових відходів розроблено і впроваджено в діяльність профільного комунального підприємства «Одескомунтранс» з вивезення сміття рекомендації з проведення утилізації харчової компоненти твердих побутових відходів (на прикладі звалища ТПВ-1 «Дальницькі кар'єри»). Зокрема, запропоновано систему організаційно-технічних заходів щодо мінімізації пливу звалища ТПВ на довкілля та стратегію переходу на сучасну технологію утилізації ТПВ. Розроблена здобувачем удосконалена технологія компостування, що захищена патентом України на корисну модель (заявка № u201804983, заявка № u201804987), при наявності сортувальних ліній на полігоні дозволить суттєво зменшити антропогенне навантаження на компоненти довкілля за рахунок зменшення обсягів складованого матеріалу, скоротити викиди метану з території звалища, зменшити повну еквівалентну емісію парникових газів, отримати гігієнічно безпечну нетоксичну гумусоподібну речовину, яка з успіхом використовується, в першу чергу, як стимулятор відновлення ґрунтових екосистем, і в другу – як органічне добриво.

Запроваджені наукові розробки Сагдесвої О.А. щодо удосконалення технології компостування харчової складової твердих побутових відходів в діяльність КП «Одескомунтранс» сприяють підвищенню ефективності дотримання природоохоронного законодавства України в галузі поводження з відходами, рекультивації території звалища твердих побутових відходів, врахуванню екологічних аспектів взаємодії звалища з компонентами навколишнього середовища.

Апробація результатів дослідження Сагдесвої О.А. свідчить про реальність, екологічну, соціальну та практичну значимість запропонованої технології компостування, сприяння запобігання забрудненню довкілля, підвищенню екологічної безпеки в галузі поводження з відходами.

Т. в. о. Директора КП «Одескомунтранс»



В. О. Ковальчук





**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КОЛЕДЖ НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ**  
**СЕРВІСУ**  
**ОДЕСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

65088, м. Одеса, вул. Левітана, 46-а

Телефони: директора – 784-70-02  
 факс – 784-70-03

18.09.2018 № 43/13  
 На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**  
 в навчальний процес Коледжу нафтогазових технологій,  
 інженерії та інфраструктури сервісу ОНАХТ  
 результатів досліджень та розробок,  
 одержаних при виконанні дисертаційної роботи  
 Сагдєєвої Ольги Анісівни

Основні положення та результати дисертаційного дослідження Сагдєєвої Ольги Анісівни на тему «Удосконалення технології компостування харчової складової твердих побутових відходів» за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека впроваджені у навчальний процес КНТПС ОНАХТ та застосовуються при викладанні дисциплін: «Екологічний моніторинг», «Екологічна геохімія», «Рациональне природокористування» для студентів III-IV курсів спеціальності 101 «Екологія». Зокрема, у навчальному процесі впроваджено:

- оцінка рівня екологічної небезпеки звалищ ТПВ індексними та експертними методами (змістовний модуль 3 «Методи дослідження якості довкілля», Екологічний моніторинг);
- оцінка рівня екологічного ризику (змістовний модуль 3 «Методи дослідження якості довкілля», Екологічний моніторинг);
- визначення екологічних аспектів взаємодії звалища ТПВ з елементами довкілля (змістовний модуль 5 «Еколого-геохімічна оцінка природно-техногенних об'єктів», Екологічна геохімія);
- перспективи розвитку та переваги біотехнологічних методів в рациональному природокористуванні (змістовний модуль 4 «Технологічна складова рационального природокористування», Рациональне природокористування);
- удосконалена технологія компостування харчової складової твердих побутових відходів (змістовний модуль 4 «Технологічна складова рационального природокористування», Рациональне природокористування).

Додаток. Витяг з протоколу засідання циклової комісії «Прикладна екологія»

Заступник директора коледжу  
 з навчальної роботи



Т.В. Кунуп

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Ректор Одеської національної  
академії харчових технологій

д.т.н., проф. Б.В. Єгоров

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів наукових досліджень за дисертацією

Ми, що нижче підписалися, проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи Ф.А. Трішин, з одного боку, проректор з наукової роботи доцент Н.М. Поварова, з іншого боку, даним актом підтверджуємо, що результати за дисертацією Сагдеевої Ольги Анісівни на тему «Удосконалення технології компостування харчової складової твердих побутових відходів» за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека впроваджені у навчальний процес у вигляді лекційних курсів та практичних робіт з дисциплін «Управління екологічною безпекою», «Екологічний менеджмент та аудит», «Технології захисту навколишнього середовища», «Поводження з муніципальними відходами», «Екологічний контроль» для студентів ОНАХТ спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» при викладанні цих предметів.

Додаток. Витяг з протоколу засідання кафедри екології та природоохоронних технологій.

Проректор з науково-педагогічної  
та навчальної роботи  
\_\_\_\_\_ Ф.А. Трішин

Проректор з наукової роботи  
\_\_\_\_\_ Н.М. Поварова

\_\_\_\_\_

МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"  
(УКРПАТЕНТ)**

вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601, Україна Тел.: (044) 494-05-05 Факс: (044) 494-05-06  
E-mail: office@ukrpatent.org

02.07.2018 № 19704/ЗУ/18

Висновок, затверджений Міністерством економічного розвитку і торгівлі України, набув статусу рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель.

Адреса для листування  
ОНАХТ, відділ нормативно-технічного забезпечення та метрології (ВНТЗтаМ), вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

Стосується заявки № 2018 04987  
(при листуванні просимо посилається на цей №)

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Директор підприємства інтелектуальної власності Міністерства економічного розвитку і торгівлі України


**В.О.Жалдак**

**Висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель за результатами формальної експертизи**

(21) Реєстраційний номер заявки 2018 04987

(22) Дата подання 07.05.2018

(71) Заявник(и)

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

(72) Повне ім'я винахідника(ів)

**Крусір Галина Всеволодівна, Сагдєєва Ольга Анісівна, Цикало Альфред Леонідович, Коваленко Ірина Вікторівна, Гаркович Олексій Леонітьович**

(73) Власник(и) патенту

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ,  
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, UA**

(51) МПК (2018.01)

**C02F 7/00**

Оригіналом цього документа є електронний документ з підписаними реквізитами, у тому числі з накладенням електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та оформленою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 0821120718.

Паперовий примірник цього документа є ідентичним із документальною інформацією та реквізитами паперовою копіїю згаданого електронного документа.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розміщена на сторінці <http://base.ipr.gov.ua/search/lev5nav/>

2. Виконати пошук за номером заявки.

3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Дивантожети оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.



(54) Назва корисної моделі

u201804987

2

**СПОСІБ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

За результатами формальної експертизи, проведеної відділом Державного підприємства "Український інститут інтелектуальної власності" відповідно до ч. 8 ст. 16 Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" (далі - Закон), встановлено, що заявка **відповідає вимогам ст. 12 Закону.**

Обсяг правової охорони визначається формулою корисної моделі, що додається.

Державна реєстрація деклараційного патенту України на корисну модель відповідно до ч. 2 ст. 22 Закону буде здійснена за умови сплати **державного мита** за його видачу і збору за публікації про видачу деклараційного патенту. Згідно з Порядком сплати зборів за дії, пов'язані з охороною прав на об'єкти інтелектуальної власності, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 23.12.2004 р. № 1716 із змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2007 № 1148, (далі - Порядок), розмір цього збору (код 12400) становить 20 грн, оскільки заявка містить сумарно 10 аркушів опису, креслень, формули корисної моделі і реферату.

Додаток до рішення: на 1 арк.

Начальник відділу

Виконавець  
ТелефонЯвтушинська І.В.  
494-05-47

В.А. Мельник

Спеціалізо  
БД "Винахи  
(корисні  
моделі) в  
Україні"

Бібліографічні дані до патенту на корисну модель # 128399

**СПОСІБ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

| Бібліографічні дані   | Реферат (uk)                 | Реферат (ru) | Реферат (en) | Опис                    |
|---|------------------------------|--------------|--------------|-------------------------|
| Патент на корисну модель  |                              |              |              |                         |
| очікується перша сплата збору за підтримання чинності   |                              |              |              |                         |
| (11) <b>128399</b>  | (51) МПК (2006)<br>C02F 7/00 |              |              |                         |
| (24) 10.09.2018   |                              |              |              |                         |
| (21) u201804987   | (22) 07.05.2018              |              |              |                         |
| (46) 10.09.2018, Бюл. № 17  |                              |              |              |                         |
| (71) <b>ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ (UA)</b>   |                              |              |              |                         |
| (72) Крусір Галина Всеволодівна (UA); Сагдеева Ольга Анатоліївна (UA); Цикало Альфред Леонідович (UA); Коваленко Ірина Вікторівна (UA); Гаркович Олексій Леонтійович (UA) |                              |              |              |                         |
| (73) <b>ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA)</b>   |                              |              |              |                         |
| (98) ОНАХТ, відділ нормативно-технічного забезпечення та метрології (ВНТЗтаМ)<br>вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA)  |                              |              |              |                         |
| (54) <b>СПОСІБ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</b>  |                              |              |              |                         |
| (57)  |                              |              |              | ВІДКРИТИ У НОВОМУ ВІКНІ |

1. Спосіб компостування органічної частини твердих побутових відходів, що включає підготовку сировини, подрібнення, сушіння подрібненої сировини і зброджування в заданому температурному режимі, який **відрізняється** тим, що як сировину використовують суміш харчових, сільськогосподарських і садово-паркових відходів при їх масовому співвідношенні 1:1:1, перед зброджуванням до висушеної рослинної сировини додають 8,3-8,5 мас. % ґрунту - чорнозему південного, малогумусного і 10 мас. % мінеральної добавки, а зброджування здійснюють протягом 40-45 днів в мезофільному температурному режимі при 18-20 °C або в термофільному режимі при температурі 50-60 °C.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як харчові відходи використовують очистки картоплі, кабачків, моркви та листя капусти, як сільськогосподарські відходи використовують посипи полини *Amaranthaceae* а як садово-паркові відходи використовують листяний опал

МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ

**ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ"  
(УКРПАТЕНТ)**

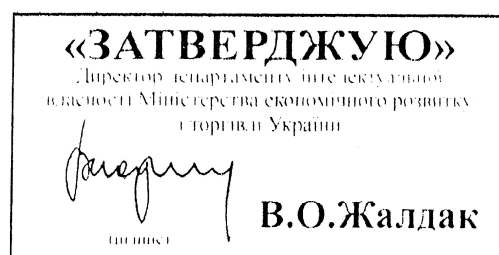
вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601, Україна Тел.: (044) 494-05-05 Факс: (044) 494-05-06  
E-mail: office@ukrpatent.org

02.07.2018 № 19670/ЗУ/18

Висновок, затверджений Міністерством економічного розвитку і торгівлі України, набув статусу **рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель**

Адреса для листування  
ОНАХТ, відділ нормативно-технічного забезпечення та метрології (ВНТЗтаМ), вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

Стосується заявки № 2018 04983  
/ при листуванні просимо посилатися на цей № /



**Висновок про видачу деклараційного патенту на корисну модель за результатами формальної експертизи**

(21) Ресстраційний номер заявки **2018 04983**

(22) Дата подання **07.05.2018**

(71) Заявник(и)

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

(72) Повне ім'я винахідника(ів)

**Крусір Галина Всеволодівна, Сагдсва Ольга Анісівна, Цикало Альфред Леонідович, Мадані Марія Михайлівна, Кузнецова Ірина Олександрівна**

(73) Власник(и) патенту

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ,**  
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, UA

(51) МПК (2018.01)

**C02F 7/00**

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 0624120718.

Паперовий примірник цього документа є ідентичною за документарною інформацією та реквізитами паперовою копією зазначеного електронного документа.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з ресстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

u201804983

2

(54) Назва корисної моделі

**СПОСІБ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

За результатами формальної експертизи, проведеної відділом Державного підприємства "Український інститут інтелектуальної власності" відповідно до ч. 8 ст. 16 Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" (далі - Закон), встановлено, що заявка **відповідає вимогам** ст. 12 Закону.

Обсяг правової охорони визначається формулою корисної моделі, що додається.

Державна реєстрація деклараційного патенту України на корисну модель відповідно до ч. 2 ст. 22 Закону буде здійснена за умови сплати **державного мита** за його видачу і збору за публікації про видачу деклараційного патенту. Згідно з Порядком сплати зборів за дії, пов'язані з охороною прав на об'єкти інтелектуальної власності, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 23.12.2004 р. № 1716 із змінами, внесеними постановою Кабінету Міністрів України від 19.09.2007 № 1148, (далі - Порядок), розмір цього збору (код 12400) становить 20 грн, оскільки заявка містить сумарно 10 аркушів опису, креслень, формули корисної моделі і реферату.

Додаток до рішення: на 1 арк.

Начальник відділу

Виконавець Явтушинська І.В.  
Телефон 494-05-47

В.А. Мельник

Спеціалізо  
БД "Винах  
(корисні  
моделі) в  
Україні"

Бібліографічні дані до патенту на корисну модель # 128398

**СПОСІБ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

| Бібліографічні дані  | Реферат (uk)                        | Реферат (ru)  | Реферат (en) | Опис                                    |
|--|-------------------------------------|---|--------------|---|
| <u>Патент на корисну модель</u>  |                                     | очікується перша сплата збору за підтримання чинності |              |   |
| (11) <b>128398</b>   | (51) МПК (2006)<br><b>C02F 7/00</b> |   |              |   |
| (24) <b>10.09.2018</b>   |                                     |   |              |   |
| (21) <b>u201804983</b>   | (22) <b>07.05.2018</b>              |   |              |   |
| (46) <b>10.09.2018, бюл. № 17</b>  |                                     |   |              |   |
| (71) <b>ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ (UA )</b>   |                                     |   |              |   |
| (72) Крусір Галина Всеволодівна (UA ); Сагдеева Ольга Анатоліївна (UA ); Цикало Альфред Леонідович (UA ); Мадані Марія Михайлівна (UA ); Кузнецова Ірина Олександрівна (UA ) |                                     |   |              |   |
| (73) <b>ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA )</b>   |                                     |   |              |   |
| (98) ОНАХТ, відділ нормативно-технічного забезпечення та метрології (ВНТЗтаМ)<br>вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039<br>(UA)  |                                     |   |              |   |
| (54) <b>СПОСІБ КОМПОСТУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ</b>   |                                     |   |              |   |
| (57)   |                                     |   |              | <a href="#">Відкрити у новому вікні</a> |

1. Спосіб компостування органічної частини твердих побутових відходів, що включає підготовку сировини, подрібнення, сушіння подрібненої сировини і зброджування в заданому температурному режимі, який **відрізняється** тим, що як сировину використовують суміші харчових, сільськогосподарських і садово-паркових відходів при їх масовому співвідношенні 1:1:1, перед зброджуванням до висушеної рослинної сировини додають 8,3-8,5 мас.% ґрунту - чорнозему південного малогумусного і 8,5-8,7 мас.% мікробіологічної добавки, а зброджування здійснюють протягом 40-45 днів в мезофільному температурному режимі при 18-20 °С або в термофільному режимі при температурі 50-60 °С.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як харчові відходи використовують очистки картоплі, кабачків, моркви та листя капусти, як сільськогосподарські відходи використовують поспини полини *Amaranthaceae* а як садово-паркові відходи використовують листяний опал

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Сагдеева О.А., Цыкало А.Л. Распространение опасных примесей, сопровождающееся их переходом через границу раздела атмосферный воздух-водная среда. *Холодильная техника и технология*. Одеса: ОНАХТ, 2009. № 1. С. 53–59.

2. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Забезпечення безпеки низькотемпературних великотоннажних сховищ екологічно шкідливих, вибухо- і пожежонебезпечних речовин і матеріалів. *Наукові праці ОНАХТ*. Одеса: ОНАХТ, 2009. Вип. 35. Том 1. С. 74–78.

3. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Определение уровней рисков, связанных с аварийными разливами из крупнотоннажных хранилищ. *Холодильная техника и технология*. Одеса: ОНАХТ, 2010. №4 (126). С. 39–45.

4. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А., Попов Д.В. Математическое моделирование процессов распространения примеси на границе «воздух-вода». *Холодильная техника и технология*. Одеса: ОНАХТ, 2010. № 5 (127). С. 44–48.

5. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Моделирование распространения опасной примеси в атмосфере с учетом ее поглощения водной средой. *Вісник НУК імені адмірала Макарова*. Миколаїв: НУК, 2012. № 2. С. 207–222.

6. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Причины, последствия и уроки крупных химических катастроф (Ионава, Литва, 1989 г.; Техас, США, 2013 г.): колективна монографія /Под ред. Л.Г. Мельника, О.А.Лукаш. Сумы: Сумский государственный университет, 2015. С. 745–753.

7. Sagdeeva O.A., Krusir G.V., Tsykalo A.L., Shpyrko T.V., Leuenberger H.. Organic waste composting using mineral additives. *Харчова наука і технологія*. 2018. Том 12. № 1. С. 45–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.842>.

8. Сагдеева О.А., Крусір Г.В., Цыкало А.Л. Дослідження впливу температурного режиму на перебіг процесів компостування органічного компоненту твердих муніципальних відходів. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: «Харчові технології»*. 2018. Т. 20. № 85. С. 155–161. DOI: 10.15421/nvlvet8528.

9. Сагдеева О.А., Крусір Г.В., Цыкало А.Л. Дослідження процесів компостування харчової складової твердих побутових відходів. *Техногенно-екологічна безпека*. 2018. № 4(2). С. 13–23. DOI: 10.5281/zenodo.1244572.



**Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації:**

10. Tsykalo A., Sagdeeva O., Tkachenko V., Trifonova E. Ecologically strained and potentially hazardous coastal-zone objects in Ukraine: risks of accidents assessment. *Integration Processes and Innovative Technologies. Achievements and Perspectives of Engineering Sciences*: тези доповідей міжнародної наук. конф. (Харків, 19–20 травня 2008 р.). – Харків, 2008. – С. 146–148.

(Форма участі - очна).

11. Сагдєєва О.А. Оценка уровня техногенной безопасности региона при распространении опасных веществ с учетом влияния водных объектов. *Екологічна безпека держави: матеріали Всеукраїнської наук. конф. студентів та аспірантів*. (Київ, 21–24 квітня 2009р.) К.: 2009. – С. 60–61.

(Форма участі - очна).

12. Сагдєєва О.А., Цыкало А.Л. Распространение опасных веществ при авариях: учет влияния водных объектов. *Регіональні екологічні проблеми: тези доповідей II Міжнародної наук. конф. студентів, магістрантів і аспірантів* (Одеса, 21–25 квітня 2009 р.). Одеса, 2009. – С. 271–272.

(Форма участі - очна).

13. Сагдєєва О.А., Цыкало А.Л., П'ятниченко В.В. Сучасна енергетика та газові гідрати: проблема екологічної безпеки. *Humboldt-Kollege «Sciences, engineering and humanities for the energy world*: тези доповідей Міжнародного симпозіуму (Одеса, 27–30 травня, 2009р.). Одеса, 2009. – С. 98–103.

(Форма участі - очна).

14. Сагдєєва О.А., Цыкало А.Л. Автоматизована інформаційна комп'ютерна система моделювання процесів при аварійних розливах і викидах небезпечних речовин та матеріалів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (Microcad-2010)*: тези доповідей XVIII міжнародної наук.-практ. конф. (Харків, 12–14 травня 2010 р.). Харків, 2010. – С. 38–40.

(Форма участі - очна).

15. Tsykalo A.L., Sagdeeva O.A., Blyukher B. Urban safety on the ecological risks' determination aspect. *Еколого-енергетичні проблеми початку XXI століття* матеріали X всеукраїнської наук.-техн. конф. студентів і аспірантів (Одеса, 19–20 квітня 2010 р.). Одеса, 2010. – С. 11–12.

(Форма участі - очна).

16. Цыкало А.Л., Сагдєєва О.А., Blyukher B. Методика розрахунку ризиків, пов'язаних із техногенними аваріями та катастрофами. *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика*: тези доповідей IX

Міжнародної наук.-метод. конф. (Львів, 20–22 травня 2010 р.). Львів, 2010. – С. 56–57.

(Форма участі - очна).

17. Цыкало А.Л., Сагдеева О.А. Новый принцип ранжирования территорий и акваторий по уровню экологического риска. *Актуальні проблеми енергетики і екології*: матеріали XIV Міжнародної конференції (Одеса, 2–23 вересня 2012 р.). Одеса, 2012. – С. 143–145.

(Форма участі - очна).

18. Сагдеева О.А., Цыкало А.Л. Методика определения уровней риска для экологически напряженных и потенциально опасных прибрежных объектов. *Актуальні проблеми енергетики і екології*: матеріали XV Міжнародної конференції (Одеса, 9–11 жовтня 2013 р.). Одеса, 2013. – С. 46–47.

(Форма участі - очна).

19. Sagdeeva O.A., Krusir G.V. Effect of filtrate from the MSW landfills on the quality of decentralized drinking water supply sources. *Вода в харчовій промисловості*: Тези доповідей наук.-практ. конференції (Одеса, 3–4 квітня 2018 р.). Одеса, 2018. – С. 145–148.

(Форма участі - заочна).

20. Сагдеева О.А., Коваленко И.В. Ресурсосберегающее компостирование пищевой составляющей бытовых отходов. *Техника и технология пищевых производств*: матер. XII Міжнародної наук.-техн. конф. (Могильов, 19–20 квітня 2018 р.). Могильов: МГУП, 2018. – Т.2. – С. 413–414.

(Форма участі - заочна).

21. Сагдеева О.А. Методологічні підходи до комплексної оцінки екологічної небезпеки звалищ ТПВ. *Еколого-енергетичні проблеми сучасності*: матеріали XV Всеукраїнської наук.-техн. конф. (Одеса, 13 квітня). Одеса, 2018. – С. 46–47.

(Форма участі - заочна).

22. Сагдеева О.А., Крусір Г.В. Роль комплексної оцінки впливу звалищ твердих побутових відходів на довкілля в управлінні екологічною безпекою. *Ідеї академіка В.І. Вернадського і науково-практичні проблеми сталого розвитку освіти і науки*: матеріали XVIII Міжн. наук.-практ. конф. (Кременчук, 11–13 травня 2018 року). – Кременчук, 2018. – С.110–111.

(Форма участі - заочна).